

REVISTA

ISSN 2619-2551 (en línea)
ISSN 0123-4226 (impreso)

U.D.C.A

38
años

ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

REVISTA CIENTÍFICA - Enero - Junio 2021 - VOLUMEN 24 No. 1 - D. L.
BOGOTÁ D.C. COLOMBIA



PUBLICACIÓN OFICIAL DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS
Y AMBIENTALES U.D.C.A, UNIVERSIDAD CON ACREDITACIÓN
INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD.

ENFOQUE Y ALCANCE

La Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica es una publicación seriada, multidisciplinar*, arbitrada que adopta la revisión por pares de doble ciego, de acceso abierto vía diamante y de producción continua (Hacer click aquí para ver el proceso de publicación), dirigida a investigadores. Tiene como finalidad evaluar, publicar y difundir la producción científica, principalmente, de la región iberoamericana y de las otras regiones tropicales y subtropicales.

Para facilitar el acceso y la apropiación, se aceptan manuscritos en idiomas español, inglés y portugués. La mayoría de los documentos que publica pertenecen a artículos científicos; sin embargo, también edita artículos de reflexión, de revisión, reporte de casos y notas técnicas.

La revista es editada, sin interrupción, desde 1998 y se encuentra indizada en Scopus, Chemical Abstracts, CAB Abstracts, Índice Bibliográfico Nacional Publindex clasificada en “B” Convocatoria No. 875 de 2020, SciELO Colombia, Reseñada en Latindex e incluida en la base de datos Periódica UNAM, México, en el Directory of Open Access Journals-DOAJ y en la Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico-REDIB.

La gratuidad para el autor y el lector obedece a la financiación de la revista por parte de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y a la colaboración desinteresada de los evaluadores externos.

*Temas abordados: Ciencias Agrarias, Ciencias Naturales y Ciencias Sociales.

FOCUS AND SCOPE

The “Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica”, is a serial, multidisciplinary*, refereed publication that adopts double-blind peer review, diamond open-access and continuously produced publication (Click here to know the publication process), aimed at researchers. Its purpose is to evaluate, publish and disseminate scientific production, mainly from the Ibero-American region, but also from the others tropical and subtropical regions.

To extend the dissemination of articles and facilitate access and appropriation, manuscripts in Spanish, English or Portuguese are accepted. Most of the documents published belong to scientific articles, however, it also publishes articles of reflection, reviews, case reports and technical notes.

The journal has been edited, without interruption, since 1998 and is indexed in Scopus, Chemical Abstracts, CAB Abstract, Publindex National Bibliographic Index classified in “B” Announcement No. 875 of 2020, SciELO Colombia, Review in Latindex and included in the database Periodica UNAM, Mexico, in the Directory of Open Access Journals-DOAJ, and in the Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico-REDIB.

The not charges for the publication to the authors and the free access to the readers obey to the financing of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales and the disinterested collaboration of the peer reviewers.

*Topics covered: Agricultural Sciences, Natural Sciences and Social Sciences.

FOCO E ESCOPO

A Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica é uma revista multidisciplinar* que avalia, publica e divulga a produção científica da região ibero-americana, utilizando o sistema de avaliação duplo-cega e adotando o sistema de acesso aberto via diamante (Clique aqui para saber mais sobre o processo de publicação).

Com o propósito de facilitar o acesso e a apropriação da produção científica produzido por e para a região, a revista publica os artigos em espanhol, inglês e português. A gratuidade para o autor, como para o leitor, deve-se ao apoio financeiro da Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales e a colaboração desinteressada dos avaliadores externos.

A revista tem uma trajetória de mais de 20 anos e se encontra indexada no Scopus, Chemical Abstracts, CAB Abstract, Índice Bibliográfico Nacional Publindex classificada em “B” anuncio No.875 de 2020, SciELO Colombia, revisada em Latindex e incluída na base de dados Periódica UNAM, México, no the Directory of Open Access Journals-DOAJ, e na Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico-REDIB

A gratuidade para o autor, como para o leitor, deve-se ao apoio financeiro da Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales e a colaboração desinteressada dos avaliadores externos.

*Temas comprendidos: Ciências Agrárias, Ciências Naturais e Ciências Sociais.

EQUIPO EDITORIAL

Editora

Ingeborg Zenner de Polanía
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A
Bogotá, Colombia

Co-Editor

Helber Adrián Arévalo Maldonado
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A
Bogotá, Colombia

Comité editorial

Carlos Alberto Blanco Montero
USDA-Animal and Plant Health Inspection Service APHIS
Washington, Estados Unidos de América

Eduardo José Delgado Hernández
Universidad Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora
Barinas, Venezuela

Marlete Brum Cleff
Universidade Federal de Pelotas UFP
Pelotas, Brasil

Rosângela Brito
Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS
Porto Alegre, Brasil

Comité científico

Adriana Posada Arrubla
Investigador Independiente
Bogotá, Colombia

Alfonso Javier García
Universidad de Sevilla
Sevilla, España

Andrés Franco Herrera
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Santa Marta, Colombia

Clistenes Williams Araújo do Nascimento
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife, Brasil

Diana Paola Gutierrez Diaz de Azevedo
Universidade Estadual do Norte Fluminense
Río de Janeiro, Brasil

Francisco Alonso Solis Marin
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México

Galdino Andrade Filho
Universidade Estadual de Londrina
Londrina, Brasil

Hugo Sarmento
Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal

Jesús Muñoz Rojas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, México

Jhon James Mora Rodríguez
Universidad Icesi
Cali, Colombia

Jorge E. Peña
University of Florida
Gainesville, FL, United States

José Eleutério Junior
Universidade Federal do Ceará
Ceará, Brasil

José Gregorio Lanza Marchán
Normalización Chile-LAN Consultores
Santiago, Chile

José Siles González
Universidad de Alicante
Alicante, España

Rita María Ávila G. de Hernández
Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado
Barquisimeto, Venezuela

Samuel Moisés Nucamendi Guillén
Universidad Panamericana
Guadalajara, México

Sildivane Valcácia Silva
Universidade Federal da Paraíba
Paraíba, Brasil

Equipo colaborador

Correctora de estilo y ortográfica
Norella Castro Rojas

Auxiliar editorial
Kamila Bocanegra Solorzano

Diagramador
Camilo Eduardo Carrasco Borrero

CONTENIDO

Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica

Volumen 24 No. 1, enero-junio, 2021

<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021>

EDITORIAL

La mercantilización del saber científico

Germán Anzola Monteroe1911
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1911>

CIENCIAS AGRARIAS

Influence of high density planting and spatial arrangement on growth and development in Musa AAA Simmonds

José Luis Barrera, José Régulo Cartagena, Omar Nanclarese1312
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1312>

Review on the ecophysiology of important Andean fruits: Solanaceae

Gerhard Fischer, Helber Enrique Balaguera-López, Stanislav Magnitskiye1701
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1701>

Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana

Gelber Rosas-Patiño, Yina Jazbleidi Puentes-Páramo, Juan Carlos Menjivar-Florese1643
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>

Organic carbon in soils with different systems of use in Tacarimena Yopal, Colombia

Blanca N. Carvajal-Agudelo, Hernán J. Andradee1921
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1921>

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* interaction. A review

Silvia Patricia López-Zapata, Dora Janeth García-Jaramillo, Walter Ricardo López, Nelson Ceballos-Aguirree1713
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1713>

Caracterización de la comunidad de malezas y su diversidad en una modelación estadística en un cultivo de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch.)

Oscar Eduardo Moreno-Preciado, Helber Enrique Balaguera-Lópeze1734
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1734>

Ruta biocultural de conservación de las semillas nativas y criollas en el territorio indígena de Puracé, Cauca

Marta Elena Montaña, Olga Lucía Sanabria-Diago, Ricardo Manzano, Oswaldo Quilindoe1771
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1771>

Técnica estadística multivariada para validar instrumento de evaluación del clima organizacional en empresas ganaderas de leche

Diana Beltrán-Hernández, Gonzalo Téllez-Iregui, Dora Fonseca-Pintoe1839
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1839>

Identidades profesionales de extensionistas rurales en diferentes países de África, América Latina y Oceanía: un estudio comparativo

Fernando Landini, Sandra Hoffman-Martins, Manuela Martínez, Eduardo Tarantini, Carlos Nische, Haydelín Rodríguez-Cháveze1914
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1914>

Effect of the energy level of the diet of Holstein cows in early and mid-lactation on the sanitary and hygienic quality of milk

Juan Esteban Gómez-Martínez, Albeiro López-Herrera, José Julián Echeverri-Zuluagae1677
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1677>

Caracterización química, degradabilidad ruminal y aceptabilidad por bovinos, de un subproducto de la industria del papel

George Oneiber Jaime, Juan Evangelista Carulla, Gustavo Álvaro Wills-Francoe1204
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1204>

- Incidencia de hipotermia perioperatoria inadvertida, en perros sometidos a anestesia general inhalatoria
Diego A Ospina-Argüelles, Edwin Buritica-Gaviria, Diego Echeverry-Bonillae1830
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1830>
- Viabilidad de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado bajo condiciones gastrointestinales simuladas e inhibición sobre *Escherichia coli* O157:H7
Catalina Fajardo-Argoti, Henry Jurado-Gómez, Jaime Parra-Suescúne1733
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1733>
- Biopelículas activas de extracto acuoso de *Gliricidia sepium* y su influencia en la vida útil microbiológica del queso costeño
Rafael González-Cuello, Fidel Guardo-Palomino, Somaris Quintana-Martíneze1467
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1467>
- Effect of process variables on the physicochemical and rheological properties of yogurt
Héctor J. Paz-Díaz, Lia Z. Mora-Vergara, Cristian E. Navarro-Arana, Alba Sofía Navarro, Mónica María Pacheco-Valderramae1922
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1922>
- Physical and compositional characteristics of cheese and yogurt made from partially demineralized milk protein concentrate
Edinson Bejarano-Toro, José Uriel Sepúlveda-Valencia, Eduardo Rodríguez-Sandovale1949
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1949>
- Características fisicoquímicas, textura, color y atributos sensoriales de salchichas comerciales de pollo
Miriam Ramos; Salomón Santolalla, Carlos Tarrillo; Tarsila Tuesta, Oscar Jordán, Reynaldo Silvae1863
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1863>
- ## CIENCIAS NATURALES
- Arthropods associated with a *Bombus pauloensis* (Hymenoptera: Apidae: Bombini) nest in the Sabana of Bogotá (Colombia)
Francisco Javier Posada-Flórez, Lorena Téllez-Farfáne1590
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1590>
- Insectos acuáticos asociados a arroyos de la Serranía de La Macuira - La Guajira, Colombia
Catalina Pérez-Rodríguez, Gustavo A. Manjarres-Pinzón, Cesar E. Tamaris-Turizoe1941
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1941>
- Field blood preservation and DNA extraction from wild mammals: methods and key factors for biodiversity studies
Juan D. Carvajal-Agudelo, M. Paula Trujillo-Betancur, Daniela Velásquez-Guarín, Héctor E. Ramírez-Chaves, Jorge E. Pérez-Cárdenas, Fredy A. Rivera-Páeze1766
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1766>
- Concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta
Sonia Esperanza Aguirre, Nelson Virgilio Piraneque, Jean Linero-Cuetoe1313
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1313>
- Los componentes ambientales de la cuenca Torca: un insumo para el análisis de los escenarios de variabilidad climática en la ciudad de Bogotá, Colombia
Grace Andrea Montoya-Rojas, Michael Esteban Rivera-Marroquíne1833
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1833>
- Evaluación de calidad del agua en la Quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia
Urledys Hernández-Álvarez, José Pinedo-Hernández, Roberth Paternina-Uribe, José Luis Marrugo-Negretee1678
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678>
- Gestión de llantas usadas en la ciudad de Tunja, Boyacá (Colombia)
Andrea Angélica Bernal-Figueroa, Zulma Edelmira Rocha-Gil, Jenny Tatiana Medina-Moreno, Yenny Casas-Martínez, Leidy Paola Buitrago-Ramíreze1627
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1627>

CIENCIAS SOCIALES

Indigenous Territoriality: External Discourses and Native Perspectives on the Space Inhabited by Tegria's U'wa Community
Oscar Fernando Gamba-Barón, Daniel Esteban Unigarro-Caguasango, Nohora Inés Carvajal-Sáncheze1621
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1621>

Diseño de estructuras con alambres en artesanías de Usiacurí
Laura Vanessa Utria-Villanueva, Rubén Darío Felizzola-Chala, Armando Aroca-Araujoe1865
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1865>

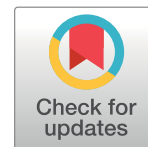
REPORTE DE CASO

Brote inusitado de leishmaniasis cutánea en zona rural de Ibagué: desafíos de la notificación
Blanca Lisseth Guzmán-Barragán, Catalina Ballesteros-González, Daniela Torres-González, Yessica Lorena Guzmáne1502
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1502>

NOTA TÉCNICA

Comparación de dos métodos de extracción de ADN a partir de hojas secas de guayaba (*Psidium guajava* L.) para estudios moleculares
Enrique Pardo-Pérez, José Luis Coronado-González, Mauricio Begambre-Hernándeze1504
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1504>

PARES EVALUADORES



La mercantilización del saber científico

Germán Anzola Montero¹

¹Rector. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A,  <https://orcid.org/0000-0001-6075-2595>

Como citar: Anzola Montero, G. 2021. La mercantilización del saber científico. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1911. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1911>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

¿Pagar por publicar en una revista? O ¿cobrar por descargar artículos científicos? Son interrogantes que han surgido entre las comunidades académicas y científicas del mundo, en especial, para los países en vía de desarrollo, una situación que no debería, ni siquiera, tener consideración alguna.

En el círculo científico y, en especial, en el de las Universidades, que son las que más generan productos científicos y en los centros de investigación, se ha analizado el tema, llegando a la conclusión que los artículos científicos se han convertido en artilugios para hacer dinero.

Un profesor universitario, que cumple funciones de investigación, es pretender publicar un artículo con los resultados científicos obtenidos y es aquí, donde estas revistas científicas, tienen como objetivo brindar un medio para evaluar, publicar y divulgar estudios, investigaciones y otras tipologías científicas, para que su trabajo sea reconocido por otros pares y por la comunidad científica y consolidar el avance de la ciencia; sin embargo, en este proceso es cuando surgen los inconvenientes, porque se alimenta la avaricia y se saca provecho, no beneficio, de la necesidad de publicar.

Hoy por hoy, se habla, por una parte, de los **indicadores para medir la calidad de la producción científica**, como el *factor de impacto* (frecuencia con la que una revista ha sido citada en un año concreto), el *índice de inmediatez* (rapidez con la que se citan artículos de una revista científica y permite identificar publicaciones récord en investigaciones de amplia influencia), el *cuartil* (indicador

de posición de una revista con relación a todas las de su área), el *Índice H* (indicador que evalúa la producción científica de un investigador y relaciona el número de publicaciones con las citas que suscitan), el *Índice G* (indicador que también cuantifica la productividad bibliométrica, basada en el historial de publicaciones de los autores), el *SCImago Journal Rank, SJR* (indicador que analiza el área de investigación, la calidad y la reputación de una revista científica y su impacto directo sobre el valor de la cita) y el *Journal Metrics* (proporciona los datos del CiteScore y del percentil donde se encuentran posicionadas las revistas, de acuerdo con la información extraída de la base de datos Scopus) (ULPGC, s/f).

Por otra parte, también se deben tener en cuenta, para publicar, los índices de **valoración de las publicaciones**, que se dividen en: **a) índices de calidad relativa de las revistas** que, entre otros, son: *Journal Citation Reports, JCR*, que suministra datos sobre revistas científicas en el campo de las ciencias aplicadas y sociales y forma parte de la Web of Science, pero será el Institute of Scientific Information, ISI, de Thompson Científicas, el responsable de analizar las revistas, de elaborar el factor de impacto y difundirlo; *Scimago Journal Rank (SJR)*, un portal que analiza, de las revistas incluidas en Scopus, los índices bibliométricos; *Scientific Electronic Library Online, Scielo*, que es una biblioteca científica de revistas de América Latina y el Caribe, que incluye datos de editoriales, el factor de impacto, la vida media, las citas recibidas y citas concedidas y otros más; **b) criterios de calidad editorial de una revista**, como *DIALNET* (identificar revistas de mayor influencia y confirmar el prestigio de las publicaciones); *Sistema Regional de*

Información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, LATINDEX (cuenta con criterios de calidad para las revistas impresas y para revistas electrónicas); *Publindex* (evaluación y clasificación de revistas científicas nacionales, creado por Colciencias, hoy MinCiencias) y otras de carácter europeo, como TRID, DICE, MIAR, REHS, FECYT, ERIH, CARHUS PLUS y **c) criterios de calidad de las editoriales:** Book Citation Index (de la base de datos WOS, para saber si un libro está o no indizado y también el listado de editores), Publish or Perish (un programa que busca y analiza citas académicas utilizando Google Scholar) y Agencia Internacional de ISBN, que ofrece enlaces a las Agencias Nacionales de ISBN (Universo escrito, 2019).

Todos estos indicadores y criterios, se han convertido en la cara de la moneda de la ciencia.

El investigador, entonces, cuando tiene su manuscrito científico, lo que se pregunta es dónde puede publicar, puesto que su trayectoria investigativa y el reconocimiento de los resultados obtenidos, hoy por hoy, depende, en gran medida, del número de artículos científicos publicados, las revistas en donde se encuentran y el número de citas recibidas; de esta manera, se crea cierta presión, pues se requiere tener un ranking, tanto de la revista como del artículo y todos estos indicadores y criterios expuestos, le permitirán decidir en dónde publicar.

Primero, tiene que ser una revista especializada, en el área de conocimiento de la investigación, con un factor de impacto alto, en cuartil 1 o 2 de Scopus u otra base de datos reconocida mundialmente y que el tiempo de publicación no sea muy extenso, porque, de lo contrario, los resultados podrían perder vigencia o generar desactualización. A esto, se le suma averiguar la conveniencia de someter el artículo a una determinada revista, dependiendo de la modalidad de financiación adoptada.

Justamente, en esta etapa, es lo que se discute y se analiza la mercantilización del saber científico. Muchas revistas científicas no cobran al autor por publicar; pero sí al lector y hasta el mismo autor cuando quieren descargar el artículo u obtener un ejemplar del número. Es lo que se denomina suscripciones a las revistas y es una figura que utilizan las universidades, los centros de investigación e investigadores, para tener acceso a la información científica. El valor de suscripción a las revistas científicas colombianas o latinoamericanas es muy bajo, en comparación con el cobro que tienen, por ejemplo, las revistas europeas o americanas.

En el caso de las revistas que operan con el sistema Open Access (que emerge de la crisis de las publicaciones impresas, por sus altos costos en producción y acceso a Internet), abiertas, disponibles en línea, sin barreras legales y que se puede descargar gratuitamente el artículo en versión PDF, el problema se le traduce al autor, dado que debe pagar altas sumas de dinero para ver publicado su artículo científico (muchas Universidades apoyan económicamente a sus profesores-investigadores para esta gestión). Algunas tarifas, se pueden consultar, sin problema, en Science Advances o PlosONE. Si se mira objetivamente este sistema abierto, sin duda favorecerá

exclusivamente a los investigadores, quienes pertenecen a grupos con alta financiación y robustos en producción científica, pues obtendrán grandes ganancias, por la cantidad de artículos publicados (Miró *et al.* 2013).

Al final de cuentas, para cualquiera de los dos casos, el investigador no gana dinero por la publicación de sus artículos.

Centrémonos en el acceso abierto, un fenómeno que, en la última década, viene creciendo y que se ha convertido en el *boom* de las publicaciones científicas. Según la Declaración *Budapest Open Access Initiative* (BOAI, 2002), la que definió, por primera vez, el concepto de acceso abierto y estableció unas condiciones para lograr este sistema. Por una parte, refirió la *Vía Dorada*, que corresponde a la publicación de la revista de acceso abierto y la *Vía Verde*, para el autoarchivo de los artículos en repositorios institucionales, después de la publicación en revistas. Sin duda, este sistema permitió que muchos artículos estuvieran disponibles en acceso abierto, en poco tiempo.

Bajo la Vía Dorada, muchas revistas cobran a los autores una alta tasa por publicar, modelo adoptado por una gran mayoría de editoriales comerciales y algunas sin ánimo de lucro; también, existen revistas que subvencionan la totalidad de la publicación, como las Universidades, como el caso de la U.D.C.A y algunos centros de investigación. Otras revistas, que en el medio las llaman híbridas, que se financian por medio de las suscripciones y ofrecen la *open choice*, donde los investigadores-autores pueden liberar sus artículos, pero pagando una cuantiosa suma.

Las grandes cinco editoriales científicas que adoptan la Vía Dorada son Elsevier, Springer, Wiley, Taylor & Francis y Sage que, además, concentran más del 50% de los nuevos artículos que se publican, debido a que sus revistas serían las de mayor impacto en la comunidad científica. Esto las ubica como empresas altamente rentables (Luchilo, 2019), ya que cobran por los diferentes servicios que ofrecen, como la prestación del software para la administración de la revista, la diagramación de los artículos en los diferentes formatos, las estadísticas, las asesorías, entre otros; Cabe resaltar que, dentro de estas editoriales mencionadas, se pueden encontrar revistas con todas las modalidades de financiación.

Por su parte, la venta de suscripciones, actual modelo de negocios de otras grandes editoriales, consiste en ofrecer a las instituciones académicas este servicio, para que sus investigadores y estudiantes puedan acceder a las revistas de estas empresas.

El Open Access, por lo tanto, es un tema de interés, que genera desacuerdos entre la comunidad académica y científica, en especial, en lo referente a los aspectos económicos, dado que requieren de fuentes de financiación y que, por obvias razones, la fuente primaria son los autores, ya que que están obligados a publicar los resultados de la investigación y, hasta que no se publique, no existe.

Este esquema, de pagar por publicar, presenta ventajas, traducidas en acceso inmediato a la información científica por cualquier usuario (¿un bien común?), avance de la ciencia a favor de la

sociedad, rendir cuentas a la sociedad sobre los recursos invertidos en investigación (lo que justifica el quehacer investigativo en las Universidades), artículos más leídos, más compartidos y más citados y rapidez en el proceso editorial; pero también está el contexto negativo: los elevados costos de las publicaciones, que puede generar desigualdades en la oportunidad de publicar; discriminar o relegar a investigadores, en especial, aquellos que pertenecen a los países de América Latina y el Caribe o países en desarrollo; no brindar oportunidad a aquellas investigaciones en áreas de conocimiento que no captan o atraen apoyo financiero; jóvenes investigadores que no tienen cómo costear su publicación.

Cabe mencionar, que muchos investigadores, cuyo idioma nativo no es el inglés, también deben financiar la traducción “oficial” de sus publicaciones, debido a que se considera que la ciencia se escribe en inglés, razón, por la cual, varias revistas científicas solo aceptan que los manuscritos estén en este idioma.

En la actualidad, no se ha podido definir quién debería cubrir estos costos de publicación de un artículo (Tabla 1); algunos asumen, que debería ser el autor; otros, la institución a la que pertenecen y otros, la entidad que financia la investigación. Lo que sí se sabe es que estos precios oscilan entre 300 y 3.000 dólares, por artículo

Tabla 1. Modelos económicos de las primeras cinco revistas del mundo, de Latinoamérica y de Colombia, los costos asumidos por el lector o por el autor y el cuartil en el que se encuentra la revista en Scopus.

Revistas	Tipo de acceso*	Costo autor, institución o fundación que respalde	Costo lector por artículo	Cuartil Scopus
5 mejores revistas del mundo de acuerdo con Scopus				
CA - A Cancer Journal for Clinicians	Acceso abierto dorado	US\$3000	US\$0	Q1
Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR)	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
Nature review materials	Acceso por suscripción	US\$0	US\$8.99	Q1
Quarterly Journal of Economics	Acceso por suscripción	US\$0	US\$86	Q1
Nature reviews molecular cell biology	Acceso por suscripción	US\$0	US\$8.99	Q1
5 mejores revistas de la región de acuerdo con Scopus**				
Perspectives in Ecology and Conservation	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
International Journal of Educational Technology in Higher Education	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
Memorias do Instituto Oswaldo Cruz	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
Alea	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
5 mejores revistas de Colombia de acuerdo con Scopus***				
International Journal of Educational Technology in Higher Education	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
Revista Latinoamericana de Psicología	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q2
Ensayos Sobre Política Económica	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
Kepes	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q1
Revista Colombiana de Estadística	Acceso abierto platino	US\$0	US\$0	Q3

Tipo de acceso abierto dorado*: Las revistas no cobran a los lectores por el acceso a los artículos y pueden cobrar o no a los autores, institución o fundación que los respalda, por los cargos de procesamiento de los artículos. **Acceso platino:** Las revistas no cobran a los lectores por el acceso a los artículos, ni a los autores, institución o fundación que los respalda, por la tasa de procesamiento de los artículos; estas revistas son financiadas por instituciones, fundaciones o sociedades académicas. **Acceso abierto híbrido:** El acceso a los artículos es por suscripción; sin embargo, los autores pueden pagar para que los lectores tengan acceso abierto a los artículos. **Acceso por suscripción:** Los lectores pagan por el acceso a los artículos o pueden acceder a los artículos por medio de una institución que paga por el acceso. **Cargos de procesamiento de los artículos*:** Los CPA, se cobran después de la aceptación del artículo y antes de la publicación y cubren: trabajo editorial, infraestructura técnica e innovación, producción de artículos, comercialización de la revista y del contenido, atención al cliente. De las 50 primeras revistas de la región latinoamericana solo la revista Ameghiniana cobra a los autores, institución o fundación que los respalda por los cargos de procesamiento de los artículos, que en este caso es de US\$300**. De las 50 primeras revistas de Colombia ninguna cobra a los lectores por el acceso a los artículos, ni a los autores por los cargos de procesamiento de los artículos***.

(según PlosONE), que corresponde a las revistas que tienen altos factores de impacto y son las que buscan los investigadores. El anhelo y la expectativa de la comunidad científica, definitivamente, es que los resultados de la investigación científica sean consultados por cualquier persona, descargados por el interesado y publicados sin tener costo.

En síntesis, buena parte de las investigaciones científicas son subvencionadas, ya sea por las Universidades (en el caso de la U.D.C.A, el 90% son financiadas por la Institución), por los Centros de Investigación o por el Estado (cuando se accede a las convocatorias), pero lo lamentable del asunto, es que los resultados de estas investigaciones quedan en manos de editoriales comerciales que se lucran de la divulgación del conocimiento científico, al que, solamente, se puede acceder con pago previo de sus publicaciones; sin embargo, la mayoría de los investigadores no son partidarios de esta modalidad y reconocen que la falta de financiación a la investigación es la razón principal para no poder hacer frente a los pagos exigidos por las editoriales comerciales.

La pregunta obligada es ¿cuánto están dispuestos los autores a pagar por la publicación de sus artículos y todo el servicio que reciben, si se tiene en cuenta que, en la actualidad, la mayoría de las revistas son de acceso abierto y operan bajo este modelo y que, además, otros gastos, como impresión y distribución ya no cuentan y la mayoría de pares o evaluadores externos ya no perciben remuneración? Posiblemente, el Open Access sea un buen modelo de negocio, claro, para las editoriales comerciales, dejando dudas en los beneficios para los autores.

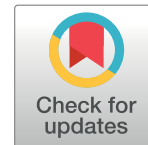
Lo importante es saber qué hacer con ese dinero que se recibe que, a bien, debería ser reinversión en investigación, en ofrecer becas de investigación, en movilidad científica y apoyo a jóvenes investigadores.

Habrà un momento, si así continúa el sistema de publicación científica, que entre editoriales comerciales y Universidades y Centros de investigación negocien un precio justo por publicar, acorde con el producto recibido.

Este es un buen momento, para que desde el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación se abra el debate y considerar este tema, para lograr un acceso abierto, igual de universal, pero con acceso para todos.

REFERENCIAS

1. BUDAPEST OPEN ACCESS INITIATIVE, BOAI. 2002. Disponible desde Internet en: <https://www.budapestopenaccessinitiative.org/read> (con acceso el 08/03/2021).
2. LUCHILO, L.J. 2019. Revistas científicas: oligopolio y acceso abierto. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, CTS. 14(40):41-79.
3. MIRÓ, Ò.; BURBANO, P. 2013. El factor de impacto, el índice h y otros indicadores bibliométricos. Anales del Sistema Sanitario de Navarra. 36(3):371-377. <https://dx.doi.org/10.4321/S1137-66272013000300001>
4. SCIMAGO. s/f. SJR - SCImago Journal & Country Rank. Disponible desde Internet en: <http://www.scimagojr.com> (con acceso el 08/03/2021).
5. UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, ULPGC. s/f. Indicadores e índices de la producción científica. Disponible desde Internet en: https://biblioteca.ulpgc.es/factor_impacto (con acceso el 18/03/2021).
6. UNIVERSO ESCRITO. 2019. Métricas para la evaluación de revistas científicas. Disponible desde Internet en: <https://universoescrito.com/metricas-para-la-evaluacion-de-revistas-cientificas/> (con acceso el 18/03/2021).



Influence of high density planting and spatial arrangement on growth and development in *Musa* AAA Simmonds

Influencia de altas densidades de siembra y distribución espacial sobre el crecimiento y desarrollo en *Musa* AAA Simmonds

José Luis Barrera^{1*}; José Régulo Cartagena²; Omar Nanclares³

¹Agronomical Engineer, M.Sc. Universidad de Córdoba. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: jlbarrera@correo.unicordoba.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9104-0099>

²Agronomical Engineer, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Medellín Campus, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: jrcartag@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-6196-2439>

³Agronomical Engineer, M.Sc. Universidad de Córdoba. Montería - Córdoba, Colombia; <https://orcid.org/0000-0002-9843-934X>

*corresponding author: jlbarrera@correo.unicordoba.edu.co

How to cite: Barrera, J.L.; Cartagena, J.R.; Nanclares, O. 2021. Influence of high density planting and spatial arrangement on growth and development in *Musa* AAA Simmonds. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1312. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1312>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education.

Received: February 8, 2019 **Accepted:** April 12, 2021 **Edited by:** Ingeborg Zenner de Polanía

ABSTRACT

Banana is after apple, the most consumed fruit in the world for its nutritional contribution. Given its importance, it is necessary to advance in the development of agronomic management strategies that contribute to increase productivity and offer alternatives to regulate the consequences derived from the seasonality of production in the Urabá area (Colombia). For this, the clone Williams (*Musa* AAA Simmonds), at different planting densities (2000, 2500, 3000 and 3500 plants ha⁻¹), different population arrangements (triangle, rectangle and double furrow), compared with a relative control (1700 plants ha⁻¹ in triangle) was evaluated. The design used was randomized complete blocks in factorial arrangement of 4 x 3 + 1 (densities x arrays + control). The variables height and perimeter of the pseudostem, number of leaves from planting to harvest, leaf

area index (IAF), light extinction coefficient, number of suckers and developmental stages (days elapsed after flowering and harvest) were determined. An analysis of general variance was carried out and another one excluding the control. The Tukey test ($P < 0.05$) was applied to the qualitative variables and contrasts of orthogonal polynomials were made to test the linear and quadratic effects of the population density factor. The results indicated that the high planting densities and the population arrangements had a negative effect on the perimeter of the pseudostem and the height of the main sucker, favored the LAI, influenced the extinction coefficient, but did not affect the development of the plants.

Keywords: Banana; Light interception; Plant competition; Plant population.

RESUMEN

El banano es después de la manzana la fruta más consumida en el mundo, por su aporte nutricional. Dada su importancia, se requiere avanzar en el desarrollo de estrategias de manejo agronómico, que contribuyan a incrementar la productividad y ofrezcan alternativas para regular las consecuencias derivadas de la estacionalidad de la producción, en la zona del Urabá (Colombia). Para ello, se evaluaron en el clon Williams (Musa AAA Simmonds), diferentes densidades de plantación (2.000, 2.500, 3.000 y 3.500 plantas ha⁻¹), distintos arreglos poblacionales (triángulo, rectángulo y doble surco) y un testigo relativo (1.700 plantas ha⁻¹ en triángulo). El diseño utilizado fue de bloques completos al azar en arreglo factorial, de 4 x 3 + 1 (densidades x arreglos + testigo). Se determinaron la altura y perímetro del pseudotallo, el número de hojas de siembra a cosecha, el índice de área foliar (IAF), el coeficiente de extinción de luz, el número de hijos y fases de desarrollo: días transcurridos a floración y cosecha. Se realizó un análisis de varianza general y otro excluyendo el testigo. Se aplicó la prueba de Tukey (P<0,05) a las variables cualitativas y se hicieron contrastes de polinomios ortogonales, para probar los efectos lineal y cuadrático del factor densidad de población. Los resultados indicaron que las altas densidades de plantación y los arreglos poblacionales tuvieron un efecto negativo sobre el perímetro del pseudotallo y la altura del hijo a parición, favorecieron el IAF, influyeron en el coeficiente de extinción, pero no afectaron el desarrollo de las plantas.

Palabras clave: Banano; Interceptación de luz; Competencia de plantas; Población de plantas.

INTRODUCTION

Banana is the most widely consumed tropical fruit of the world. Colombia ranks fourth among the exporting countries with 1,806,000 thousands of tons (Biswas & Kumar, 2010; FAO, 2019); furthermore, it ranks third among the agricultural products most exported by Colombia after coffee and flowers (AUGURA, 2019). Banana yield in the Uraba region is dominated by climate seasonality, which determines two well-defined periods: A dry and productively limited first semester, followed by a rainy and oversupplied second semester (Toro *et al.* 2016). This, in turn, affects the behavior of international prices, which follow an inverse trend to that of fruit production (AUGURA, 2012), thus putting traditional banana production systems in disadvantage.

Establishing high density (HD) banana plantations is a cultivation practice that allows not only to increase productivity without affecting fruit quality, but also optimizing the use of natural resources (Gogoi *et al.* 2015; Hanuman Naik *et al.* 2016c); furthermore, the capacity of the culture system to suppress common weeds from tropical regions (Lanza *et al.* 2017) and reduce the severity of black Sigatoka disease, caused by *Mycosphaerella fijiensis* (Barrera *et al.* 2016) is added. However, larger plant numbers take a toll on both light interception (as also affected by leaf area) and the passage of light through the canopy. This can be assessed through the light extinction coefficient (k), which usually ranges from 0.45 to 0.75, thus constituting an indicator

of light supply inside the production system (Stover, 1984). Densities above 5000 plants ha⁻¹ usually determine intensities of 2500 lux, while 2500 plants ha⁻¹ register 7200 average lux counts (Debnath *et al.* 2015). Leaf Area Index (LAI) being directly proportional to planting density (Rodríguez *et al.* 2007), values of 3.36 in this parameter are associated to 2500 plants ha⁻¹, while records of 6.11 correspond to 6666 plants ha⁻¹, which exerts a negative effect on the plantation already (Debnath *et al.* 2015).

Although Lecompte & Pagès (2007) reported that shading reduced the number of primary roots derived from the corm by 12%, they found no effect on the elongation rate, but on the density and diameter of the first order lateral roots, which were reduced by 32% and 14%, respectively. Likewise, morphology, growth and productivity can be affected by varying photonic flow gradients (Siles *et al.* 2013). In addition, there is evidence that shading is positively related to leaf emission rate, leaf area, pseudostem perimeter and height, while fruit weight and quality are negatively affected (Sarrwy *et al.* 2012). In this same regard, however, Mustafa & Kumar (2012) report 120 t ha⁻¹ yields of good fruit quality at 4091 plants ha⁻¹ (which is considered to be HD as also confirmed by Mahmoud (2013).

Considering the importance of banana cultivation and the need to make better use of the soil through larger plant populations, the current study intends to validate this alternative by evaluating its effect on the growth and development of the clone Williams established under different densities and spatial distributions.

MATERIALS AND METHODS

Research was conducted from 2015 to 2016 at *La Tagua* farm, which belongs to the company Bananeras de Urabá, located in the municipality of Turbo, Antioquia (Colombia). The experimental site is located at 07°53'N 76°41'O, with an average temperature of 27°C, 28 m asl, 85-90% relative humidity and average annual rainfall of 2700 mm. All these features correspond to a very humid tropical forest climate (Belda *et al.* 2014). The soil exhibited clay loamy texture; pH 5.8; organic matter (OM) content, 1.73%; respective Ca and Mg levels of 8.9 and 4.11 cmolckg⁻¹; K, 0.41 cmolckg⁻¹; P, 21.4 mg kg⁻¹; S, 5.67 mg kg⁻¹; Zn, 2.0 mg kg⁻¹; B, 0.54 mg kg⁻¹; Cation Exchange Capacity (CEC), 13.6 cmolckg⁻¹; and an adequate relationship between bases. This information allowed defining the nutrition plan to meet the needs of the plantation, which was set up with *in vitro* propagated seedlings of the clone Williams (*Musa* AAA Simmonds), distributed according to the treatment plan (Table 1). Initial soil organic matter and P supplies conformed to crop requirements and soil analysis. The subsequent agronomic management was done according to the technical recommendations for each particular case.

The study was conducted under a randomized complete block design with 4 x 3 (four planting densities x three population arrangements) bifactorial arrangement, plus a control treatment, with three replicates per treatment. This resulted in 13 treatments featured by the combinations between the four planting densities

Table 1. Treatments, planting densities and spatial arrangements in a banana plantation of the clone Williams (*Musa* AAA Simmonds).

Treatment	Planting density (plants ha ⁻¹)	Spatial arrangements (m)
1	1700	Control (2.7 x 2.7)
2	2000	Triangle (2.3 x 2.3)
4	2500	Triangle (2.15 x 2.15)
5	3000	Triangle (1.95 x 1.95)
6	3500	Triangle (1.8 x 1.8)
7	2000	Rectangle (3.2 x 1.57)
8	2500	Rectangle (2.8 x 1.30)
9	3000	Rectangle (2.6 x 1.20)
10	3500	Rectangle (2.4 x 1.15)
11	2000	Double row (dp* 1.0 x dr** 3.3)
11	2500	Double row (dp* 1.2 x dr** 3.3)
12	3000	Double row (dp 1.0 x dr 3.0)
13	3500	Double row (dp 1.0 x dr 2.8)

* dp distance between plants (m), ** dr distance between rows (m).

(2000, 2500, 3000 and 3500 plants ha⁻¹) and the three arrangements (triangle, rectangle and double furrow), plus the relative control (1700 plants ha⁻¹ under a triangular arrangement). Each experimental unit contained an approximate population of 26 plants of which we established the “useful plot” (four central plants). Growth and development variables were assessed following homonymous methodology as defined by Martínez & Cayón (2011) for the clones Great Dwarf and Valery.

Plant height and pseudostem perimeter (m). Plant height was measured from the base at the junction of the corm with the pseudostem to the armpit of the last leaf. The circumference was taken at 1m, height from the ground at the time of harvest.

Number of leaves to harvest (No). The total number of leaves produced by the plant was counted both at flowering and harvest.

Leaf area (cm²). This parameter was estimated as the product of leaf length, maximum width and the constant 0.876 (Cogliatti *et al.* 2010). The average foliar area of a leaf was multiplied by the number of leaves present on the plant, during flowering.

Leaf area index (LAI). It was calculated following methodology by Barrera *et al.* (2010), based on foliar area and planting distance, during the flowering period of the crop.

Light extinction coefficient (k). This value was assessed at each stratum (1 m above the ground and at the middle and upper layers of the foliage), in the development phases floral differentiation, flowering and harvest, following the model of Monsi and Saeki for continuous canopies, which is based on the Lambert-Beer Law (Cabezas & Corchuelo, 2005).

Floral differentiation (days). This is a time measurement which goes from the moment of planting to that of floral differentiation, when the basal lobes of the leaf flag are asymmetric.

Flowering (days). Time elapsed from the production of the first true leaf (*i.e.*, the one that already exhibits the morphological characteristics of the clone) to the emergence of the inflorescence.

Harvest (days). Time elapsed from the moment of the emergence of the inflorescence to the harvest of the fruit bunch.

An overall analysis of variance was performed for all treatments in order to determine their effects on the studied variables. An additional analysis of variance contemplated only the two factors in question (densities and population arrangements), in order to both determine their individual effects on the variables and assess their interactions. Orthogonal polynomial contrasts were also performed to test the linear and quadratic effects of the planting density factor. In addition, polynomial regression models were tested on all treatments, including the control one, in order to estimate the best fit. A Tukey test at 5% was applied to the spatial arrangement factor, since it is qualitative in nature, and thus exhibits no group structure.

RESULTS AND DISCUSSION

Growth. The analysis of variance (both including and excluding the control treatment) reported significant effects of planting density and spatial arrangement on the studied growth parameters of the clone Williams. The variables not were affected by the treatments and no significant effect resulted from the interaction between arrangement A and planting density B. The Tukey test ($p \leq 0.05$) revealed that pseudostem perimeter, sucker height at flower shoot

emergence, LAI and number of leaves at harvest were significantly influenced by the treatments (Table 2).

The response of pseudostem perimeter to planting density fits a quadratic regression model ($R^2 = 0.99$). The values of this parameter peaked at low densities (2000 plants ha^{-1}) and decreased notably at HD (Figure 1a). The development of this organ is affected by HD through competition between plants, which induces a photomorphogenic action on the part of photoreceptors such as phytochromes, cryptochromes and phototropins (Franklin, 2016). Regarding the thickness of the pseudostem, it is important to highlight its strong association with the vigor and productivity of banana plants (Kumar & Pandey, 2010). In addition, the root system is reduced by increasing planting densities (Lecompte & Pagès, 2007; Chaudhuri & Baruah, 2010), which affects nutrient absorption and plant anchoring (Mustafa & Kumar, 2012). Pseudostem thickness reduction with increased planting density has also been attributed to competition for light and soil nutrients (Chaudhuri & Baruah, 2010). More recently, Patel *et al.* (2018) found significant effects on the height of the pseudostem by providing nutrients and greater spacing between the banana plants cv. Grand Naine. Nonetheless, Delgado *et al.* (2008) and Smith *et al.* (2010) did not find significant effects after conducting similar studies in other commercial musaceae planted at densities of 2500 plants ha^{-1} .

As to the number of leaves at harvest, the highest count (9.0 leaves $plant^{-1}$) was recorded under the triangular arrangement, thus

exceeding by 9.7% the record of the double row arrangement, which was 8.3 leaves $plant^{-1}$. For its part, the rectangular arrangement (8.5 leaves $plant^{-1}$) did not differ from the triangular and double row arrangements (Figure 1b). In analyzing the spatial arrangements under each planting density, the highest number of leaves corresponded to 3000 plants ha^{-1} under the triangular arrangement (9.0 leaves $plant^{-1}$), which exceeded by 30.3% the record of the 2500 plants ha^{-1} density under the rectangular arrangement. The rest of the treatments did not differ from the triangular arrangement (Table 2). The triangular arrangement is likely to favor the spatial distribution of the leaves, thus allowing greater light uptake (Chaudhuri & Baruah, 2010). These authors attributed larger numbers of leaves at flower shoot emergence and harvest under low planting densities to better exposure to light.

Main sucker height at flower shoot emergence as a function of planting density was partially explained by a quadratic regression model ($R^2 = 0.42$), wherein the maximum records corresponded to the lowest planting densities (about 2000 plants ha^{-1}), the increase of which determined a reduction in the parameter (Figure 1a). According to the means test, maximum main sucker height was recorded at a density of 2500 plants ha^{-1} under the double furrow arrangement (111.22 cm), followed by 2500 and 3000 plants ha^{-1} under the triangular arrangement, and by 3500 plants ha^{-1} under the rectangular one, both of which behaved similarly by reaching an average height of 21.79 cm. The rest of the treatments were statistically similar to the control treatment.

Table 2. Effect of planting density and spatial arrangement on the growth of banana clone Williams (*Musa* AAA Simmonds).

Treatment	Spatial arrangement	Planting density (plants ha^{-1})	PH	NLPH	MSHFSE	LAI	k
1	Triangle	1700	200.4c	8.89 ab	51.67 ab	1.83 d	0.55 b
2	Triangle	2000	225.8 ab	8.55 ab	73.78 ab	2.09 bcd	0.85 a
3	Triangle	2500	210.6 abc	9.44 ab	20.22 b	2.03 cd	0.81a
4	Triangle	3000	208.1 bc	9.55 a	20.93 b	3,29 bcd	0.68 ab
5	Triangle	3500	212.9 abc	8.67 ab	62.50 ab	3.62 ab	0.67 ab
6	Rectangle	2000	229.8 ab	8.44 ab	51.83 ab	2.42 bcd	0.55 b
7	Rectangle	2500	213.6 abc	7.33 b	80.66 ab	2.61 bcd	0.62 ab
8	Rectangle	3000	219.1 abc	9.33 ab	35.67 ab	3,34 abcd	0.53 b
9	Rectangle	3500	231.9 ab	8.78 ab	24.22 b	4.34 a	0.75 ab
10	Double row	2000	216.6 abc	8.34 ab	40.22 ab	2.04 cd	0.58 b
11	Double row	2500	234.7 a	8.22 ab	111.22 a	2.71 bcd	0.53 b
12	Double row	3000	222.4 abc	8.00 ab	49.00 ab	3.52 abc	0.67 ab
13	Double row	3500	227.4 ab	8.44 ab	37.89 ab	3.50 abc	0.63 ab

Numbers with the same letters do not differ statistically according to the Tukey test ($p = 0.05$).

PH = Plant height at flowering; NLPH = Number of leaves at harvest; MSHFSE = Main sucker height at flower shoot emergence; LAI = Leaf area index, k = Light extinction coefficient at flowering.

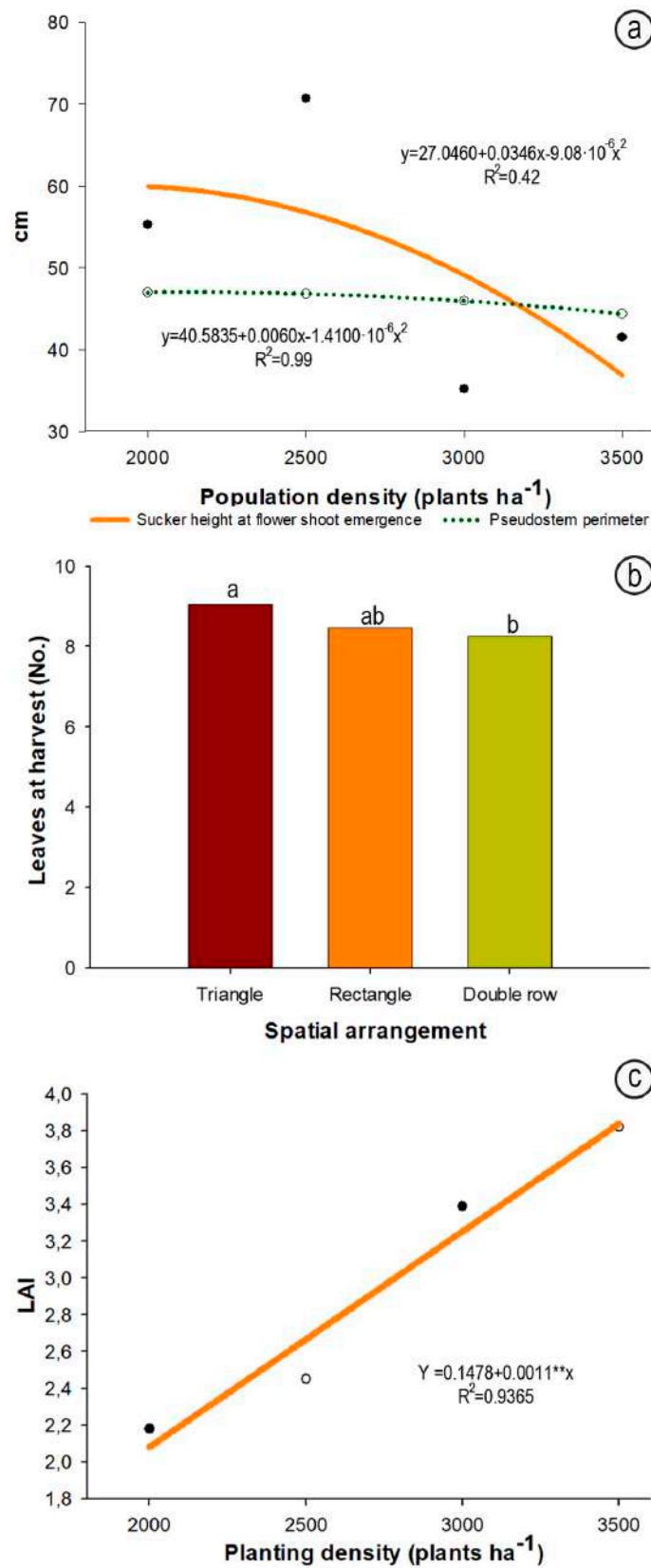


Figure 1. Response variables to different planting densities in the banana clone Williams (*Musa* AAA Simmonds). a) Pseudostem perimeter (Significant differences at 10% ($p = 0.05-0.10$); R^2 : Coefficient of determination); b) Number of leaves (Mean values with the same letters do not differ statistically according to Tukey's test ($p=0.05$)); c) Leaf area index -LAI.

This parameter is essential to decide on the appropriate density when trying to establish the crop in consecutive production cycles. The results obtained in this study for densities below 2500 plants ha⁻¹ could be of interest to establish the optimum density when using the method of several consecutive cycles.

Our analyses would suggest that in the environmental conditions of the Urabá, the cultivation system in HD at a second cycle is feasible, because the effect of the treatments, despite presenting statistical differences in the height of the return sucker, this is adequate, as long as the price opportunities in the market are competitive, or the fruit is used to win quotas for exporting boxes, since the same number of boxes delivered in the first semester (good price), is received in the second semester, with the same commercial value and number of boxes, because as plantation density increases, it contributes to increasing productivity per hectare (Barrera *et al.* 2020). These results are harmony with those obtained by Chaudhuri & Baruah (2010) who found that planting density significantly affected both the number of suckers and their production. This can be attributed to incident radiation, especially for the 3000 plants ha⁻¹ density under the triangular arrangement. However, most of the treatments exhibited a similar behavior to that of the control (Table 2). In this respect, Stover (1984) reports that an optimum range for sucker development is 14-16% of the photosynthetically active radiation entering the plantation. Likewise, the vegetative growth of banana plants in terms of pseudostem height and circumference is positively influenced by reduced planting distances (Palkar *et al.* 2012), mainly due to mutual shading, which affects growth rate through competition for light (Gliessman, 1998; Nalina *et al.* 2000).

LAI correlated directly with planting density, as explained by the linear regression model ($R^2 = 0.96$) fit by the relation between these parameters (Figure 1c), which is consistent with the results of Chaudhuri & Baruah (2010). The highest LAI value (4.34) was obtained with the 3500 plants ha⁻¹ density under the rectangular

array, followed by that of the 3500 plants ha⁻¹ density under the triangular arrangement. For its part, the lowest LAI value was registered by the control treatment (Table 2). The current LAI values are similar to the 3.49 record found by Rodríguez *et al.* (2007) for the Great Dwarf clone, exception made of their 3500 plants ha⁻¹ density record under a rectangular arrangement. On the other hand, the elevated LAI values observed for the 3500 plants ha⁻¹ density under the rectangular arrangement can overcome the optimal LAI threshold. Under these conditions, 90% of the incident radiation is intercepted by the canopy (Turner *et al.* 2007), which is scarcely beneficial for the plant and tends to hinder its productivity. However, in the opinion of Smith *et al.* (2010), this situation is likely to increase unit area yield.

The light extinction coefficient (k) was influenced by both planting density and spatial arrangement (Table 2 and Figure 2). With the exception of the 2000 and 2500 plants ha⁻¹ densities under the triangular arrangement, all other treatments registered values within the 0.45 to 0.75 range, as previously reported for banana by Stover (1984). The value of k depends on plant architecture and leaf position, angle and orientation (Chaves *et al.* 2009). The differences observed in the current study confirm the influence of the plantation system, in agreement with Pilau & Angelocci (2015). However, it should be noted that the reduction in the value of k does not necessarily increase productivity, under the assumption that the photosynthetic capacity is also increased. This is so because the latter also depends on other factors such as sink force, CO₂ availability, leaf – sink distance, leaf age and stressing situations (Guevara & Rodríguez, 2006).

The development-related variables, namely days to flower differentiation (DFD), days to flowering (DF), and days from flowering to harvest (DFH) were not influenced ($P > 0.05$) by planting arrangement, planting density or their interaction. The results confirm that the evaluated densities and arrangements did

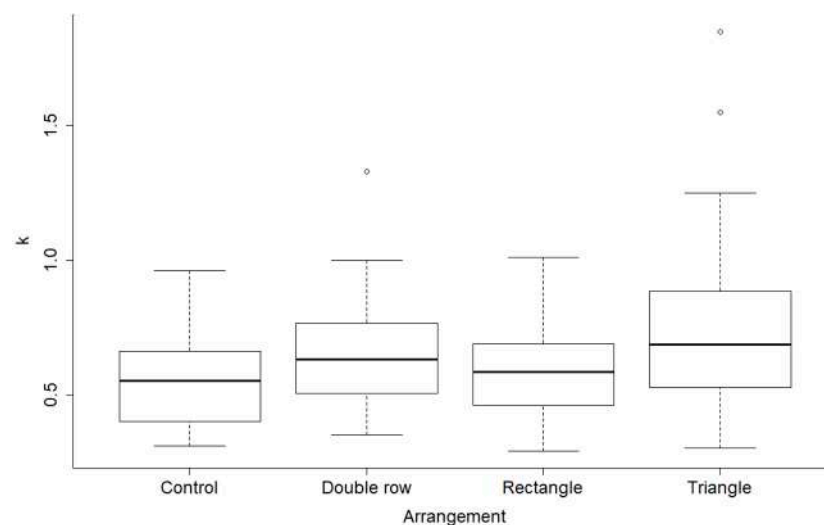


Figure 2. Influence of spatial arrangement on the light extinction coefficient in banana clone Williams (*Musa* AAA Simmonds).

not compromise the length of the growing period or the duration of the studied plant development stages, namely DTF, FT and HT. In this regard, the average vegetative cycle of the banana crop in the evaluated arrangements was 219, 304, 307 and 308 days for the control, triangular, rectangular and double furrow arrangements, respectively, at all the evaluated planting densities (Figure 3). About this aspect, Martínez & Cayón (2011) recorded similar data for the clone Gran Enano in the Urabá Antioqueño region (i.e., the Urabá region of the Department of Antioquia, Colombia). However,

those data are different from those indicated by Chaudhuri & Baruah (2010) and Hanuman Naik *et al.* (2016a; b), which showed significant effects of high planting densities on crop development and new succession buds. These results are important because in the event of an extension of the reproductive cycle, the production costs would also rise through increased agricultural labor and a more expensive phytosanitary control of *Mycosphaerella fijiensis*, for which a higher number of fungicide application cycles would be necessary.

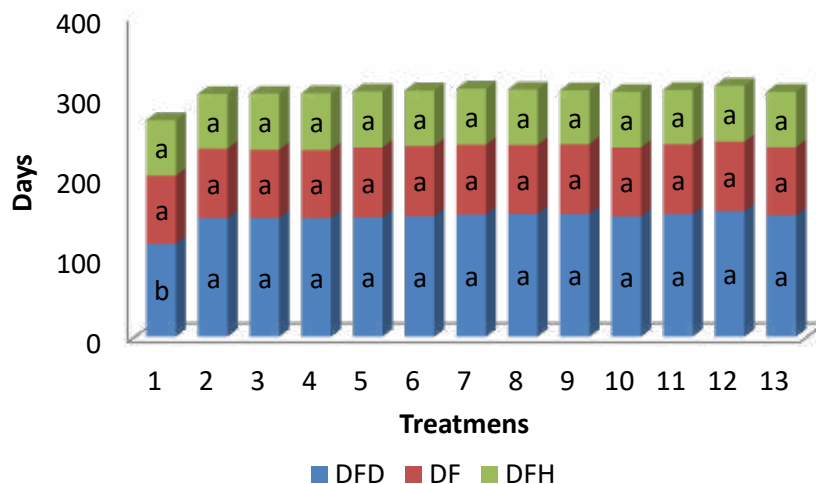


Figure 3. Development phases of the banana clone Williams (*Musa* AAA Simmonds), in different planting densities and population arrangements. DFD: days to flower differentiation. DF: days to flowering. DFH: days from flowering to harvest. Mean values with the same letters do not differ statistically according to Tukey's test ($p=0.05$).

In conclusion, the pseudostem perimeter and main sucker height at the time of flower shoot emergence were negatively affected by increased planting densities under the different spatial arrangements studied in this research and the triangular spatial arrangement was found to increase the number of leaves at harvest, while the double row arrangement reduced this parameter. In the same way, the leaf area index showed a direct correlation with planting density, which, in turn, modified the light extinction coefficient inside the canopy. And finally, neither high planting density nor spatial arrangement influenced the duration of the phenological stages of the studied banana crop.

Conflicts of interest: The manuscript was prepared and reviewed with the participation of all the authors, who declare that no conflict of interest that threatens the validity of the results presented.

REFERENCES

- ASOCIACIÓN DE BANANEROS DE COLOMBIA, AUGURA. 2012. Coyuntura bananera colombiana. Unidad de Estadística y Análisis Económico. Departamento de Sistemas. Medellín - Colombia. 32p.
- ASOCIACIÓN DE BANANEROS DE COLOMBIA, AUGURA. 2019. Coyuntura bananera colombiana. Unidad de Estadística y Análisis Económico. Departamento de Sistemas. Medellín - Colombia. 47p.
- BARRERA, J.; BARRAZA, F.; CAMPO, R. 2016. Shadow effect on black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* morelet) in plantain cultivation cv. Harton (*Musa* AAB Simmonds). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 19(2):317-323. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.85>
- BARRERA, J.; CARTAGENA, J.; NANCLARES, O. 2020. Influence of high planting densities and arrangements on yield and fruit development of *Musa* AAA Simmonds. Acta Agronómica (Colombia). 69(1):46-53. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79834>
- BARRERA, J.; SUAREZ, D.; MELGAREJO, L.M. 2010. Análisis de crecimiento en las plantas. En: Melgarejo, L.M. (ed.). Experimentos en Fisiología Vegetal. Ed. Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). p.25-38.

6. BELDA, M.; HOLTANOVÁ, E.; HALEENKA, T.; KALVOVÁ, J. 2014. Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. *Climate Research (Czech Republic)*. 59(1):1-13.
<https://doi.org/10.3354/cr01204>
7. BISWAS, B.C.; KUMAR, L. 2010. High Density Planting: Success Stories of Banana Farmers. *Fertiliser Marketing News (India)*. 41(6):3-10.
8. CABEZAS, M.; CORCHUELO, G. 2005. Estimación de la interceptación de la radiación solar en papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en tres localidades colombianas. *Agronomía Colombiana (Colombia)*. 23(1):62-73.
9. CHAUDHURI, P.; BARUAH, K. 2010. Studies on planting density in banana cv. 'Jahaji' (AAA). *Indian J. Hill Farming (India)*. 23(2):31-38.
10. CHAVES, B.; CAYÓN, G.; JONES, J. 2009. Modeling plantain (*Musa* AAB Simmonds) potential yield. *Agronomía Colombiana*. 27(3):359-366.
11. COGLIATTI, D.; CATALDI, M.; IGLESIAS, F. 2010. Estimación del área de las hojas en plantas de trigo bajo diferentes tipos de estrés abiótico. *Agriscientia (Argentina)*. 27:43-53.
12. DEBNATH, S.; BAURI, F.; BANDYOPADHYAY, B.; MISRA, D.; MANDAL, K.; MURMU, I.; PATIL, P. 2015. Identification of optimum leaf area index (LAI) for high density planting of banana cv. Martaman in Gangetic Alluvium region of West Bengal. *J. Crop and Weed (India)*. 11(2):63-66.
13. DELGADO, E.; GÓMEZ, N.; GONZÁLEZ, O.; MARÍN, C. 2008. Evaluación a nivel de finca del efecto de la alta densidad de siembra en plátano (*Musa* AAB cv. Subgrupo plátano Hartón), municipio Obispo, Barinas, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Venezuela)*. 25:603-616.
14. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. 2019. *Banana Market Review. Preliminary results.* (Italy). 14p.
15. FRANKLIN, K. 2016. Photomorphogenesis: Plants feel blue in the shade. *Current Biology (United Kingdom)*. 26:R1272-R1296.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.10.039>
16. GLIESSMAN, S.R. 1998. *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture.* Chelsea, Michigan, Ann Arbor Press. (USA). 400p.
17. GOGOI, B.; KHANGIA, B.; BARUAH, K.; KHOUND, A. 2015. Effect of high density planting and nutrient management on growth and yield of banana cv. Jahaji (*Musa*, AAA). *Internal J. Agriculture Innovations and Research (India)*. 3(5):1364-1368.
<https://doi.org/10.5958/2249-5258.2015.00036.6>
18. GUEVARA, E.; RODRÍGUEZ, W. 2006. *Arquitectura vegetal e interceptación de la luz.* Universidad de Costa Rica (San José de Costa Rica). 96p.
19. HANUMAN NAIK, M.; VANAJALATHA, K.; PRASANTH, P.; KIRAN A.; KUMAR.; NAIDU, M.M. 2016a. Role of high density planting and fertigation on growth, yield and quality of banana (*Musa acuminata* L.) cv. Grand Naine of ratoon crop. *Internal J. Advanced Research (India)*. 4(10):2151-2159.
<https://doi.org/10.21474/IJAR01/2034>
20. HANUMAN NAIK, M.; VANAJALATHA, K.; PRASANTH, P.; MUTYALA, M. 2016b. Studies on the effect of high density planting and fertigation on vegetative growth, yield and quality of banana (*Musa acuminata* L.) cv. Grand Naine of main crop. *Internal J. Current RESEARCH. (India)*. 8(11):42010-42015.
21. HANUMAN NAIK, M.; VANAJALATHA, K.; RAMESH, T.; PRASANTH, P. 2016c. Impact of high density planting and fertigation on leaf and soil nutrient status of banana (*Musa acuminata* L.) cv. Grand Naine for main and ratoon crop. *Plant Archives (India)*. 16(2):839-844.
22. KUMAR, D.; PANDEY, V. 2010. Relationship of pseudostem cross-sectional area with bunch weight, fruit quality and nutrient status in banana cv. Rasthali (pathkapoor - AAB). *Indian J. Horticulture*. 67(1):26-29.
23. LANZA, T.R.; MACHADO, A.F.L.; MARTELLETO, L.A.P. 2017. Effect of planting densities of "BRS princess" banana tree in the suppression of weeds. *Planta Daninha*. 35:e017162958.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100054>
24. LECOMPTE, F.; PAGÈS, L. 2007. Apical diameter and branching density affect lateral root elongation rates in banana. *Environmental and Experimental Botany. (Netherlands)*. 59:243-251.
25. MAHMOUD, H. 2013. Effect of different levels of planting distances, irrigation and fertigation on yield characters of main banana crop cv. Grand Naine. *Global J. Plant Ecophysiology (USA)*. 3(2):115-121.
26. MARTÍNEZ, A.M.; CAYÓN, D.G. 2011. Dinámica del crecimiento y desarrollo del banano (*Musa* AAA Simmonds cvs. Gran Enano y Valery). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín. (Colombia)*. 64(2):6055-6064.

27. MUSTAFA, M.; KUMAR, V. 2012. Banana production and productivity enhancement through spatial, water and nutrient management. *J. Horticultural Science (Czech Republic)*. 7(1):1-28.
28. NALINA, L.; KUMAR, N.; SATHIAMOORTHY, S.; MUTHUVEE, P. 2000. Effect of nutrient levels on bunch characters of banana cv. Robusta under high density planting system. *South Indian J. Hort.* (India). 48(1-6):18-22.
29. PALKAR, S.; PATEL, N.; MHETRE, D.; MANDALIK, G. 2012. Effect of high density planting on the growth and development characters of the banana (*Musa paradisiaca* L.) cv. Grand Naine. *Internal Journal of Agricultural Sciences (USA)*. 8(1):201-204.
30. PATEL, M.J.; SITAPARA, H.H.; SHAH, N.I.; PATEL, H.R. 2018. Effect of different levels of planting distance and fertilizers on growth, yield and quality of banana cv. Grand Naine. *J. Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(2):649-653.
31. PILAU, F.; ANGELOCCI, L. 2015. Leaf area and solar radiation interception by orange tree top. *Bragantia (Brazil)* 74(4):476-482.
<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0130>
32. RODRÍGUEZ, W.; ARAYA, J.; PÉREZ, L. 2007. Efecto del arreglo espacial y la densidad de siembra sobre la estructura y eficiencia del dosel, el crecimiento y la producción del banano (*Musa* AAA cv. Williams). *Corbana (Costa Rica)*. 33(60):1-14.
33. SARRWY, S.; MOSTAFA, E.; HASSAN, H. 2012. Growth, yield and fruit quality of Williams banana as affected by different planting distances. *Internal J. Agricultural Research. (India)*. 7(5):266-275.
34. SILES, P.; BUSTAMANTE, O.; VALDIBIA, E.; BURKHARDT, J.; STAVER, C. 2013. Photosynthetic Performance of banana ('Gros Michel', AAA) under a natural shade gradient. *Acta Horticulturae (USA)*. 886(1):71-77.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.5>
35. SMITH, E.; VELÁSQUEZ, M.; ZULUAGA, L.; VALERIN, J. 2010. Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y producción de plantas en primera generación de banano dátil (*Musa* AA). *Agronomía Costarricense (Costa Rica)*. 34(1):77-83.
36. STOVER, R.H. 1984. Canopy management in Valery and Grand Nain using leaf area index and photosynthetically active radiation measurements. *Fruits (USA)*. 39:89-93.
37. TORO, A.; ARTEAGA, R.; VÁZQUEZ, M.; IBÁÑEZ, L. 2016. Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. *Tecnología y Ciencias del Agua (México)*. 7(6):105-122.
38. TURNER, D.; FORTESCUE, J.; THOMAS, D. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). *Braz. J. Plant Physiol. (Brazil)*. 19(4):463-484.
<https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400013>



Review on the ecophysiology of important Andean fruits: Solanaceae

Revisión de la ecofisiología de frutos andinos importantes: Solanaceae

Gerhard Fischer¹; Helber Enrique Balaguera-López²; Stanislav Magnitskiy³

¹Ing. Hortícola, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Horticultura. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: gerfischer@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8101-0507>

²Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Horticultura. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: hebalagueral@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-3133-0355>

³Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Horticultura. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: svmagnitskiy@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3715-1932>

How to cite: Fischer, G.; Balaguera-López, H.E.; Magnitskiy, S. 2021. Review on the ecophysiology of important Andean fruits: Solanaceae. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1701. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1701>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education.

Received: September 3, 2020 **Accepted:** May 6, 2021 **Edited by:** Ingeborg Zenner de Polanía

ABSTRACT

The high Andean areas present ecophysiological conditions suitable for the cultivation of many fruit species, especially of the Solanaceae family. The objective of this review is to present important ecophysiological information on four fruit trees grown in cold climates: Cape gooseberry, tree tomato, lulo, and sweet cucumber or pear melon. The cape gooseberry is a species well adapted to cold tropical climate, it is grown between 1,800 and 2,700m a.s.l., with temperatures of 13 to 16°C. It is highly adapted to high solar radiation and to the abrupt changes between the day and night temperatures. It requires a precipitation of 1,000 to 1,800mm year⁻¹ uniformly distributed throughout the year, and is sensitive to water deficit but also to waterlogging and strong winds. The tree tomato, in Colombia, produces better from 1,800 to 2,600m a.s.l., with temperatures between 13 and 20°C, annual rainfall between 1,500 and 2,000mm, relative humidity around 80%, and solar brightness

of 1,800 to 2,300 hours/year; it does not resist strong winds, water deficit or waterlogging. The lulo requires environments with high precipitation (1,000 to 2,800mm) and penumbra because it loses a lot of water through transpiration but waterlogging also affects it; it grows well in areas between 1,600 to 2,400m a.s.l. and 16 to 24°C, with photosynthesis rates up to of 34.03μmol CO₂ m⁻² s⁻¹. The sweet cucumber is of growing interest in many exotic fruit markets, it grows at 900-2,800m a.s.l. with temperatures <25°C and responds well to air enrichment with CO₂.

Keywords: *Physalis peruviana*; *Solanum betaceum*; *Solanum quitoense*; *Solanum muricatum*; Physiology.

RESUMEN

Las zonas altoandinas presentan condiciones ecofisiológicas aptas para el cultivo de muchas especies frutales, especialmente, de la

familia Solanaceae. El objetivo de este artículo de revisión de literatura fue reunir la información ecofisiológica importante sobre cuatro frutales, cultivados en clima frío: uchuva, tomate de árbol, lulo y pepino dulce. La uchuva es una especie bien adaptada a clima frío, se cultiva entre los 1.800 y 2.700m s.n.m., con temperaturas de 13 a 16°C. Es altamente adaptada a una elevada radiación solar y al cambio brusco entre la temperatura del día y de la noche. Requiere una precipitación de 1.000 a 1.800mm año⁻¹, distribuido uniformemente durante el año; es sensible al déficit hídrico, pero también al encharcamiento y a los fuertes vientos. El tomate de árbol, en Colombia, produce mejor de 1.800 a 2.600m s.n.m., con temperaturas entre 13 y 20°C, con una precipitación anual entre 1.500 y 2.000mm y humedad relativa alrededor del 80%, con un brillo solar de 1.800 a 2.300 horas/año; no resiste vientos fuertes, déficit hídrico, ni anegamiento. El lulo requiere ambientes con alta precipitación (1.000 a 2.800mm) y penumbra, porque pierde mucha agua por transpiración, pero el anegamiento también lo afecta; crece bien en zonas entre 1.600 a 2.400m s.n.m. y 16 a 24°C, con tasas de fotosíntesis hasta de 34,03μmol CO₂ m⁻² s⁻¹. El pepino dulce está generando un creciente interés en muchos mercados de los frutos exóticos, crece en 900-2.800m s.n.m., con temperaturas <25°C y responde bien al enriquecimiento con CO₂.

Palabras clave: *Physalis peruviana*; *Solanum betaceum*; *Solanum quitoense*; *Solanum muricatum*; Fisiología.

INTRODUCTION

The Andes are a range of mountains with a length of 8,500km that extends from Chile, northern Argentina, Bolivia, Peru, Ecuador, and Colombia to Venezuela, with an average altitude between 3,000 and 4,000m a.s.l., bordering the coast of the Pacific Ocean (Guerrero *et al.* 2011), with a width that varies between 250 and 750km and occupying an area of about 2,870,000km² (Orme, 2007). Having 15% of the total richness of the world's plants, the tropical Andes represent one of the main key points of the planet biodiversity (Peyre *et al.* 2019).

Fruit species originate in the Andes, known as “exotic” ones in temperate zones and having a great potential for national producers and consumers and, furthermore, are exported in significant quantities (Moreno-Miranda *et al.* 2019; National Research Council, 1989). These fruits represent an important part in the diet of the Andean population and are increasingly found in specialized markets (Acosta-Quezada *et al.* 2015).

Many fruit trees have their origin in the Andean areas (Ligarreto, 2012), especially numerous Solanaceous species (Blanche, 2016; Criollo *et al.* 2017). Solanaceae is one of the main families of economically important plants in Colombia (Torres-González, 2019; Almanza-Merchán *et al.* 2016). These are the plants of indeterminate growth, that is, flowering, fruiting, and vegetative growth occur at the same time (Fischer *et al.* 2011). Rodríguez-Burruezo *et al.* (2011) stated that the exploitation of the genetic variation of the Andean Solanaceous fruit trees increases the opportunity to achieve the adaptation of these crops to the subtropical climates.

Plant ecophysiology is understood as the study of the plant behavior in a particular habitat, which helps to recognize their performance in cultivation and, in addition, facilitates management decisions by the producer, but always taking into account that the maximum production of a species, that is, its genetic potential, can only be obtained when the environmental conditions are close to optimal (Pérez & Melgarejo, 2015). Likewise, for the researcher, in-depth knowledge of the physiological responses that originate from the different types of abiotic stress improves the design of methods and mechanisms to increase the tolerance of plants to different stresses (Ngasoh *et al.* 2019). The ecophysiological factors that affect these crops are mainly altitude, temperature, solar radiation, precipitation, and wind (Fischer & Melgarejo, 2020; Restrepo-Díaz & Sánchez-Reinoso, 2020). And the effect of air pressure that decreases with altitude should not be forgotten because it influences different characteristics of the plants, such as the number of stomata (Fischer & Melgarejo, 2020). Due to the absence of temperature seasons that influence plant physiology in the tropics, these are replaced by the rainy and dry seasons (Fischer & Parra-Coronado, 2020).

No ecophysiological factor acts alone, but these always appear together, that is, ecophysiology is a multidimensional discipline and many trials done under the phytotron conditions with only one or two changing factors are hardly applicable to the reality of the climate in a defined area (Fischer *et al.* 2016; Restrepo-Díaz & Sánchez-Reinoso, 2020). Likewise, the conditions of one country are only partially applicable to another country or area different from the original one (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). Recording the physiological and growth responses of plants to environmental factors is not always an easy task to achieve in cultivation (Saavedra *et al.* 2020), for which, in many cases, artificial growth facilities (greenhouses, growth chambers, phytotrons) and sophisticated equipment are employed for the measurement of these ecophysiological variables. Some progress has been made in the recent decades, which was reflected in increasing productivity of fruit trees, however, these are now being re-evaluated due to the impacts of climate change (Restrepo-Díaz & Sánchez-Reinoso, 2020).

The objective of this literature review was to present the important ecophysiological information on four fruit species of the Solanaceae family of the Andes, cape gooseberry, tree tomato, lulo, and sweet cucumber, to illustrate their climatic requirements and the climate effects on their physiology as the bases for their sustainable cultivation and genetic improvement of the crops. On the other hand, and in accordance with Cronin *et al.* (2008) this literature review can provide the basis for future research projects.

MATERIALS AND METHODS

This document consists of a literature review, for this reason, it was necessary to assess an information in different databases through the Internet, including Science direct, Scopus, Scielo, and Google Academic. The search was made using the keywords (in English and Spanish) such as “fruit cultivation”, “ecophysiology”, “cape gooseberry”, “tree tomato”, “lulo”, “sweet cucumber”, “cold

climate fruit growth”, *Physalis peruviana*, *Solanum betaceum*, *Solanum quitoense*, and *Solanum muricatum*. From these databases, 73 sources were obtained that include web pages (from reliable authors), books, and (mostly) scientific articles from the last 31 years, in English and Spanish, both from national and international scientific journals. Interestingly, the most of these sources were both Colombian journals and authors; this indicates that the largest amount of research on the ecophysiology of the species treated in this review has been carried out in Colombia.

RESULTS AND DISCUSSION

Climate change aspects of the Andes. Marengo *et al.* (2011) reported that precipitation rates in the tropical Andes will increase by 20 to 25%; additionally, for many fruit crops, such as cape gooseberry, the global warming will have a higher impact on their growth at the low altitudes. The IPCC technical summary (Shukla *et al.* 2019) clearly indicates that almost all fruits and vegetables, which are key elements for a healthy diet, are among the crops most susceptible to climate change and that their yield and quality will be reduced as warming increases, especially in tropical and subtropical areas.

In their very extensive study on the phenology of fruiting in the American Neotropics, Mendoza *et al.* (2017) found that the climatic factor that mostly regulates this reproductive phase is rain (73.4%), followed by air temperature (19.3%), solar radiation or photoperiod (3.2%), and only the 1.4% physiological events is attributed to the Niño-Southern Oscillation (ENSO).

Not only in the Andes the fruit production is subject to growing uncertainty in the areas where negative climate changes are expected. The climatic alterations can also be considered to increase fruit production in some areas until they drive a productive expansion (Raza *et al.* 2020; Fischer & Melgarejo, 2021). Thus, the advantage of the Andean crops, according to the authors of the present review, is that the increase in temperature due to global warming might not affect them as much, because these can be grown at a higher altitude and, thus, find the optimal temperature. Crop physiologists, such as the Brazilian, DaMatta *et al.* (2010) suggested that global warming will cause crops to grow faster, with small changes in their development, such as flowering and fruiting, depending on the species. They also proposed that C3 crops (most fruit trees) will, possibly, produce larger plants using less water due to the increase in atmospheric CO₂, in the event that other stress conditions do not occur. In addition, it should be considered that Ligarreto (2012) classified these Andean crops as having a minimal environmental impact.

Ecophysiological aspects of the tropical altitude. The tropical altitude is suitable for many fruit species, also for some native to other regions of the world, some thriving up to 3,000m a.s.l., taking into account that the frost season should not affect the reproductive growth of the plants (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). At the same time, the tropics have an advantage for being the regions with thermal uniformity, that is, the monthly average temperatures

almost do not change during the year and, on the other hand, high solar radiation favors fruit formation with a thick skin and high antioxidant content, that be a prominent aspect for consumers, but also, in extreme cases, causing a fruit sunburn (Fischer, 2000; Fischer *et al.* 2016).

Regarding the growth and phenological phases of fruit trees, the temperature, which decreases with altitude (about 0.6°C per each 100m) increases the duration of these phases, that is, the fruit ripening happens later than in the lower areas still suitable for the cultivation (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). Furthermore, as these authors mention that, with increasing altitude the partial pressure of gases (CO₂, O₂, N₂) and water vapor is reduced as well as the precipitation decreases from 1,300 to 1,500m a.s.l., while the intensity of the visible and infrared UV radiation and wind speed increase.

These fruit trees as well as, in general, the plants of the high Andean regions are of the lower size, possibly due to the influence of ultraviolet (UV) light on the production of auxins (Fischer & Melgarejo, 2014) and/or the effect of UV light on the minor synthesis of gibberellins in the internodes (Buchanan *et al.* 2015), compared to those that grow at lower elevations. Additionally, the fruit trees grown at the high altitudes have lesser leaf expansion, and the leaves are thicker due to an increase in the number of parenchyma layers and a thicker cuticle to better resist UV light (Fischer & Miranda, 2021).

The cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). As a typical plant of the Andes (Tables 1, 2; Figure 1a) it finds very favorable conditions for growth, production, and quality in Colombia between 1,800 and 2,700m a.s.l. (corresponds to temperatures of 13 to 16°C (Table 2) (Fischer & Melgarejo, 2020), with altitudes between 2,200 and 2,400m a.s.l. being the best conditions for the commercial production, while Blancke (2016) mentioned its general adaptation in the Andes between 1,000 and 3,000m a.s.l. This species is highly adapted to low temperatures, has a base temperature (minimum) for stem development of 6.3°C and only 1.9°C as a minimum temperature for fruit development (Salazar *et al.* 2008). Its leaves, flowers, calyxes, and young fruits do not resist temperatures below 0°C, while high temperatures (>30°C) cause the abortion of flowers (Fischer & Melgarejo, 2014; Carrillo-Perdomo *et al.* 2015).

It is highly adapted to high solar radiation and abrupt changes between the day and night temperatures, due to the calyx that encloses and protects the fruit and the trichome layer that covers the entire green part of the plants, especially the leaves (Ramírez *et al.* 2013). It is possible that due to the reduced gas pressure with increasing altitude, the plants form a greater number of foliar stomata in the areas of higher altitude (Fischer & Melgarejo, 2020). The solar radiation incident on the calyx and the two adjacent leaves, with which the fruit grows in each node of the reproductive part of the plant, are especially important for fruit filling (Fischer *et al.* 2015). Some 1,500-2,000h of sunlight per year favor the overall performance, yield and fruit quality (Mora *et al.* 2006). This crop showed a foliar photosynthetic rate under the conditions of

Table 1. Origin of various fruit species of Solanaceae family grown in the Andean region.

Species	Zones and countries of origin	Authors
Cape gooseberry (<i>Physalis peruviana</i> L.)	Andes of Peru, Brazil, Chile, Ecuador, and Colombia	Fischer & Melgarejo, 2020
Tree tomato (<i>Solanum betaceum</i> Cav.)	Andes of Colombia, Ecuador, Peru, Bolivia, and Chile	Blancke, 2016
Lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	Humid forests of Colombia, Ecuador, and Peru	Lobo-Arias <i>et al.</i> 2007
Sweet cucumber (<i>Solanum muricatum</i> Aiton)	Western regions of the Andes and intermountain valleys of Ecuador, Peru, Northern Chile, and Colombia	Blancke, 2016

Table 2. Altitudes, temperatures, and precipitation recommended for various Solanaceous fruit crops in the Andean region of Colombia.

Species	Altitude (m a.s.l.)	Temperature range (°C)	Precipitation (mm year ⁻¹)	Author(s)
Cape gooseberry	1,800-2,800	13-16	1,000-1,800	Fischer & Melgarejo (2020)
Tree tomato	1,800-2,600	18-23	1,500-2,000	Bonnet & Cárdenas (2012)
Lulo	1,600-2,400	16-24	1,000-2,800	Paull & Duarte (2012)
Sweet cucumber*	900-2,800	18-24	500-800	Sánchez (s.f.)

* Recommended for the conditions of Peru.



Figure 1. Plants in reproductive stage. a. cape gooseberry; b. tree tomato; c. lulo; d. sweet cucumber fruits.

Bogotá (2,600m a.s.l.) equal to $10.545\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fischer & Melgarejo, 2020).

A constant water supply is essential for the indeterminate growth of this plant and a rainfall of 1,000 to 1,800mm year⁻¹ evenly distributed throughout the year is favorable for its performance (Fischer & Melgarejo, 2020). However, the soil moisture level must always be slightly below field capacity because cape gooseberry, in general, does not withstand waterlogging for more than 4 days (Table 3) (Aldana *et al.* 2014). Prolonged rainy seasons or heavy rains after a dry season can cause fruit cracking, which is the most important physiological disorder in this species and which can be alleviated with optimal fertilization with calcium, boron, potassium, and magnesium (Torres *et al.* 2016; Garzón-Acosta *et al.* 2014). Severe water stress, which occurs especially during the El Niño phenomenon, reduces plant growth, resulting in smaller leaves and fruits (Fischer & Melgarejo, 2014). Torres *et al.* (2004) recorded that water stress, particularly during the first weeks of the reproductive phase, generates smaller fruits and lower productivity in general. Álvarez-Herrera *et al.* (2019) found that an irrigation coefficient of 1.1 originated higher values of the efficient water use of the Y_{leaf} and Y_{stem} , which is the most recommended for a production of large fruits and with less cracking.

For the productive areas in Ecuador, Carrillo-Perdomo *et al.* (2015) reported altitudes up to 3,300m suitable for cultivation of cape gooseberry, with an optimum temperature of about 18°C, high incident solar radiation, and annual rainfall of 1,000-2,000mm. The cape gooseberry does not resist high wind speed (Carrillo-Perdomo *et al.* 2015) due to the deformation and breakage of branches and leaves, also due to the fall of the reproductive organs (Fischer & Melgarejo, 2014). This situation that makes it necessary the installation of living barriers against the wind, which also favors the flight of pollinating bees for this species that might no longer fly at wind speeds superior than 10km h⁻¹ (National Research Council, 1989). On the contrary, low winds benefit the maintenance of a stable CO₂ concentration in the plant to guarantee the optimal photosynthesis (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012), but in cape gooseberry it is necessary to quantitatively evaluate these aspects.

In general, hailstorms that can occur sporadically in many producing areas, affect these four Solanaceae fruit crops, causing impacts by hail, depending on their diameter, speed, density, and duration, in all green parts, especially in the leaves, but also in flowers, fruits, tender shoots and, in the case of cape gooseberry, in the calyxes, in addition, causing the fall of these organs. However, if the damage was not so serious, the plant can recover and terminate its vegetative

Table 3. Physiological response of Cape gooseberry, tree tomato, lulo, and sweet cucumber to waterlogging in the Andes.

Crop	Physiological response to waterlogging	Reference
Cape gooseberry	The dry biomass of plant organs was reduced after 4 days of waterlogging. The leaf area, stem base diameter, plant height, and number of reproductive organs decreased after 6 days of waterlogging. The chlorophyll content (SPAD index) of the 8-day flooded plants was significantly lower than in the control plants.	Aldana <i>et al.</i> 2014
Cape gooseberry	Waterlogging for 6 days + <i>Fusarium oxysporum</i> decreased root growth, root diameter, and leaf area. The two stresses combined reduced stomatal conductance and rates of transpiration and photosynthesis.	Villarreal-Navarrete <i>et al.</i> 2017
Tree tomato	Flooded plants had lower stem growth, reduced biomass, and lower chlorophyll content (SPAD index). Likewise, the plants had a lower rate of F_v/F_m rate and lower efficient use of nitrogen but a higher distribution of assimilates to the stems.	Betancourt-Osorio <i>et al.</i> 2016
Lulo	Waterlogging reduced chlorophyll content, stomatal conductance, transpiration, efficient nitrogen use, and leaf succulence, but increased stem diameter.	Flórez-Velasco <i>et al.</i> 2015
Lulo	After 3 days of flooding, photosystem II of photosynthesis was damaged, reducing the chlorophyll content. Waterlogging for 6 and 9 days decreased the relative water content (RWC) in the leaves.	Sánchez-Reinoso <i>et al.</i> 2019
Lulo	Waterlogging during 6 and 9 days reduced root growth (root diameter, length, volume, and dry weight). There was no interaction between the effects of waterlogging and plant shading.	Cardona <i>et al.</i> 2016
Sweet cucumber	Moderately tolerant to waterlogging, presenting more tolerance than tree tomato and tomato to this factor.	Nuez & Ruiz, 1996

and reproductive growth cycles (Ramírez & Kallarackal, 2019; Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). In the case of larger losses and damages that decrease the plant production and predispose these to infections by pathogens, it is recommended to install the crops in areas with little probability of this phenomenon and, in any case, the application of fungicides is advisable, such as the protectants to prevent infection of damaged tissues by pathogens (Torres *et al.* 2016).

The tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). In Colombia, the tree tomato or tamarillo (Figure 1b) is found in the wild between 1,200 and 3,000m a.s.l. and produces better from 1,800 to 2,600m a.s.l. (optimal 1,900-2,300m a.s.l.), with temperatures between 13 and 20°C (Bonnet & Cárdenas, 2012a). These authors recommend planting this crop in areas with an annual rainfall between 1,500 and 2,000mm well distributed throughout the year but with a short “summer”, to have no damage in the production and fruit quality; these suggest a relative air humidity of around 80% and the installation of a drain on flat sites to avoid waterlogging. Due to the danger of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*), Angulo (2003) warned of such high levels of air humidity and recommends sites with air humidity of 60 to 70% for its cultivation, also choosing regions with a direct sunlight of about 1,800 to 2,300h per year.

In the Andean equatorial zone, the tree tomato can be found between 1,500 and 3,000m a.s.l. (Lagos *et al.* 2011), while, in subtropical regions, it can grow up to the sea level and resist light frosts (Blancke, 2016). It does not resist dry periods that especially affect its flowering, due to a very superficial root system (Carrillo-Perdomo *et al.* 2015; Ramírez & Kallarackal, 2019) requiring additional irrigation under these conditions (National Research Council, 1989). This species subjected to water stress in the vegetative stage decreases growth rate, total dry weight, transpiration, and stomatal conductance (Clavijo-Sánchez *et al.* 2015).

For the areas of its cultivation in Ecuador, Carrillo-Perdomo *et al.* (2015) reported that the tree tomato is tolerant to low temperatures, which must be above 10°C, while the temperatures equal to or lower than -2°C cause damage to the seedlings, branches, and young foliage. It grows well in temperature regimes between 13 and 24°C, with optimum temperatures between 16 and 19°C (Chañag-Míramag *et al.* 2017). In the case of colder subtropical zones, Carrillo-Perdomo *et al.* (2015) reported suitable altitudes between 300 and 1,000m a.s.l., likewise indicating that low temperatures promote flowering, while excessively hot temperatures affect all reproductive phases and promote rarely set fruits (National Research Council, 1989), at the same time, these processes require more research. The tree tomato does not withstand strong winds due to its fragile branches, soft leaves, and superficial rooting; therefore, it cannot be grown in heavy, compacted, and flooded soils (Carrillo-Perdomo *et al.* 2015). However, the wind as an abiotic vector, plays an important role in its pollination (Schotsmans *et al.* 2011; Ramírez & Kallarackal, 2019).

Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). The lulo or naranjilla (Figure 1c) adapts well to the humid high Andean tropics because it requires an annual precipitation between 1,000 and 2,800mm, with an optimum of about 2,500mm, but also thrives well in drier areas

with supplementary irrigation (Paull & Duarte, 2012). As for the temperature range for plant growth, these authors recommended 16 to 24°C (optimal 17-18°C) and an altitude between 1,600 to 2,400m a.s.l., favoring 2,000 to 2,400m a.s.l. for the most acidic type of fruits with thorns *S. quitoense* f. *septentrionale* and 1,600-2000m a.s.l. for *S. quitoense* f. *quitoense*, without thorns. Bonnet & Cárdenas (2012b) attributed the areas located between 2,000 and 2,200m a.s.l. as the most optimal for its development. Pulido *et al.* (2008), through the regression calculation method, estimated 9.6°C as the base (minimum) temperature for the node appearance on the lulo main stem, while Cruz *et al.* (2007) found accumulation of thermal units above 8°C as a growth threshold for *S. quitoense* f. *septentrionale*. For the same accession, at the vegetative phenological stage, the photosynthetic rates from 4 to 8 μ mol CO₂ m⁻² s⁻¹ were reported, which were directly related to photosynthetically active radiation in conditions of the low montane humid forest (bh-MB) of the Eastern Antioquia (Colombia) (Medina *et al.* 2006).

Bonnet & Cárdenas (2012b) placed special emphasis on the high-water requirement of these plants, from 1,800 to 3,000mm, well distributed throughout the year, which means a daily water level of about 4 to 6mm. In addition, the lulo is adapted to shady conditions (Cardona *et al.* 2016), for which Lobo (2006) characterized it as an understory plant, developing large leaves with different insertion angles that allow better capture of solar radiation that passes through the canopies of trees, however, Paull & Duarte (2012) and Casierro-Posada *et al.* (2013) stated that it also grows and produces well in full sun. In this regard, Lobo (2006) observed that the lulo at full sun exposure accelerated senescence, shortening the productive period.

To ensure a better protection against UV rays, this species develops trichomes on petals and fruits as well as a high anthocyanin content in the vascular system (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). Bonnet & Cárdenas (2012b) suggested to cultivate lulo in the dark until recommending a black shading net (25-35% shade), because this plant would not close the stomata, which would further conduct to significant losses of water through transpiration, corresponding to a mean transpiration of 50L d⁻¹ of water per plant in extreme cases. In Ecuador, Revelo *et al.* (2010) stated that a lulo plantation requires a rainfall between 1,500 and 4,000mm year⁻¹, with an optimum of 2,500mm. However, it is to consider (Tab. 3) that the growth of the lulo suffers from waterlogging after 6 days (Cardona *et al.* 2016) and the photosynthesis is affected by this condition after 3 days (Sánchez-Reinoso *et al.* 2019). Foliar applications of nitrogen decreased the detrimental effect of waterlogging in the lulo (Flórez-Velasco *et al.* 2015).

Ramírez *et al.* (2018) reported that the lulo plants respond to the photoperiod with respect to flowering. Messinger & Lauerer (2015) found under greenhouse conditions in Germany that, in plants under long day conditions (summer in Germany), the period between the flower bud appearance and fruit set becomes shorter, reducing the flowering period and time until harvest. These authors also observed that under short day conditions (winter) the lulo plants produced more flowers than during long days in summer. Likewise, the National Research Council (1989) mentioned that the lulo, possibly,

needs short-day environments for its pollination. Due to all the above, the lulo plants need even more research on ecophysiological issues. Since, after Paull & Duarte (2012), the lulo has good rooting and anchoring it should not be very susceptible to uprooting by strong winds, but its large, soft leaves can be seriously damaged.

The sweet cucumber (*Solanum muricatum* Aiton). The sweet cucumber or pear melon is not as well-known as the first three fruit species of this review, for which the National Research Council (1989) and Herraiz *et al.* (2016) described it as an Andean crop “neglected” or “lost”; however, it draws a growing interest in many markets for exotic fruits (Rodríguez-Burruezo *et al.* 2011). Apart from its greater distribution in the western Andean regions and inter-Andean valleys of Ecuador, Peru, North Chile and Colombia, Mathias & Madeira (2017) affirmed for Brazil that the sweet cucumber has a good climatic adaptation to the South and Southeast regions, being also planted in areas of the Midwest of Brazil at altitudes above 1,000m a.s.l.

The fruit set and yield in this crop are affected by high temperatures (Rodríguez-Burruezo *et al.* 2011), due to the negative effect of heat on pollen fertility (Ruiz *et al.* 1996). Thus, Nuez & Ruiz (1996) observed abortion of flower buds when temperatures exceeded 35°C and/or conditions of extreme drought, for which these authors recommended growth areas with temperatures below 25°C to guarantee optimal fruit set, while posterior higher temperatures would no longer affect the plant development. Nuez & Ruiz (1996) estimated about 8 to 10°C as minimum night temperatures for the proper fruit set, while temperatures below 10-12°C can affect the fruit development (Infoagro, 2020). Jana (2019) reported between 380 and 550 degree days (base temperature of 10°C) are necessary for flowering to occur, while 400 to 580 degree days are required for fruit set, and harvest requires only at least 1,000 degree days.

However, there are ecotypes that, despite their low pollen fertility, can give high yields because these have facultative parthenocarpy (Rodríguez-Burruezo *et al.* 2011). These authors reported that the cultivation of sweet cucumber under Mediterranean greenhouse conditions showed a higher yield in the autumn-winter season than in the spring-summer season, probably because the autumn-winter conditions were more consistent with those suitable for the fruit development. Sweet cucumber is susceptible to frost, with damage depending on the duration and magnitude of these conditions, however, after a short frost of -2°C the plants usually recovered from damage done to leaves and small fruits (Nuez & Ruiz, 1996). Due to its very superficial roots, sweet cucumber is susceptible to drought, however, according to Nuez & Ruiz (1996), it recovers quickly. Blancke (2016) observed in sweet cucumber that the color of flowers depends on the temperature because plants in cooler environments below 20°C develop blue flowers and those grown above 25°C develop white flowers, while Herraiz *et al.* (2015) reported that high temperatures reduced a content of sugars in the fruits, which acquired an unpleasant taste. The intensity of the “exotic” color of fruits (purple stripes, Figure 1d) depends on solar radiation that increases the accumulation of anthocyanin pigments promoting the purple color of flowers and fruits (Jana, 2019).

In contrast to the first three Solanaceae listed in this review, sweet cucumber has been studied for the effects of an environmental enrichment with CO₂ (350, 700, and 1,050ppm) in growth chambers in cv. Xotus (Chen *et al.* 1999a), which increased foliar and fruit growth as well as the net assimilation rate and relative growth with the air enrichment with CO₂ to 750 and 1,050ppm. Also, Chen *et al.* (1999b) found that the net photosynthetic rate and the photosynthetic water use efficiency increased substantially at CO₂ levels of 700 and 1,050ppm as compared to 350ppm. Nuez & Ruiz (1996) reported damage to the foliage by strong winds, especially, if these were combined with low temperatures, while Infoagro (2020) also warned of the danger of very hot and dry winds, for which wind curtains are necessary in areas exposed to this factor.

This literature review indicates that the information on these four crops, which are the most widely planted nightshade fruit trees in the Andes, is not very abundant and only began gaining a structure starting from the 1990s. The publications refer mostly to observations of field crops in certain microclimates and altitudinal ranges, where the species prospered very satisfactorily (Bonnet & Cárdenas, 2012a; 2012b).

Some of these adaptations of crop defenses against high UV light intensities include the abundant trichomes in cape gooseberry and lulo (Ramírez *et al.* 2013), and the greater synthesis of anthocyanins in tree tomato and lulo (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). Likewise, these species do not withstand high temperatures during flowering, for which a maximum temperature between 25 and 30°C is recommended (Fischer & Melgarejo, 2014), which shows their nature of fruit trees originating in the Andean areas (Blancke, 2016).

With low knowledge of ecophysiology in these species (Sánchez-Reinoso *et al.* 2019), more studies of a physiological, biochemical, and even molecular aspects are required, which would allow for the understanding of the influence of climate on photosynthesis, transpiration, respiration, sink-source relationship, hormonal behavior, among others processes, to make more accurate decisions related to the growing of these species in the most appropriate areas to provide a better expression of their genetic potential (Pérez & Melgarejo, 2015).

Especially, it is important to know these species reaction and adjustments to the climate change, such as the increase in temperature or the presence of extreme events such as drought and heavy rains that generate floods and waterlogging (Shukla *et al.* 2019). This climatic variability affects the physiology of these solanaceous plants and demands the implementation of different agronomic practices for specific management of the temperature and precipitation effects (Fischer & Miranda, 2021). In addition, the effects of raising CO₂ concentrations on the growth, physiology, production, and quality of these Solanaceae should be addressed, in order to improve their adaptation to this new ecophysiological situation and to re-evaluate the results of the previous studies (Restrepo-Díaz & Sánchez-Reinoso, 2020).

Acknowledgments and dedication. This manuscript is dedicated to the memory of life and work of Professor Hernando Criollo Escobar Ph.D. (r.i.p.), who during his lifetime contributed significantly to research in Andean fruit production in Colombia and to the comprehensive training of Agricultural engineers in the University of Nariño. He was an excellent teacher and researcher and a person of great human qualities; we will remember him forever. **Conflict of interests:** The manuscript was prepared and reviewed with the participation of all authors, who declare that no conflict of interest is present that might question the validity of the results presented in the article.

REFERENCES

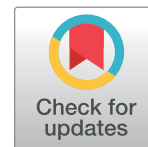
- ACOSTA-QUEZADA, P.G.; RAIGÓN, M.D.; RIOFRÍO-CUENCA, T.; GARCÍA-MARTÍNEZ, M.D.; PLAZAS, M.; BURNEO, J.I.; FIGUEROA, J.G.; VILANOVA, S.; PROHENS, J. 2015. Diversity for chemical composition in a collection of different varietal types of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an Andean exotic fruit. Food Chem. 169:327-335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.152>
- ALDANA, F.; GARCÍA, P.N.; FISCHER, G. 2014. Effect of waterlogging stress on the growth, development and symptomatology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat. 38(149):393-400. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.114>
- ALMANZA-MERCHÁN, P.; VELANDIA, J.; TOVAR, Y. 2016. Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 10(2):222-231. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065>
- ÁLVAREZ-HERRERA, J.; GONZÁLEZ, H.; FISCHER, G. 2019. Water potential in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants subjected to different irrigation treatments and doses of calcium. Agron. Colomb. 37(3):274-282. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n3.79935>
- ANGULO, R. 2003. Frutales exóticos de clima frío. Bayer Crop Science S.A. Bogota (Colombia). 136p.
- BETANCOURT-OSORIO, J.; SANCHEZ-CANRO, D.; RESTREPO-DIAZ, H. 2016. Effect of nitrogen nutritional statuses and waterlogging conditions on growth parameters, nitrogen use efficiency and chlorophyll fluorescence in tamarillo seedlings. Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca. 44(2):375-381. <https://doi.org/10.15835/nbha44210438>
- BLANCKE, R. 2016. Tropical fruits and other edible plants of the world. Cornell University Press. Ithaca and London (UK). 337p.
- BONNET, J.G.; CÁRDENAS, J.F. 2012a. Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt.). In: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios. Bogotá (Colombia). p.825-850.
- BONNET, J.G.; CÁRDENAS, J.F. 2012b. Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios. Bogota (Colombia). p.600-626.
- BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. 2015. Biochemistry and molecular biology of plants. 2nd ed. John Wiley & Sons (UK). 1280p.
- CARDONA, W.A.; BAUTISTA-MONTEALEGRE, L.G.; FLÓREZ-VELASCO, N.; FISCHER, G. 2016. Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) en respuesta al sombrío y anegamiento. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 10(1):53-65. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5124>
- CARRILLO-PERDOMO, E.; ALLER, A.; CRUZ-QUINTANA, S.M.; GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J.M. 2015. Andean berries from Ecuador: A review on Botany, Agronomy, Chemistry and Health Potential. J. Berry Res. 5:49-69. <https://doi.org/10.3233/JBR-140093>
- CASIERRA-POSADA, F.; PEÑA-OLMOS, J.; PEÑALOZA, J.; ROVEDA, G. 2013. Influencia de la sombra y de las micorrizas sobre el crecimiento de plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(1):61-70. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.859>
- CHAÑAG-MIRAMAG, H.; VIVEROS-ROJAS, J.; ÁLVAREZ-ORDOÑEZ, S.; CRIOLLO-ESCOBAR, H.; LAGOS-MORA, L. 2017. Evaluación de genotipos de tomate de árbol [*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt.] frente al ataque de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary sensu lato. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 11(1):11-20. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.4725>
- CHEN, K.; HU, G.; KEUTGEN, N.; JANSSENS, M.J.J.; LENZ, F. 1999a. Effects of NaCl salinity and CO₂ enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.): I. Growth and yield. Sci. Hortic. 81(1):25-41.
- CHEN, K.; HU, G.; KEUTGEN, N.; JANSSENS, M.J.J.; LENZ, F. 1999b. Effects of NaCl salinity and CO₂ enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.): II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange. Sci. Hortic. 81(1):43-56. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00263-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00263-5)
- CLAVIJO-SÁNCHEZ, N.; FLOREZ-VELASCO, N.; RESTREPO-DIAZ, H. 2015. Potassium nutritional status affects physiological response of tamarillo plants

- (*Cyphomandra betacea* Cav.) to drought stress. J. Agr. Sci. Tech. 17:1839-1849.
18. CRIOLLO E., H.; INSUASTI, K.; DEGALDO, W. 2017. Regeneración in vitro de plántulas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav. Sendt.). Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 10(2):252-261.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5750>
 19. CRONIN, P.; RYAN, F.; COUGHLAN, M. 2008. Undertaking a literature review: a step-by-step approach. Brit. J. Nursing. 17(1):38-43.
<https://doi.org/10.12968/bjon.2008.17.1.28059>
 20. CRUZ, P.; ACOSTA, K.; CURE, J.R.; RODRÍGUEZ, D. 2007. Desarrollo y fenología del lulo *Solanum quitoense* var. *septentrionale* bajo polisombra desde siembra hasta primera fructificación. Agron. Colomb. 25(2):288-298.
 21. DAMATTA, F.M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B.C.; BUCKERIDGE, M.S. 2010. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. Food Res. Int. 43:1814-1823.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.11.001>
 22. FISCHER, G. 2000. Ecophysiological aspects of fruit growing in tropical highlands. Acta Hortíc. 531:91-98.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.531.13>
 23. FISCHER, G.; HERRERA, A.; ALMANZA, P.J. 2011. Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). In: Yahia, E.M. (ed.) Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Vol. 2: Acai to citrus. Woodhead Publishing (Cambridge, UK). p.374-396.
<https://doi.org/10.1533/9780857092762.374>
 24. FISCHER, G.; MELGAREJO, L.M. 2014. Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). In: Carvalho, C.P.; Moreno, D.A. (eds.). *Physalis peruviana*: fruta andina para el mundo. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED, Limencop SL. (Alicante, Spain). p.31-47.
 25. FISCHER, G.; MELGAREJO, L.M. 2020. The ecophysiology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) - an Andean fruit crop. A review. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 14(1).
<https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10893>
 26. FISCHER, G.; MELGAREJO, L.M. 2021. Ecophysiological aspects of guava (*Psidium guajava* L.). A review. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 14(1):e12355.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12355>
 27. FISCHER, G.; MIRANDA, D. 2021. Review on the ecophysiology of important Andean fruits: *Passiflora* L. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín. 74(2).
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.91828>
 28. FISCHER, G.; ORDUZ-RODRÍGUEZ, J.O. 2012. Ecofisiología en los frutales. In: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios (Bogotá). p.54-72.
 29. FISCHER, G.; PARRA-CORONADO, A. 2020. Influence of environmental factors on the feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret) crop. A review. Agronomía Colombiana. 38(3):388-397.
<http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n3.88982>
 30. FISCHER, G.; RAMÍREZ F.; CASIERRA-POSADA, F. 2016. Ecophysiological aspects of fruit crops in the era of climate change. A review. Agron. Colomb. 34(2):190-199.
<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.56799>
 31. FISCHER, G.; ULRICHS, C.; EBERT, G. 2015. Contents of non-structural carbohydrates in the fruiting cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plant. Agron. Colomb. 33(2):155-163.
<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.515462>
 32. FLÓREZ-VELASCO, N.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E.; RESTREPO-DÍAZ, H. 2015. Effects of foliar urea application on lulo (*Solanum quitoense* cv. *septentrionale*) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. Sci. Hortíc. 186:154-162.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.021>
 33. GARZÓN-ACOSTA, C.P.; VILLARREAL-GARZÓN, D.M.; FISCHER, G.; HERRERA, A.O.; SANJUANELO, D. 2014. La deficiencia de fósforo, calcio y magnesio afecta la calidad poscosecha del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Acta Hortíc. 1016:83-88.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.9>
 34. GUERRERO, A.L.; GALLUCCI, S.; MICHALIJOS, P.; VISCIARELLI, S.M. 2011. Países Andinos: aportes teóricos para un abordaje integrado desde las perspectivas geográfica y turística. Huellas. 15:121-138.
 35. HERRAIZ, F.J.; RAIGÓN, M.D.; VILANOVA, S.; GARCÍA-MARTÍNEZ, M.D.; GRAMAZIO, P.; PLAZAS, M.; RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A.; PROHENS, J. 2016. Fruit composition diversity in land races and modern pepino (*Solanum muricatum*) varieties and wild related species. Food Chem. 203:49-58.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.035>
 36. HERRAIZ, F.J.; VILANOVA, S.; PLAZAS, M.; GRAMAZIO, P.; ANDÚJAR, I.; RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A.; FITA, A.; ANDERSON, G.J.; PROHENS, J. 2015. Phenological growth stages of pepino (*Solanum muricatum*) according to the BBCH scale. Sci. Hortíc. 183:1-7.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.008>

37. INFOAGRO. 2020. El cultivo del pepino dulce. Disponible desde Internet en: https://www.infoagro.com/hortalizas/pepino_dulce.htm (con acceso el 19/08/2020).
38. JANA, C. 2019. El cultivo del pepino dulce. Boletín INIA 410. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago (Chile). 194p.
39. LAGOS, T.C.; BENAVIDES, C.A.; PAREDES, R.; LAGOS, L.K. 2011. Distribución del tomate de árbol *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. y caracterización eco-climática en las zonas del cultivo de Nariño. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 5(1):11-19. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i1.1249>
40. LIGARRETO, G. 2012. Recursos genéticos de especies frutícolas en Colombia. In: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en trópico. Produmedios. Bogota (Colombia). p.35-53.
41. LOBO, M. 2006. Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. Cienc. Tecnol. Agropecu. 7(2):40-54.
42. LOBO ARIAS, M.; MEDINA CANO, C.I.; DELGADO PAZ, O.A.; BERMEO GIRALDO, A. 2007. Variabilidad morfológica de la colección colombiana de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y especies elacionadas de la sección Lasiocarpa. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín. 60(2):3939-3964.
43. MARENGO, J.A.; PABÓN, J.D.; DÍAZ, A.; ROSAS, G.; ÁVALOS, G.; MONTEALEGRE, E.; VILLACIS, M.; SOLMAN, S.; ROJAS, M. 2011. Climate change: evidence and future scenarios for the Andean region. In: Herzog, S.; Martínez, R.; Jorgensen, P.M.; Tiessen, H. (eds.). Climate change and biodiversity in the tropical Andes. IAI-SCOPE-UNESCO. Paris (France). p.110-127.
44. MATHIAS, J.; MADEIRA, N.R. 2017. Como plantar muricato. Disponible desde Internet en: <https://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/como-plantar/noticia/2017/03/como-plantar-muricato.html> (con acceso el 19/08/2020).
45. MEDINA, C.; MARTÍNEZ, E.; LOBO, M.; LÓPEZ, J.; RIAÑO, N. 2006. Comportamiento bioquímico y del intercambio gaseoso del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente Antioqueño Colombiano. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 59(1):3123-3146.
46. MENDOZA, M.; PERES, C.A.; MORELLATO, L.P.C. 2017. Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. Global Planetary Change. 148:227-241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.12.001>
47. MESSINGER, J.; LAUERER, M. 2015. *Solanum quitoense*, a new greenhouse crop for Central Europe: flowering and fruiting respond to photoperiod. Sci. Hortic. 183:23-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.015>
48. MORA, R.; PENA, A.; LÓPEZ, E.; AYALA, J.J.; PONCE, D. 2006. Agrofenología de *Physalis peruviana* L. en invernadero y fertirriego. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 12(1):57-63.
49. MORENO-MIRANDA, C.; MORENO-MIRANDA, R.; PILAMALA-ROSALES, A.A.; MOLINA-SÁNCHEZ, J.I. 2019. El sector hortofrutícola de Ecuador: Principales características socio-productivas de la red agroalimentaria de la uvilla (*Physalis peruviana*). Cien. Agri. 16(1):31-55. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n1.2019.8809>
50. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1989. Lost crops of the Incas. National Academy Press (Washington, D.C.). 415p.
51. NGASOH, F.G.; FINLAK, A.F.; DAUDA, P.A.; ISMAILA, R. 2019. The influence of climate variation on abiotic plant stress: a review. Int. J. Environ. Agric. Biotech. (IJEAB). 4(4):1153-1160. <https://doi.org/10.22161/ijeab.4444>
52. NUEZ, F.; RUIZ, J.J. 1996. El pepino dulce y su cultivo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 136. FAO (Roma). 155p.
53. ORME, A.R. 2007. The tectonic framework of South America. En: Veblen, T.T.; Young, K.R.; Orme, A.R. (eds). The physical geography of South America. Oxford University Press. Oxford (U.K.). p.23-44.
54. PAULL, R.E.; DUARTE, O. 2012. Tropical fruits. Vol. 2. 2nd ed. Cabi International. Wallingford, (U.K.). 371p.
55. PÉREZ, L.V.; MELGAREJO, L.M. 2015. Photosynthetic performance and leaf water potential of gulupa (*Passiflora edulis* Sims, Passifloraceae) in the reproductive phase in three locations in the Colombian Andes. Acta Biol. Colomb. 20(1):183-194. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.42196>
56. PEYRE, G.; BALSLEV, H.; FONT, X.; TELLO, J.S. 2019. Fine-scale plant richness mapping of the Andean páramo according to macroclimate. Front. Ecol. Evol. 7:377. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00377>
57. PULIDO, S.; BOJACÁ, C.R.; SALAZAR-GUTIERREZ, M.R.; CHAVES, B. 2008. Node appearance model for Lulo

- (*Solanum quitoense* Lam.) in the high altitude tropics. *Biosyst. Eng.* 101(4):383-387.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.009>
58. RAMÍREZ, F.; FISCHER, G.; DAVENPORT, T.L.; PINZÓN, J.C.A.; ULRICH, C. 2013. Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) phenology according to the BBCH phenological scale. *Sci. Hortic.* 162:39-42.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.033>
59. RAMÍREZ, F.; KALLARACKAL, J. 2019. Tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) reproductive physiology: A review. *Sci. Hortic.* 248:206-215.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.019>
60. RAMÍREZ, F.; KALLARACKAL, J.; DAVENPORT, T.L. 2018. Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Sci. Hortic.* 238:163-176.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>
61. RAZA, A.; ASHRAF, F.; ZOU, X.; ZJANG, X.; TOSIF, H. 2020. Plant adaptation and tolerance to environmental stresses: Mechanisms and perspectives. In: Hasanuzzaman, M. (ed.). *Ecophysiology and adaptation under climate change: mechanisms and perspectives I*. Springer Nature Singapore. p.117-146.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-2156-0_5
62. RESTREPO-DÍAZ, H.; SÁNCHEZ-REINOSO, A.D. 2020. Ecophysiology of fruit crops: A glance at its impact on fruit crop productivity. In: Srivastava A.K.; Hu, C. (eds.) *Fruit crops: Diagnosis and management of nutrient constraints*. Elsevier. p.59-66.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00005-8>
63. REVELO, J.; VITERI, P.; VÁSQUEZ, W.; VALVERDE, F.; LEÓN, J.; GALLEGOS, P. 2010. Manual del cultivo ecológico de la naranjilla. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina (Quito). 120p.
64. RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A.; PROHENS, J.; FITA, A.M. 2011. Breeding strategies for improving the performance and fruit quality of the pepino (*Solanum muricatum*): A model for the enhancement of underutilized exotic fruits. *Food Res. Int.* 44:1927-1935.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.028>
65. RUIZ, J.J.; PROHENS, J.; NUEZ, F. 1996. Efecto de la temperatura sobre el cuajado y maduración de frutos en pepino dulce. *Actas Horticultura.* 14:109-118.
66. SAAVEDRA, F.; PENA, E.J.; SCHNEIDER, M.; NAOKI, K. 2020. Effects of environmental variables and foliar traits on the transpiration rate of cocoa (*Theobroma cacao* L.) under different cultivation systems. *Agroforest Syst.* 94:2021-2031.
<https://doi.org/10.1007/s10457-020-00522-5>
67. SALAZAR, M.R.; JONES, J.W.; CHAVES, B.; COOMAN, A.; FISCHER, G. 2008. Base temperature and simulation model for nodes appearance in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Bras. Frutic.* 30(4):862-867.
<https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400004>
68. SÁNCHEZ, I. (s.f.). La agricultura Andina - Frutales andinos. Disponible desde Internet en:
http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro09/Cap3_5.htm (con acceso el 19/08/2020).
69. SÁNCHEZ-REINOSO, A.D.; JIMÉNEZ-PULIDO, Y.; MARTÍNEZ-PÉREZ, J.P.; PINILLA, C.S.; FISCHER, G. 2019. Chlorophyll fluorescence and other physiological parameters as indicators of waterlogging and shadow stress in lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) seedlings. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 13(3):325-335.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.10017>
70. SCHOTSMANS, W.C.; EAST, A.; WOOLF, A. 2011. Tamarillo (*Solanum betaceum* (Cav.)). In: Yahia, E.M. (ed.). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Vol. 4. Mangosteen to white sapote. Oxford (UK): Woodhead Publishing. p.427-441.
71. SHUKLA, P.R.; SKEA, J.; SLADE, R.; VAN DIEMEN, R.; HAUGHEY, E.; MALLEY, J.; PATHAK, M.; PORTUGAL PEREIRA, J. 2019. Technical summary, 2019. In: *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. IPCC. Disponible desde Internet en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/03_Technical-Summary-TS.pdf (con acceso el 19/08/2020).
72. TORRES, C.; COOMAN, A.; FISCHER, G. 2004. Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta: I. Efecto de la variación en el balance hídrico. *Agron. Colomb.* 22(2):140-146.
73. TORRES, C.; FISCHER, G.; MIRANDA, D. 2016. Principales fisiopatías del cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). In: Miranda, D.; Carranza, C.; Fischer, G. (eds.). *Problemas de campo asociados al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.)*. Editorial Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). p.139-146.

74. TORRES-GONZÁLEZ, A. 2019. Latencia y germinación de semillas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) y lulo (*Solanum quitoense* Lam.). Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 13(3):336-347.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.10130>
75. VILLARREAL-NAVARRETE, A.; FISCHER, G.; MELGAREJO, L.M.; CORREA, G.; HOYOS-CARVAJAL, L. 2017. Growth response of the cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) to waterlogging stress and *Fusarium oxysporum* infection. Acta Hortic. 1178:161-168.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1178.28>



Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana

Effect of pH on the nutrient concentration in cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Colombian Amazon

Gelber Rosas-Patiño^{1*}; Yina Jazbleidi Puentes-Páramo²; Juan Carlos Menjivar-Flores³

¹Ing. Agroecólogo, M.Sc., Ph.D. Universidad de la Amazonía. Florencia - Caquetá, Colombia; e-mail: g.rosas@udla.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1044-8103>

²Ing Agrónomo, Ph.D. Consultor independiente en fertilidad y nutrición de cultivos. Palmira-Valle del Cauca-Colombia; e-mail: yjpuentes@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3784-9687>

³Ing Agrónomo, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: jcmenjivar@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-0985-7778>

*autor de correspondencia: g.rosas@udla.edu.co

Cómo citar: Rosas-Patiño, G.; Puentes-Páramo, Y.J.; Menjivar-Flores, J.C. 2021. Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1643. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: julio 21 de 2020 **Aceptado:** marzo 29 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La acidez del suelo limita la disponibilidad, la absorción y la concentración de nutrientes y el rendimiento del cultivo de cacao. El objetivo fue evaluar el efecto del pH del suelo sobre la concentración de nutrientes en hoja, cáscara y grano, para cuatro clones de cacao autocompatibles (ICS-1, CCN-51) y autoincompatibles (ICS-39, TSH-565), en el departamento del Caquetá. El diseño experimental consistió en un arreglo factorial con cuatro clones (factor A), cuatro niveles de pH y fertilidad (factor B) y cuatro repeticiones. Los resultados indican diferencias en la concentración de nutrientes por efecto del clon y tratamiento, siendo la acumulación de N, P y Mg en grano>hoja>cáscara, K en cáscara>hoja>grano, Ca, Fe, Mn, Zn y B en hoja>cáscara>grano, S en cáscara>hoja>grano y Cu en grano>cáscara>hoja. La concentración de P, Mg y S fue mayor y, a

su vez, menor Mn, cuando aumentó el pH. El orden de extracción nutrimental en grano fue N>K>P>Mg>S>Ca>Fe>Mn>Zn>Cu>B. Con relación a los clones, CCN-51 presentó habilidad para la toma de nutrientes y alcanzar mayores producciones, incluso, en suelos con pH $\geq 5,5$, lo que sugiere efecto de las condiciones edafoclimáticas y, por lo tanto, la necesidad de evaluar los clones para cada zona de cultivo.

Palabras clave: Propiedades suelo; Absorción sustancia nutritivas; Disponibilidad nutrientes; Análisis tejidos; Suelos ácidos.

ABSTRACT

The soil acidity limits availability, absorption and concentration of nutrients and yield of the cocoa crop. The objective was to

evaluate the effect of soil pH on the concentration of macro and micronutrients in leaf, husk and grain for four cocoa clones, self-compatible (ICS-1, CCN-51) and self-incompatible (ICS-39, TSH-565) in the department of Caquetá. The experimental design consisted in a factorial arrangement with four clones (factor A), four pH and fertility levels (factor B) and four repetitions. The results indicate differences in the concentration of nutrients due to the effect of the clone and the treatment, being the accumulation of N, P and Mg in grain>leaf>husk, K in husk>leaf>grain, Ca, Fe, Mn, Zn y B in leaf>husk>grain, S in husk>leaf>grain and Cu in grain>husk>leaf. The concentration of P, Mg and S was higher, and in turn Mn lower, when the pH increased. The order of nutrient extraction in grain was N>K>P>Mg>S>Ca>Fe>Mn>Zn>Cu>B. Regarding clones, CCN-51 showed ability to take nutrients and reach higher productions, even in soils with pH ≥ 5.5 , suggesting effect of edaphoclimatic conditions, and therefore, the need to evaluate the clones for each growing area.

Keywords: Soil properties; Nutrient uptake; Tissue analysis; Nutrient availability; Acid soils.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo tropical originario de la cuenca Amazónica, abunda en los bosques húmedos de Colombia (González-Orozco *et al.* 2020), donde predominan suelos ácidos (Quesada *et al.* 2009). Allí crece el cacao, aunque estas condiciones de acidez (pH<5,5) disminuyen la disponibilidad y la absorción de nutrientes (Rosas-Patiño *et al.* 2017) y limita la concentración en los tejidos (Quinteiro *et al.* 2013), afectando el desarrollo de las plantas y, por consiguiente, su rendimiento.

El encalado aumenta el pH y la fertilidad en los suelos, mejora la relación suelo-planta e incrementa la absorción y concentración de nutrientes en la planta (Schlindwein & Gianello, 2004); esta concentración de nutrientes en un órgano específico depende de la interacción entre ambiente, genotipo y manejo del cultivo (Correndo & García, 2012).

Los análisis de tejidos permiten diagnosticar el contenido y la cantidad de nutrientes que extrae el cultivo (Marrocos *et al.* 2020a) y su distribución en hoja, cáscara y grano, información de gran relevancia para mitigar el impacto de la excesiva fertilización y hacer un eficiente manejo nutricional.

Existen algunas investigaciones acerca de la concentración de nutrientes en cacao, entre ellos, a nivel internacional, Abreu (1996), Malavolta *et al.* (1997) y Sodré (2002), en Brasil; Aikpokpodion (2010), en África y, más recientemente, Furcal-Beriguete (2017), en Costa Rica; asimismo, a nivel nacional, Puentes-Páramo *et al.* (2016a; b), sin embargo, son escasos los reportes relacionados con el efecto de los cambios del pH del suelo sobre la extracción de nutrientes en clones de cacao en la Amazonia colombiana.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del pH en un suelo  cido (*Typic Udorthents*), sobre la concentración de nutrientes en hoja, cáscara y grano, para cuatro clones de cacao, dos autocompatibles (ICS-1, CCN-51) y dos autoincompatibles (ICS-39, TSH-565).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se desarrolló en un *Typic Udorthents*, localizado en el paisaje de lomerío del municipio de Puerto Rico, Departamento de Caquetá, Colombia. La zona, se encuentra en condiciones de Bosque Húmedo Tropical (Ruíz *et al.* 2007), a 1 52'12" Latitud Norte y 75 12'24" Longitud Oeste, a 250m s.n.m. La región presenta valores medios anuales de precipitación de 2.960mm, temperatura de 25,3 C y humedad relativa de 84% (IDEAM, 2017).

Se utilizaron cuatro clones de cacao de uso comercial, dos autocompatibles (ICS-1, CCN-51) y dos autoincompatibles (ICS-39, TSH-565), establecidos durante siete años, en el Jardín Clonal de la Asociación Departamental de Productores de Cacao y Especies Maderables del Caquetá (ACAMAFRUT).

Se estableció un diseño factorial con cuatro clones (factor A), cuatro tratamientos definidos por el encalado y la fertilización del suelo (factor B) y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron (Tabla 1): T : testigo o suelo con fertilidad natural; T1: disponibilidad de nutrientes después de 90 días de aplicar 7t ha⁻¹ de cal dolomita, para llevar el suelo a pH $\geq 5,5$ (Rosas-Patiño *et al.* 2017); T2: aplicación de N-P-K en T , hasta alcanzar los requerimientos del cultivo (Puentes-Páramo *et al.* 2014) y T3: aplicación de N-P-K en T1, hasta alcanzar los requerimientos del cultivo propuestos por los precitados autores.

Para garantizar el efecto de los tratamientos en las unidades

Tabla 1. Valor de pH y concentración de nutrientes por tratamiento.

Niveles de fertilidad	pH	Nutrientes (kg ha ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T� (Testigo)	4,36	11,2	10,0	60,0
T1 (T� + Cal)	5,91	15,6	22,6	43,8
T2 (T� + N-P-K)	4,36	73,0	35,2	219,7
T3 (T1 + N-P-K)	5,91	73,0	35,2	219,7

N: nitrógeno; P₂O₅: pentóxido de fósforo; K₂O:  xido de potasio.

experimentales, se omitió la fertilización durante un año y se eliminaron los frutos para estandarizar la producción. Posteriormente, la fertilización para cada tratamiento, se fraccionó en dos momentos; uno, al inicio de la época lluviosa, en marzo-abril y otro, en agosto. La unidad experimental estuvo conformada por cuatro árboles sembrados a 3mx3m, para una densidad poblacional de 1.111 plantas por hectárea.

Los muestreos foliares y de fruto, se realizaron para el año cacaotero 2016-2017. En cada tratamiento y por cada clon, se colectó, de la parte media de cada árbol en plena floración, la cuarta hoja (en total, 25 hojas). Además, se colectaron siete mazorcas maduras y sanas, para determinar la concentración y extracción de nutrientes, por 1.000kg de grano seco. Para estimar la extracción, se tuvo en cuenta el tratamiento con mayor rendimiento obtenido en cada clon, de acuerdo con Rosas-Patiño *et al.* (2019). Las muestras de hoja, cáscara y grano, se secaron en estufa, a 103°C, durante 24 horas; se molieron y se enviaron al laboratorio de suelos de Agrosavia (Tibaitatá, Colombia) y se determinó el contenido de nitrógeno (N), por EPA 351,3; de fósforo (P), por espectrofotometría; de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), por espectrofotometría de emisión de plasma inductivamente acoplado; de azufre (S), por turbidimetría; el hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn), se determinaron por absorción atómica, mientras que el boro (B), por ignición.

Los datos fueron sometidos a un Test de normalidad, mediante la prueba Shapiro-Wilks; las variables con comportamiento normal, se evaluaron mediante análisis de varianza, para determinar el efecto de los tratamientos y las interacciones; el ANAVA, para los datos con comportamiento no paramétrico, fue realizada mediante la prueba Kruskal Wallis. Se realizaron pruebas de comparación de medias (Tukey) y correlaciones de Pearson entre variables, con $p \leq 0,05$, utilizando el programa InfoStat-Profesional, versión 2020p (Di Rienzo *et al.* 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Tabla 2) evidenció efectos altamente significativos en la interacción clon*tratamiento en todos los tejidos, para K y micronutrientes, con excepción de Cu, que no presentó diferencias en la concentración foliar. N presentó efecto ($p < 0,01$), en cáscara y hoja ($p < 0,05$) y Ca, en hoja ($p < 0,01$).

El Mg presentó diferencias ($p < 0,01$) solo en el factor tratamiento. Por su parte, el factor clon evidenció diferencias altamente significativas para N, en grano y Ca, en cáscara; del mismo modo, los clones presentaron efectos significativos en P almacenado en grano y Mg, en cáscara. Las concentraciones de P, en hoja y cáscara; Ca y Mg, en grano; Cu, en hoja y S, en todos los tejidos, no se vieron afectadas por ningún factor. Los resultados sugieren un efecto de los cambios de pH y la disponibilidad de nutrientes en el suelo en la absorción de nutrientes en clones de cacao, como lo reportan Baligar & Fageria (2005), van Vliet *et al.* (2015) y Rosas-Patiño *et al.* (2019).

Concentración de macronutrientes en hoja, cáscara y grano de cacao. En general, se observó mayor concentración N, P y Mg, en grano; K, en cáscara; Ca y S, en hoja. Se evidenció, además, el efecto del clon y las condiciones del suelo en la extracción de nutrientes.

Con relación a la acumulación de nutrientes en el tejido foliar, las mayores cantidades de N se concentraron en grano, probablemente, debido a la necesidad de los genotipos, para favorecer la producción de la semilla (Nehe *et al.* 2020), seguido de hoja y cáscara, en menor proporción (Figura 1). Este comportamiento es normal en cacao, cuando las tasas de asimilación de N son más altas en hojas, se ve afectada la producción de los granos (Marrocos *et al.* 2020b).

La mayor concentración foliar de N se presentó en T₀ (19,57g kg⁻¹), para ICS-1 (Figura 1a) y en T₂, para los demás clones, superando los niveles reportados por van Vliet *et al.* (2015); probablemente,

Tabla 2. ANAVA de la concentración de nutrientes en hoja (H), cáscara (C) y grano de cacao (G), por efecto del clon, tratamiento e interacción.

Fuente de variación	Tejido	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Clon	H	**	NS	**	**	NS	NS	**	NS	**	**	**
	C	*	NS	**	**	*	NS	**	**	**	**	**
	G	**	*	NS	NS	NS	NS	**	**	**	**	**
Tratamiento	H	NS	NS	**	**	**	NS	**	NS	**	**	**
	C	*	NS	*	NS	NS	NS	**	NS	**	**	**
	G	NS	NS	**	NS	NS	NS	**	**	**	**	**
Clon*Trat.	H	*	NS	**	**	NS	NS	**	NS	**	**	**
	C	**	NS	**	NS	NS	NS	**	**	**	**	**
	G	NS	NS	**	NS	NS	NS	**	**	**	**	**

**diferencias altamente significativas ($p < 0,01$); *diferencias significativas ($p < 0,05$); NS diferencias no significativas ($p > 0,05$).

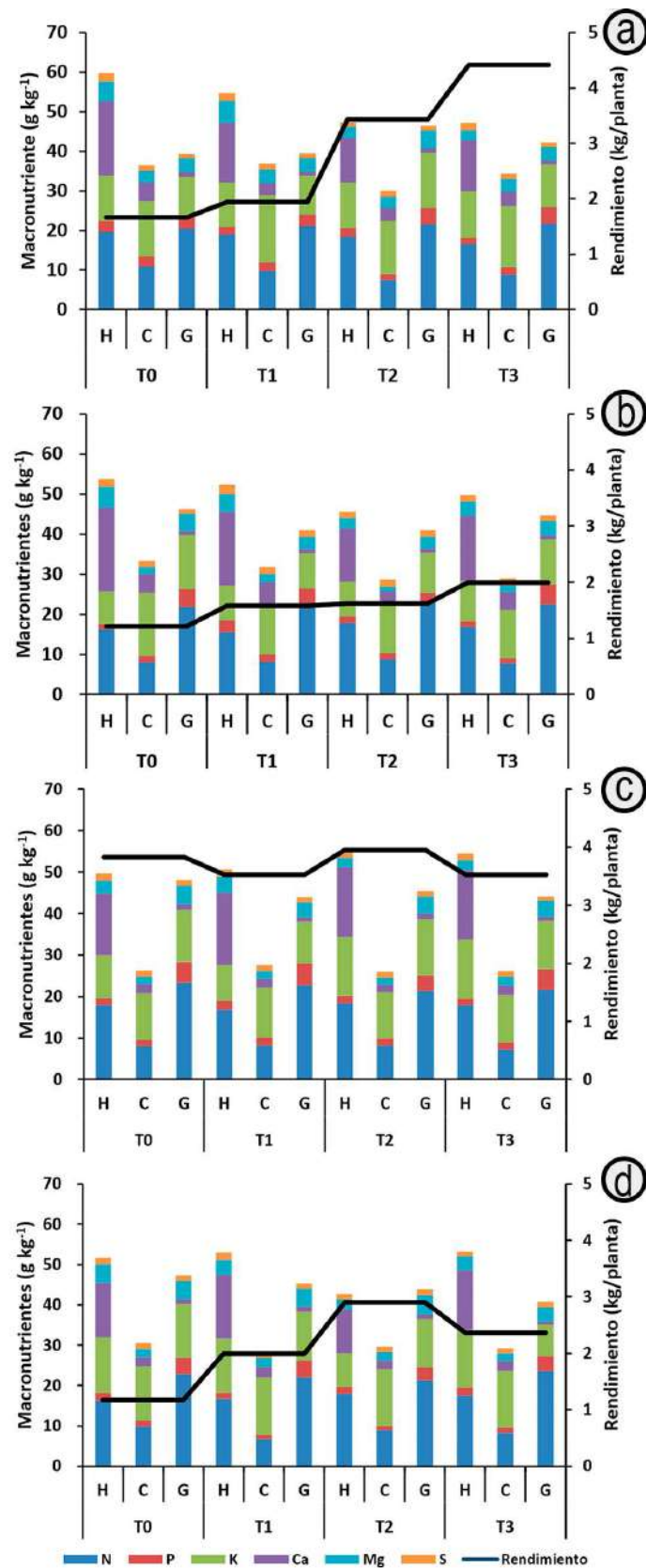


Figura 1. Concentración de macronutrientes en hoja (H), cáscara (C), grano (G) y rendimiento, para cuatro clones de cacao. a. ICS-1; b. ICS-39; c. CCN-51; d. TSH-565.

las mayores concentraciones N foliar, en los tratamientos en condiciones de acidez, se debe a las altas concentraciones de Mn, que limitan la redistribución de N a los demás órganos de la planta (Lavres *et al.* 2010).

Respecto al P en hoja, el clon ICS-39 (Figura 1b) presentó significativamente el mayor valor en T₁ (2,97g kg⁻¹), en donde mejoró la disponibilidad de este elemento en la solución del suelo, producto del encalado, como lo sugieren Anikwe *et al.* (2016); las mayores concentraciones de K en hoja, se observaron en el clon CCN-51, para T₂ (14,27g kg⁻¹) y en T₃, para el resto de clones. El Ca registró el mayor valor en el tejido foliar del clon ICS-39, en T₀ (20,93g kg⁻¹), dado que, en suelos ácidos, se incrementa la absorción de Ca²⁺, proporcionalmente a las concentraciones de H⁺ y Al³⁺, como mecanismo de tolerancia al estrés abiótico (Bojórquez *et al.* 2014). La mayor extracción de Mg, la presentó ICS-1 (5,57g kg⁻¹), en T₁, valor considerado normal, dada la mayor disponibilidad y la absorción de este nutriente, en suelos encalados, como lo sugieren Ramírez *et al.* (2005); la mayor extracción de S (2,23g kg⁻¹), la alcanzó ICS-39, en T₁. Estos datos son superiores a los reportados por Puentes-Páramo *et al.* (2016b), quienes evaluaron las extracciones de clones de cacao en zonas de menor temperatura y precipitación media anual y mayor altura sobre el nivel del mar (1.129m más alta); probablemente, los contrastes en las condiciones agroclimáticas de los sitios de estudio resultaron un factor importante en estas diferencias.

En este sentido y tal como se observa en la figura 1, el orden descendente en la concentración de nutrientes foliares para cada clon, en el tratamiento de mayor rendimiento, fue: CCN-51 (T₁) Ca>N>K>Mg>P>S, ICS-1 (T₂) y TSH-565 (T₂) N>K>Ca>Mg>P>S e ICS-39 (T₃) N>Ca>K>Mg>S>P. En estos tratamientos, las concentraciones de Mg, P y S conservaron el mismo orden en todos los clones, salvo ICS-39, donde la concentración de S fue mayor a P, en contraste con N, K y Ca. Asimismo, se evidenció el efecto de condiciones edáficas sobre el genotipo, especialmente, para CCN-51 (Figura 1c), dado que este clon concentró mayor cantidad de Ca en lugar de N, lo contrario (N>Ca) sugieren Puentes-Páramo *et al.* (2014). Marschner (2012) afirma que Calcio es un importante mensajero para la respuesta fisiológica de la planta para adaptarse a condiciones ambientales adversas (como la acidez de los suelos), por tanto, es probable que la habilidad de CCN-51 para extraer Ca, corresponda a un mecanismo de respuesta y adaptación del clon a los ambientes tropicales.

La mayor concentración de N para cáscara se presentó en T₀ (10,93g kg⁻¹), en el clon ICS-1 y en T₂, para los demás clones, excepto, TSH-565 (Figura 1d); este mismo clon presentó la menor concentración en T₀ (9,8g kg⁻¹). Respecto a P, el clon ICS-1 presentó el mayor valor en T₀ (2,53g kg⁻¹), el resto de clones en T₁, exceptuando el clon TSH-565, que extrajo la menor cantidad (1,43g kg⁻¹) en T₀. La mayor concentración de K en cáscara (17,13g kg⁻¹), se encontró en ICS-1, para T₁ y la menor (11,87g kg⁻¹), el clon CCN-51, en este mismo tratamiento.

Con relación al Ca (Figura 1), el mayor valor (4,67g kg⁻¹), se registró para ICS-1, en T₀ y menor para CCN-51, en T₃ (2,33g kg⁻¹); la mayor y

menor absorción de Mg, se obtuvo en el T₁, para el clon ICS-1 (3,40g kg⁻¹) e ICS-39 (2g kg⁻¹), respectivamente y para el S, el T₁ del clon ICS-39, reportó el mayor valor (1,80g kg⁻¹). Estas concentraciones de N, P, K, Ca y Mg fueron mayores a las referidas por Furcal-Beriguete (2017). La secuencia de concentración de nutrientes en cáscara en el tratamiento de mayor rendimiento fue (Figura 1): CCN-51 K>N>Ca>P>Mg>S, ICS-1 K>N>Ca>Mg>P>S, TSH-565 K>N>Ca>Mg>P>S e ICS-39 K>N>Ca>Mg>P>S; las concentraciones de macronutrientes conservaron el mismo orden, excepto Mg y P, mientras la mayor concentración en cáscara corresponde a K, como lo reportaron Puentes-Páramo *et al.* (2014).

La mayor acumulación de N en grano (23,57g kg⁻¹) la alcanzó el clon TSH-565 (Figura 1d), en T₃, consecuente con mayor disponibilidad de nutrientes en este tratamiento, debido al encalado y la fertilización; CCN-51 logró almacenar la mayor cantidad de P (5,47g kg⁻¹), en T₁ mientras que las concentraciones de K más altas (13,9g kg⁻¹), las alcanzó ICS-1, en T₃. Con relación a Ca, se registró la mayor concentración (1,33g kg⁻¹) en el clon TSH-565, en T₁, mientras que la mayor y menor concentración de Mg (3,40g kg⁻¹ y 3,07g kg⁻¹ en los clones ICS-1 e ICS-39, respectivamente), se alcanzaron luego del encalado (T₁); el S, se almacenó en mayor cantidad (1,80g kg⁻¹) en el clon ICS-39, en condiciones de T₁ (Figura 1).

Las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg fueron mayores comparadas con Furcal-Beriguete (2017). Los clones ICS-1 y TSH-565 (Figura 1a;d) mostraron el siguiente orden en la concentración de N>K>Mg>P>Ca>S y los clones ICS-39 y CCN-51, presentaron N>K>P>Mg>Ca>S (Figura 1b;c), encontrando la concentración de N y S con mayor y menor valor, respectivamente, generalizada para los cuatro clones; además, coincidió con la menor concentración de S, en hoja y en cáscara.

En síntesis, la concentración de N y P fue mayor en grano>hoja>cáscara, dado que fósforo se acumula en semillas, como lo propone Marschner (2012); K presentó la mayor concentración en cáscara, seguido hoja y por último grano; Ca fue mayor en hoja>cáscara>grano; Mg en hoja>grano>cáscara y S hoja>cáscara>grano. En este orden de ideas, las hojas presentaron mayor concentración de Ca, Mg y S, comparadas con la cáscara y el grano; a su vez, la cáscara concentró mayor K y el grano mayor N y P. El clon CCN-51 evidenció mejor comportamiento agronómico puesto que, con valores similares en la concentración de macronutrientes en los tres tejidos, presentó el mayor rendimiento (Figura 1c); así también lo sugieren Cuenca-Cuenca *et al.* (2019).

Concentración de micronutrientes en hoja, cáscara y grano de cacao. La concentración de micronutrientes (Fe, Mn, Zn y B) en los tres tejidos (Figura 2), siguió, de manera general, el siguiente orden: hoja>cáscara>grano, correspondiente con el rango de 66-73%, 15-19% y 11-15%, respectivamente, salvo Cu, que se concentró, principalmente, en grano, dado que este elemento es esencial para la producción del fruto y la semilla (Marschner, 2012); en este sentido, la mayor concentración de Fe foliar (192,25mg kg⁻¹), se presentó en TSH-565 (Figura 2d), en T₂, tratamiento con alta disponibilidad de cationes ácidos en el suelo, al igual que en el T₀; Cu, en CCN-51

(7,81mg kg⁻¹), en T₃, Mn, en T₀ (1253,45mg kg⁻¹), para el clon ICS-39, concentración considerada tóxica para cacao (Baligar *et al.* 2001).

En el clon ICS-1, para T₁ (Figura 2a), se presentó el menor valor de Mn (443,59mg kg⁻¹). Es probable que el incremento de pH, Ca²⁺ y

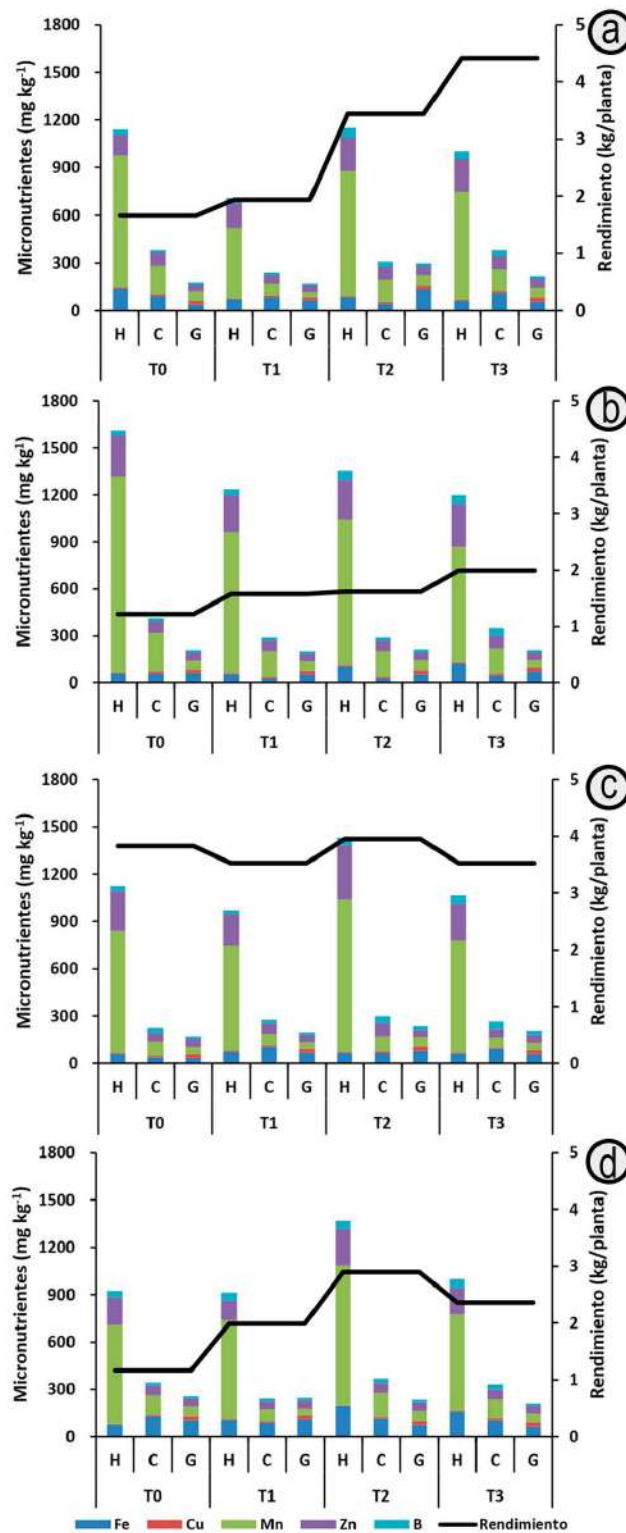


Figura 2. Concentración de micronutrientes en hoja (H), cáscara (C), grano (G) y rendimiento, para cuatro clones de cacao: ICS-1 (A); ICS-39 (B); CCN-51 (C); TSH-565 (D).

Mg en el suelo disminuyeran las concentraciones de Mn en los tejidos de cacao (Anda *et al.* 2013); no obstante, este valor continúa siendo tóxico (Hänsch & Mendel, 2009). Las cantidades de Zn registradas en CCN-51 (Figura 2c), para T₂ (341,18mg kg⁻¹), son consideradas fitotóxicas, dado que excede el límite de 244mg kg⁻¹, sugerido por De Oliveira *et al.* (2015), al igual que B, en T₃ (60,26mg kg⁻¹), para el clon ICS-39 (Figura 2b); comparadas con la referencia de Puentes-Páramo *et al.* (2016b), con relación a otros micronutrientes, las cantidades extraídas se consideran normales para Fe, bajas para Cu y altas para Mn, Zn y B.

La concentración de micronutrientes, en el tratamiento de mayor rendimiento, fue (Figura 2): CCN-51(T₁) Fe>Mn>Zn>B>Cu, ICS-1 (T₂) Mn>Zn>Fe>B>Cu, TSH-565 (T₂) Mn>Fe>Zn>B>Cu e ICS-39 (T₃) Mn>Zn>B>Fe>Cu, coincidiendo en presentar la mayor concentración de Fe o Mn, debido a la mayor disponibilidad y absorción de estos nutrientes, favorecida por la acidez del suelo, como lo sugieren Ramírez *et al.* (2005). Las menores concentraciones fueron para B y Cu, resultados similares a los obtenidos por Puentes-Páramo *et al.* (2016a).

En cáscara, la mayor concentración de Fe (129,19,25mg kg⁻¹), se presentó para el clon TSH-565, en T₀; Cu, en CCN-51, en T₁ (13,65mg kg⁻¹); Mn, en T₀ (250,13mg kg⁻¹), para el clon ICS-39; Zn, en CCN-51, para T₂ (82,23mg kg⁻¹) y B, en T₃ (49,21mg kg⁻¹), clon CCN-51. En orden descendente, la concentración de micronutrientes en el tratamiento con mayor rendimiento fue (Figura 2): CCN-51: Fe>Mn>Zn>B>Cu, ICS-1: Mn>Zn>Fe>B>Cu, TSH-565: Fe>Mn>Zn>Cu>B e ICS-39: Mn>Zn>B>Fe>Cu, coincidiendo en presentar la mayor concentración de un catión ácido, sea Fe o Mn, favorecida por la acidez natural del suelo, como lo sugieren Rosas-Patiño *et al.* (2017); las menores concentraciones fueron para B y Cu, resultados similares obtuvo Furcal-Beriguete (2017).

En grano, la mayor concentración de Fe (131,42mg kg⁻¹), se presentó para ICS-1, en T₂; Cu, en TSH-565, en T₃ (29,48mg kg⁻¹); Mn, en T₂ (68,56mg kg⁻¹), en ICS-1; Zn, en TSH-565, para T₂ (55,70mg kg⁻¹) y B, en T₃ (25,37mg kg⁻¹), clon CCN-51. La concentración de micronutrientes en el tratamiento que presentó el mayor rendimiento fue (Figura 2): clon CCN-51 (T₁) Fe>Zn>Mn>Cu>B, ICS-1 (T₂) Fe>Mn>Zn>B>Cu, TSH-565 (T₂) Fe>Mn>Zn>Cu>B e ICS-39 (T₃) Fe>Zn>Mn>Cu>B, coincidiendo en presentar la mayor concentración de Fe, favorecida por la acidez del suelo, como lo sugieren Ramírez *et al.* (2005). Del mismo modo, se presentaron las menores concentraciones de Cu y B, para todos los clones en estos tratamientos, dado que a pH superiores a 5,4, se afecta la disponibilidad y absorción (Ambrosini *et al.* 2015).

La concentración de Fe, Mn, Zn y B en orden descendente para los tres tejidos fue hoja>cáscara>grano, mientras Cu, se almacenó en grano>cáscara>hoja. Lewis *et al.* (2021) reportaron una correlación positiva entre la disponibilidad de Fe, Mn y Zn en el suelo y las cantidades acumuladas en hojas de cacao. En este orden de ideas, las hojas presentaron mayor concentración de micronutrientes y salvo de Cu; en contraste, el grano concentró mayor Cu y la cáscara

presentó la menor concentración de Fe. Además, fue evidente la eficiencia en el uso de nutrientes del clon CCN-51 (Figura 2c), dado que, con menor concentración de micronutrientes en los tejidos, presentó el mayor rendimiento, datos que concuerdan con lo reportado por Cuenca-Cuenca *et al.* (2019).

Correlación entre la concentración de nutrientes y pH del suelo. Las correlaciones entre la concentración de nutrientes en hoja, cáscara y grano de cacao, por efecto del pH (Tabla 3), evidenciaron diferencias entre clones y puede estar relacionado con la diferentes vías de distribución de nutrientes entre hoja-cáscara-grano de cacao (Quintino *et al.* 2020); los clones presentan correlaciones positivas para P, K, Mg, S, Cu y negativas para Mn en hoja; para cáscara coincidieron en correlaciones positivas para P, Ca, Mg, S, B y negativas para Mn y Zn y el grano presentó correlaciones positivas para N, P, Ca, Mg, S, Cu y negativas para K y Mn. De acuerdo con lo anterior, los tres tejidos concentran mayor P, Mg, S, cuando se eleva el pH del suelo y cuando es ácido, concentran mayor cantidad de Mn.

Extracción de nutrientes por 1000kg de grano seco de cacao. Los clones ICS-1 y TSH-565 coincidieron en las cantidades de macronutrientes extraídos, salvo en los contenidos de S, al igual que se observan las mismas preferencias por Mn, Zn y B, pero difieren en la asimilación de Fe y Cu. Por su parte, CCN-51 e ICS-39 extraen similares cantidades de nutrientes, con excepción de K, dado que CCN-51 es el clon que menos cantidades requiere de este elemento (Tabla 4). Los registros de extracción de N, P y K son menores a los reportadas por Quintino *et al.* (2020), particularmente, las cantidades de K extraídas por CCN-51. Lo anterior puede corresponder a la habilidad del clon para adaptarse a condiciones de extrema acidez y menor fertilidad natural, sin presentar estrés abiótico (Marschner, 2012).

Las extracciones de micronutrientes (Tabla 4) difieren a las reportadas por Furcal-Beriguete (2017), aunque en otros genotipos, lo cual, evidencia la selectividad en la extracción de micronutrientes entre clones.

Se observó el siguiente orden de extracción de nutrientes en grano (Tabla 4): ICS-1: N>K>Mg>P>Ca=S>Fe>Mn>Zn>Cu=B; CCN-51 e ICS-39: N>K>P>Mg>S>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu>B; TSH-565: N>K>Mg>P>S>Ca>Fe>Mn=Zn>Cu>B, siendo estos valores y preferencias diferentes y evidenciando el efecto genotipo, como lo sugieren Marrocos *et al.* (2020b). La secuencia de extracción de los clones, en general, para grano fue: N>K>P>Mg>S>Ca>Fe>Mn-Zn>Cu>B, ligeramente diferente con los reportes de Furcal-Beriguete (2017).

Los resultados obtenidos permiten concluir que el cambio de pH edáfico y la fertilización afecta la concentración de nutrientes de manera diferencial entre los clones evaluados, a pesar de presentar comportamiento similar en la absorción de nutrientes; CCN-51 alcanza mayor rendimiento de cosecha, incluso, en suelos con pH extremadamente ácidos. A pesar de las diferencias, los clones presentan las mayores concentraciones de N, P, Mg y Cu asociadas

Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre la concentración nutrimental en hoja, cáscara, grano seco, para cuatro clones de cacao.

Clon	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Hoja											
ICS-1	-0,066 ^{NS}	0,194 ^{NS}	0,561 ^{NS}	-0,107 ^{NS}	0,253 ^{NS}	0,570 ^{NS}	-0,642*	0,06 ^{NS}	-0,641*	0,251 ^{NS}	-0,131 ^{NS}
ICS-39	0,234 ^{NS}	0,669*	0,785**	0,057 ^{NS}	0,306 ^{NS}	0,570 ^{NS}	0,166 ^{NS}	0,609*	-0,645*	-0,115 ^{NS}	0,345 ^{NS}
CCN-51	0,200 ^{NS}	0,604*	0,119 ^{NS}	0,863**	0,558 ^{NS}	0,570 ^{NS}	0,533 ^{NS}	0,820**	-0,517 ^{NS}	-0,469 ^{NS}	-0,06 ^{NS}
TSH-565	0,557 ^{NS}	0,516 ^{NS}	0,498 ^{NS}	0,738**	0,372 ^{NS}	0,570 ^{NS}	0,123 ^{NS}	0,528 ^{NS}	-0,331 ^{NS}	-0,480 ^{NS}	0,582*
Cáscara											
ICS-1	0,191 ^{NS}	0,500 ^{NS}	0,859**	0,133 ^{NS}	0,742**	0,570 ^{NS}	0,373 ^{NS}	0,319 ^{NS}	-0,589*	-0,349 ^{NS}	0,149 ^{NS}
ICS-39	0,371 ^{NS}	0,578*	-0,177 ^{NS}	0,693*	0,644*	0,570 ^{NS}	-0,630*	-0,098 ^{NS}	-0,605*	-0,355 ^{NS}	0,212 ^{NS}
CCN-51	0,365 ^{NS}	0,679*	0,728**	0,647*	0,640*	0,570 ^{NS}	0,769**	0,419 ^{NS}	-0,663**	-0,248 ^{NS}	0,065 ^{NS}
TSH-565	-0,344 ^{NS}	0,215 ^{NS}	0,549**	0,141 ^{NS}	0,359 ^{NS}	0,462 ^{NS}	-0,342 ^{NS}	0,371 ^{NS}	-0,588*	-0,480 ^{NS}	0,337 ^{NS}
Grano											
ICS-1	0,698*	0,564 ^{NS}	-0,031 ^{NS}	0,474 ^{NS}	0,335 ^{NS}	0,570 ^{NS}	-0,137 ^{NS}	0,374 ^{NS}	-0,400 ^{NS}	0,191 ^{NS}	-0,024 ^{NS}
ICS-39	0,654*	0,582*	-0,196 ^{NS}	0,531 ^{NS}	0,291 ^{NS}	0,570 ^{NS}	0,303 ^{NS}	0,409 ^{NS}	-0,304 ^{NS}	-0,240 ^{NS}	-0,136 ^{NS}
CCN-51	0,254 ^{NS}	0,690*	-0,246 ^{NS}	0,502 ^{NS}	0,239 ^{NS}	0,570 ^{NS}	0,329 ^{NS}	0,266 ^{NS}	-0,319 ^{NS}	0,328 ^{NS}	0,263 ^{NS}
TSH-565	0,531*	0,568*	-0,244 ^{NS}	0,511*	0,314 ^{NS}	0,561*	-0,023 ^{NS}	0,254 ^{NS}	-0,662**	-0,066 ^{NS}	-0,046 ^{NS}

** Correlación altamente significativa al nivel 0,01, * correlación significativa al nivel 0,05, NS no significativa.

Tabla 4. Extracción de nutrientes en kg por 1.000kg de grano seco, para cuatro clones de cacao.

Clon	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
ICS-1	21,53 ^a	4,20 ^{ab}	13,90 ^a	1,20 ^a	4,37 ^a	1,20 ^a	0,13 ^a	0,02 ^b	0,07 ^a	0,06 ^a	0,02 ^a
CCN-51	22,60 ^a	5,47 ^a	9,97 ^c	0,97 ^b	3,77 ^b	1,30 ^a	0,07 ^b	0,03 ^a	0,04 ^b	0,05 ^b	0,02 ^a
ICS-39	22,47 ^a	5,03 ^{ab}	11,20 ^b	0,95 ^b	3,70 ^b	1,27 ^a	0,07 ^b	0,03 ^a	0,05 ^b	0,05 ^b	0,02 ^a
TSH-565	21,33 ^a	3,30 ^b	11,90 ^{ab}	1,20 ^a	4,67 ^a	1,47 ^b	0,08 ^b	0,03 ^a	0,06 ^a	0,06 ^a	0,02 ^a

Valores por columna con letras iguales no difieren en forma significativa (P < 0,05), según prueba de Tukey.

a grano, Ca, Fe, Mn, Zn y B asociadas a hoja y K, preferiblemente, en cáscara; asimismo, concentran mayor P, Mg, S, cuando pH ≥ 5,5 y mayor Mn, cuando el suelo se encuentra en condiciones de acidez.

Agradecimientos. Los autores expresan gratitud a la Asociación Departamental de Productores de Cacao y Especies Maderables del Caquetá (Acamafrut) y a la Universidad de la Amazonia, por su apoyo a esta investigación. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

- ABREU, J.C. 1996. Foliar nutrient concentration and rations in height yield cocoa genotypes and relations yield and intensity of witches broom disease. In: Costa, R. (eds). Internal Conf. on Cacao Research. Cocoa Producer's Alliance. CEPLAC/CEPEC. Atas, Lagos, NGR. p.773-780.
- AIKPOKPODION, P.E. 2010. Nutrients dynamics in cocoa soils, leaf and beans in Ondo State, Nigeria. Agri Sci. 1(1):1-9. <https://doi.org/10.1080/09766898.2010.11884647>
- AMBROSINI, V.G.; ROSA, D.J.; CORREDOR, J.P.; BORGHEZAN, M.; BASTOS DE MELO, G.W.; FONSECA DE SOUSA, C.R.; COMIN, J.J.; GUIMARÃES, D.; BRUNETTO, G. 2015. Reduction of copper phytotoxicity by liming: A study of the root anatomy of young vines (*Vitis labrusca* L.). Plant Physiology and Biochemistry. 96:270-280. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.08.012>
- ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C.I. 2013. Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. Soil & Tillage Research. 132:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.04.005>

5. ANIKWE, M.A.; EZE, J.C.; IBUDIALO, A.N. 2016. Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani Enugu Southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research*. 158:32-38.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.011>
6. BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.; HE, Z. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32(7):921-950.
7. BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. 2005. Aluminum influence on growth and uptake of micronutrients by cacao. *J. Food Agriculture and Environment*. 3(3-4):173-177.
8. BOJÓRQUEZ, Q.E.; SÁNCHEZ, C.L.; KU, G.A.; De los SANTOS, B.C.; MEDINA, L.F.; ECHEVERRÍA, I.; MÚÑOZ, S.J.; HERNÁNDEZ, S.T.; MARTÍNEZ, E.M. 2014. Differential effects of aluminum on in vitro primary root growth, nutrient content and phospholipase C activity in coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). *J. Inorganic Biochemistry*. 134:39-48.
<https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2014.01.018>
9. CORRENDO, A.A.; GARCÍA, F.O. 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos. *Archivo Agronómico* No. 14. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. No. 5. IPNI Cono Sur. Buenos Aires. Disponible desde Internet en:
<http://lacs.ipni.net/article/LACS-1155> (con acceso 9/07/2020).
10. CUENCA-CUENCA, E.W.; PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR FLORES, J.C. 2019. Efficient use of nutrients in fine aroma cacao in the province of Los Ríos-Ecuador. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 72(3):8963-8970.
11. DE OLIVEIRA, C.N.R.; DE SOUZA, J.J.; ANDRADE, S.G.; BALIGAR, V.C. 2015. Growth and nutrition of cacao seedlings influenced by zinc application in soil. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal*. 37(4):1053-1064.
<https://doi.org/10.1590/0100-2945-238/14>
12. DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2020. InfoStat Version 2020. Grupo Centro de transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Disponible desde Internet en:
<http://www.infostat.com.ar> (con acceso 9/07/2020).
13. FURCAL BERIGUETE, P. 2017. Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agron. Mesoam*. 28(1):113-129.
<https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23236>
14. GONZÁLEZ OROZCO, C.E.; SÁNCHEZ GALÁN, A.A.; RAMOS, P.F.; YOCKTENG, R. 2020. Exploring the diversity and distribution of crop wild relatives of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Colombia. *Genet Resour Crop Evol*. 67:2071-2085.
<https://doi.org/10.1007/s10722-020-00960-1>
15. HÄNSCH, R.; MENDEL, R.R. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*. 12:259-266.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>
16. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2017. Indicadores climáticos. Disponible desde Internet en:
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/1772> (con acceso el 7/07/2020).
17. LAVRES, J.J.; REIS, A.R.; ROSSI, M.L.; CABRAL, C.P.; NOGUEIRA, N.L.; MALAVOLTA, E. 2010. Changes in the ultrastructure of soybean cultivars in response to manganese supply in solution culture. *Sci. Agric*. 67:287-294.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000300006>
18. LEWIS, C.; LENNON, A.M.; EUDOXIE, G.; SIVAPATHAM, P.; UMAHARAN, P. 2021. Plant metal concentrations in *Theobroma cacao* as affected by soil metal availability in different soil types. *Chemosphere*. 262:127749.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127749>
19. MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; DE OLIVEIRA, S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2a edição. Piracicaba. Associa. Bras. para Pesq. da Potassa e do Fosfato. (Brasil). 319p.
20. MARROCOS, P.; GUILLERME LOUREIRO, G.A.; QUINTINO, R. DE A.; SODRÉ, A.; AHNERT, D.; BALIGAR, V. 2020a. Mineral nutrient ratios and cacao productivity. *J. Plant Nutrition*. 43(15):2368-2382.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771582>
21. MARROCOS, P.; LOUREIRO, G.A.; DE ARAUJO, G.; SODRÉ A.; AHNERT, D.; ESCALONA, V.R.; BALIGAR, V. 2020b. Mineral nutrition of cacao (*Theobroma cacao* L.): relationships between foliar concentrations of mineral nutrients and crop productivity. *J. Plant Nutrition*. 43(10):1498-1509.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1739295>
22. MARSCHNER, P. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, third ed. Academic Press (New York).
23. NEHE, S.; MMISRA, S.; MURCHIE, H.; CHINNATHAMBI, K.; SINGH TYAGI, B.; FOULKES, J. 2020. Nitrogen

- partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and protein concentration in Indian wheat cultivars. *Field Crops Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107778>
24. PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; GÓMEZ CARABALÍ, C.A.; MENJIVAR FLORES, J.C. 2016a. Influence of the relationship among nutrients on yield of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones. *Act. Agron.* 65(2):176-182.
<https://doi.org/10.15446/acag.v65n2.47387>
 25. PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR FLORES, J.C.; ARANZAZU HERNÁNDEZ, F. 2016b. Concentración de nutrientes en hoja, una herramienta para el diagnóstico nutriciones en cacao. *Agron. Mesoam.* 27(2):329-336.
<https://doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>
 26. PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR FLORES, J.C.; GÓMEZ CARABALÍ, C.A.; ARANZAZU HERNÁNDEZ, F. 2014. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica.* 63(2):145-152.
<https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.40041>
 27. QUESADA, C.A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L.O.; FYLLAS, N.M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C.I. 2009. Soils of Amazonia with particular reference to the rainfor sites. *Biogeosciences Discuss.* 6:3851-3921.
<https://doi.org/10.5194/bg-8-1415-2011>
 28. QUINTEIRO, M.; FURTADO, A.; SCHRAMM, M.; PINTO, F.; VIANA, M.; BALIGAR, V.C. 2013. Aluminum effects on growth photosynthesis and mineral nutrition of cacao genotypes. *J. Plant Nutrition.* 36(8):1161-1179.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2013.766889>
 29. QUINTINO, R. DE A.; GUILHERME, A.H. DE A.L.; AHNERT, D.; ESCALONA-VALDEZ, R.A.; BALIGAR, V.C. 2020. Interactions between Soil, Leaves and Beans Nutrient Status and Dry Biomass of Beans and Pod Husk of Forastero Cacao: An Exploratory Study. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 51(5):567-581.
<https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729369>
 30. RAMÍREZ, R.V.; LÓPEZ, B.J.; HERRERA, E.L. 2005. Adaptive responses in plants to nonoptimal soil pH. En: Jenks, M.; Hasegawa, P. (eds). *Plant abiotic stress*. Center for Plant Environmental Stress Physiology Purdue University Indiana, USA. 266p.
 31. ROSAS PATIÑO, G.; PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR FLORES, J.C. 2017. Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Cienc Tec. Agropec* (Mosquera, Colombia). 18(3):529-541.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742
 32. ROSAS PATIÑO, G.; PUENTES-PÁRAMO, Y.J.; MENJIVAR FLORES, J.C. 2019. Efecto del enclado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia colombiana. *Ciencia Y Tec. Agropec.* 20(1):05-16.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1247
 33. RUÍZ, J.; CÁRDENAS, W.; BAQUERO, C. 2007. Cambio de la cobertura boscosa como sucedáneo de la dinámica colonizadora en el departamento del Caquetá 1986-2000. *Rev. de Inves. Univ de la Salle.* 7(1):95-104.
 34. SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C. 2004. Necessidades de novos estudos de calibração e recomendação de fertilizantes para as culturas cultivadas sob plantio direto. *R. Plantio Direto.* 79:12-15.
 35. SODRÉ, G.A. 2002. Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho de amostra de plantas de cacau (*Theobroma cacao* L.) em estudos de nutrição. *Agrotrópica.* 13:145-150.
 36. VAN VLIET, J.A.; SLINGERLAND, M.; GILLER, K.E. 2015. *Mineral Nutrition of Cocoa. A Review*. Wageningen University and Research Centre, Wageningen. 57p.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>



Organic carbon in soils with different systems of use in Tacarimena Yopal, Colombia

Carbono orgánico en suelos con diferentes sistemas de uso en Tacarimena Yopal, Colombia

Blanca N. Carvajal-Agudelo¹; Hernán J. Andrade²

¹Ing. Forestal, M.Sc. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Grupo de Investigación CAZAO. Yopal - Casanare, Colombia; e-mail: blanca.carvajal@unad.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3848-8959>

²Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica, Grupo de Investigación PROECUT. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: hjandrade@ut.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3398-294X>

How to cite: Carvajal-Agudelo, B.N.; Andrade, H.J. 2021. Organic carbon in soils with different systems of use in Tacarimena Yopal, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1921. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1921>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education.

Received: February 1, 2020 **Accepted:** April 16, 2021 **Edited by:** Ingeborg Zenner de Polanía

ABSTRACT

Soil is an important carbon reservoir as it can store twice the amount that atmosphere does and three times the biomass, which makes it a key component for climate change (CC) mitigation projects. It is important to know the potential of soil organic carbon storage (SOC) in the main uses of the soil and their expected dynamics due to potential use changes. SOCS is estimated in 7 of the dominant land use systems in the area of the study, with 5 replicas as follows: 1) banana with shade (SAF+banana); 2) cocoa with shade (Ca+S); 3) citrus (C); 4) low silvopastoral system (SSPB); 5) high silvopastoral system (SSPA); 6) gallery forests (BG); and 7) bush forest (MM). SOC concentration was analyzed in samples composed of 25 soil sub-samples per plot, and the DA was estimated with the cylinder method in a simple per plot. All land uses studied can mitigate CC when storing SOC. BG was the system that showed the highest carbon storage. On the other hand, SAF+banana stored the least SOC (72,7 vs 33,4Mg/ha, respectively). Changes in land use can cause CO₂ emissions or an addition in carbon fixation. Changes

in land use that increase SOC allow CC mitigation, which makes them feasible for funding, thus allowing an improvement in the livelihood of local producers.

Keywords: Bulk density; Emission; Mitigation; Ecosystem services; Agroforestry systems.

RESUMEN

El suelo es un reservorio importante de carbono, ya que puede almacenar el doble de lo contenido por la atmósfera y el triple de la biomasa. Esto lo constituye en un componente clave para proyectos de mitigación del cambio climático (CC). Es importante conocer el potencial de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) en los principales usos del suelo y su dinámica esperada, por potenciales cambios de uso. Se estima el COS en los siete de los sistemas de uso del suelo dominantes en el área de estudio, con cinco réplicas, así: 1) plátano con sombrío (SAF+plátano); 2) cacao con sombrío (Ca+S); 3) cítricos (C); 4) sistema silvopastoral

bajo (SSPB); 5) sistema silvopastoril alto (SSPA); 6) bosques de galería (BG) y 7) mata de monte (MM). La concentración de COS fue analizada en muestras compuestas de 25 submuestras de suelo por parcela y la DA, se estimó con el método del cilindro en una muestra por parcela. Todos los usos del suelo estudiados pueden mitigar el CC al almacenar COS. El BG fue el sistema que presentó el mayor almacenamiento de carbono; por el contrario, el SAF+plátano almacenó el menor COS (72,7 vs 33,4Mg/ha, respectivamente). Cambios de uso del suelo pueden causar emisión de CO₂ o adicionalidad en la fijación de carbono. Cambios de uso del suelo que incrementen el COS permiten la mitigación del CC, pudiendo ser susceptibles de financiamiento, lo que permite mejorar los medios de vida de los productores locales.

Palabras clave: Densidad aparente; Emisión; Mitigación; Servicios ecosistémicos; Sistemas agroforestales.

INTRODUCTION

Soil organic carbon (SOC) comes as a stage of the global cycle of this element and it is the largest sink of the biosphere, as it stores twice the amount of the atmosphere and three times what is found in biomass (1550 vs 750 vs 550Pg, respectively) (Bolin & Sukumar, 2000). This way, SOC is an important sink against climate change, which is why many projects involve soil, such as afforestation and reforestation (Pearson *et al.* 2005). Knowing SOC reserves and the impact of land use systems in this edaphic feature allows managing the landscape in order to increase the offer of this ecosystem services. Carbon contained in biomass then moves into necromass due to tissue senescence. After that, part of that carbon becomes CO₂ and it is released into the atmosphere, but another part merges with soil as organic matter, which contains carbon (FAO, 2017).

In addition to help as a climate change mitigator, SOC contributes to improve several biological and physicochemical properties of soil (Agostini *et al.* 2014). Those authors state that SOC favors soil aggregation and intervenes in pore distribution, favoring humidity retention, water and gas movement in the soil, increases cation exchange capacity, and tampon capacity over soil reaction (pH). SOC also works as an energy source for heterotrophic organisms that live there.

Some carbon projects, such as Clean Development Mechanisms, and volunteer markets, have included soil as one of the components to generate a carbon addition and reduce emissions of greenhouse gases (GHG). The “4 by 1000” initiative, which identified the key role of soils for food security, the increase of carbon for soil fertility, came out recently in the COP21, adapting agriculture to climate change without compromising food production (<https://www.4p1000.org/es>). On this matter, the Colombian State has started the implementation of the Colombian Strategy of Low Development on Carbon Emissions, identifying mitigation actions in the sector to reduce GHG and, with this same effort, generate environmental, social, and economic development in the rural area (Mendieta, 2011).

There are still several efforts to develop in order to take advantage of soils with high capacity to capture atmospheric carbon. These soils are representative of the valleys of the great rivers that are born in the Eastern Mountain Range and that, arriving in the plains, form alluvial fans with the material they transport. The foothill is a geographic area along the edge of this mountain range and it includes an ecological transition area between woodland forests and the savannah with sedimentary soils, with a higher fertility than the one for those deeper into the Orinoquia (IGAC, 2003).

Quantifying the ability of plants to store SOC for a long term is important for climate change mitigation and soil fertility improvement (Mathew *et al.* 2020). The goal of this study is to estimate SOC storage in the first 30cm of depth in the most predominant land uses in the foothill of the municipality of Yopal, which covers 33.925ha (Alcaldía de Yopal, 2013). Likewise, it is intended to estimate what the change in SOC reserves could be if land use were altered, so that the potential of CO₂ emissions or carbon additionality in this component could be tested. Results will work in the formulation of policies and projects that will include this ecosystem service as a way to improve the income of these rural citizens.

MATERIALS AND METHODS

Study area. located in the Corregimiento of Tacarimena, consisting of eight villages: El Nocuito, Manantiales, Sirivana, Palomas, La Calceta, La Manga, Tacarimena, and El Tiestal (Figure 1). The Corregimiento of Tacarimena has a surface of 339,25km², it is located to the southwest of the urban area of the Municipality of Yopal (Alcaldía de Yopal, 2013), between the coordinates 5°20'12" N; 72°10'05" W; 5°15'07" N; 72°10'14" W; 5°22'12" N; 72°25'10" W; 5°19'46" N; 72°15'07" W.

Soils in the area of study are located in the plains, composed of both fine and thick alluvial sediments that flow along the plain of the valley of Cravo Sur river. There, the local agricultural activity concentrates with plantain, cassava, and corn crops in traditional farming with some level of technology. This land unit is located in parallel with big hydric currents, which transport soils from the Eastern Mountain Range that renew periodically, thus having an incidence in fertility. The IGAC (2014) indicates that these soils are mildly acid, with a medium level of organic matter, low cation exchange capacity, medium to high base saturation, and natural fertility and limitations due to aluminum toxic content. The area consists of soils from the *Fluventic Humic Dystrudepts-Typic Fluvaquents Association*.

According to IDEAM (2018), weather in Yopal is warm-humid, with a mean annual precipitation of 2270mm, with a dry season (December to March), and a rainy season (April to October). The month with the highest mean precipitation is May, with 334mm, while the lowest is in January, with 9mm. Altitude of the area of study is located between 320 and 350m, and average temperature is around 26.9°C.

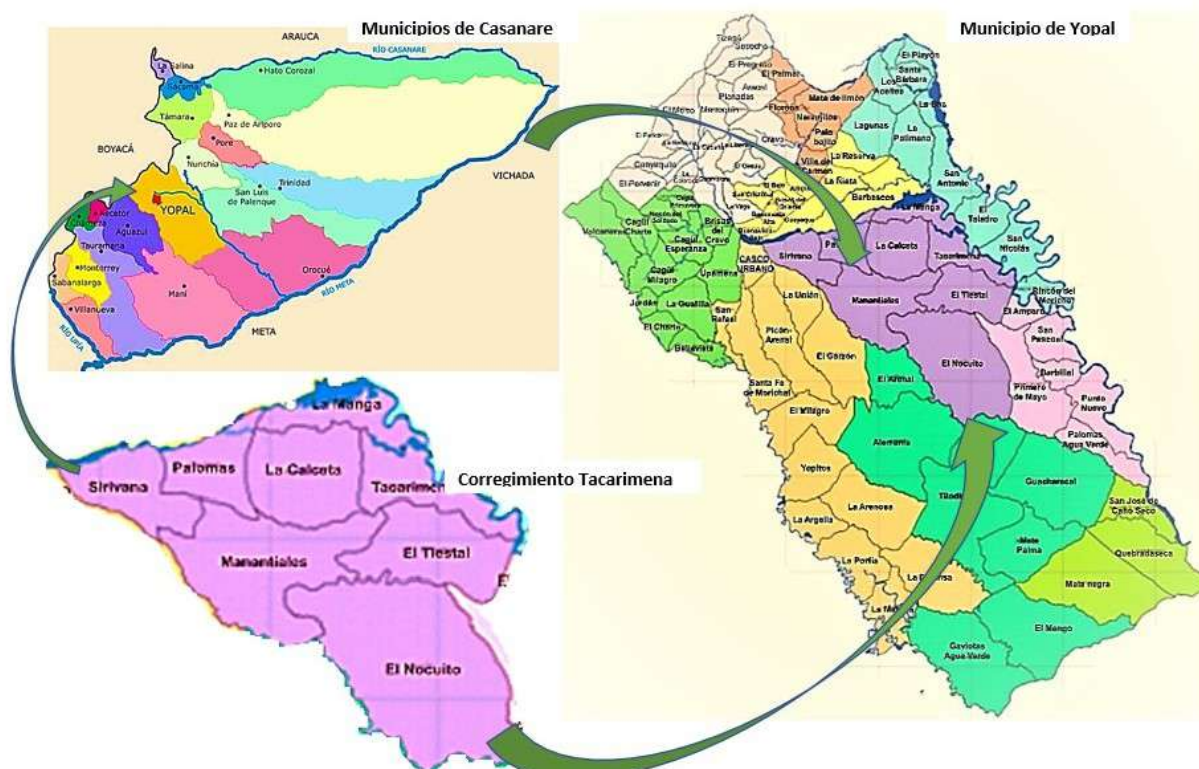


Figure 1. Location of the study area in Corregimiento of Tacarimena, municipality Yopal - Casanare, Colombia. Source: Alcaldía de Yopal (2013).

Experimental Design. A random design with seven land uses was utilized: 1) agroforestry systems (AFS) of plantain with shade (AFS+plantain), 2) cocoa with shade (Co+S), 3) citrus (C), 4) low silvopastoral system (LSPS), 5) high silvopastoral system (HSPS), 6) gallery forests (GF), and 7) bush forest (BF), with five repetitions each. It was sought that these sampling units were in the same relief and showed similar soil and topography in order to avoid confused effect of treatments.

SOC estimation was performed at a 0-30cm depth, based on two variables: SOC concentration and bulk density (BD) (González-Molina *et al.* 2008; Alvarado *et al.* 2013). Gross fragment content was overlooked as it was too low (<5% volume). The first variable was estimated taking compound samples with 25 sub-samples per plot, which were studied in the soil laboratory from Universidad de los Llanos, using the Walkley & Black method (1934). BD was estimated with the known method of the volume cylinder, which was calculated as the relation between the weight of the dry soil and the internal volume of the cylinder.

In the simulation of the land use change effect on SOC, the same BD was used as baseline (that of GF), to compare based on a same soil mass and not volume, which can change when compacted and thus alter the results, meaning that an increase effect on SOC storage due to BD was avoided. This possible change was estimated as the difference of SOC between the current and future land use

that may occur, taking values to CO₂, with the 44/12 relation, that corresponds to 3.67. Positive values suggest additional carbon fixation, whereas negative ones indicate CO₂ emission.

Statistical Analysis. A variance analysis with seven systems of land use as treatments and five repetitions was used before validation of hypotheses and an average comparison test with the LSD Fisher test ($\alpha = 0.05$), using Infostat.

RESULTS AND DISCUSSION

Bulk density and organic carbon concentration in the soil. BD changed significantly ($p < 0.05$) among land use systems. BD of soils differs statistically ($p < 0.05$), among GF, C, AFS+plantain, and HSPS. Thus, BD values between 1.33-1.48g/cm³ were found, being GF and BF soils the ones that show the highest value in this edaphic variable. On the contrary, HSPS, AFS+plantain, and C had the lowest BD. This physical variable of soils turned out similar among the HSPS, AFS+plantain, and C systems (1.33-1.35g/cm³), while Co+S, LSPS, and BF showed a BD between 1.40 and 1.43g/cm³ (Figure 2). This tendency was also evinced in the findings of Andrade-Castañeda *et al.* (2016), who found values of BD for riparian forests, riparian forest margins, and agricultural matrix (rice, pastures), of 1.7, 1.1, and 1.0g/cm³, respectively. This contrasts with the findings of Andrade *et al.* (2018), where no BD differences in agriculture and riparian forests were detected in the basin of

Combeima river (Ibagué, Colombia). Agricultural activities caused a reduction of BD, which is possibly due to plowing activity on the soils. These results were not expected, since GF and BF have been the lowest anthropically intervened.

Peña *et al.* (2009) estimated BD between 1.16 and 1.66g/cm³ in Tauramena, Eastern mountain range in Casanare, Colombia, and indicate that these values are considered as a limitation for normal radical development. Rivera *et al.* (2013) studied the BD in the Llanos Orientales from Colombia, where values of 1.11-1.42g/cm³ were found, which are very similar to the findings of this current

study. Literature reports that BD increases due to the activities of repetitive work with agricultural machinery. However, the study is performed in areas of natural vegetation and perennial agricultural zones, which are not affected by recurrent mechanization or work. Difference of BD in the soils of the systems studied can be attributed to the materials that compose these soils and not to possible deterioration due to the land use and management.

SOC concentration also showed statistical differences ($p < 0.05$) among land use systems (Figure 2). This variable showed a range between 0.82 and 1.62% in the layer of 0 to 30cm, being the soils

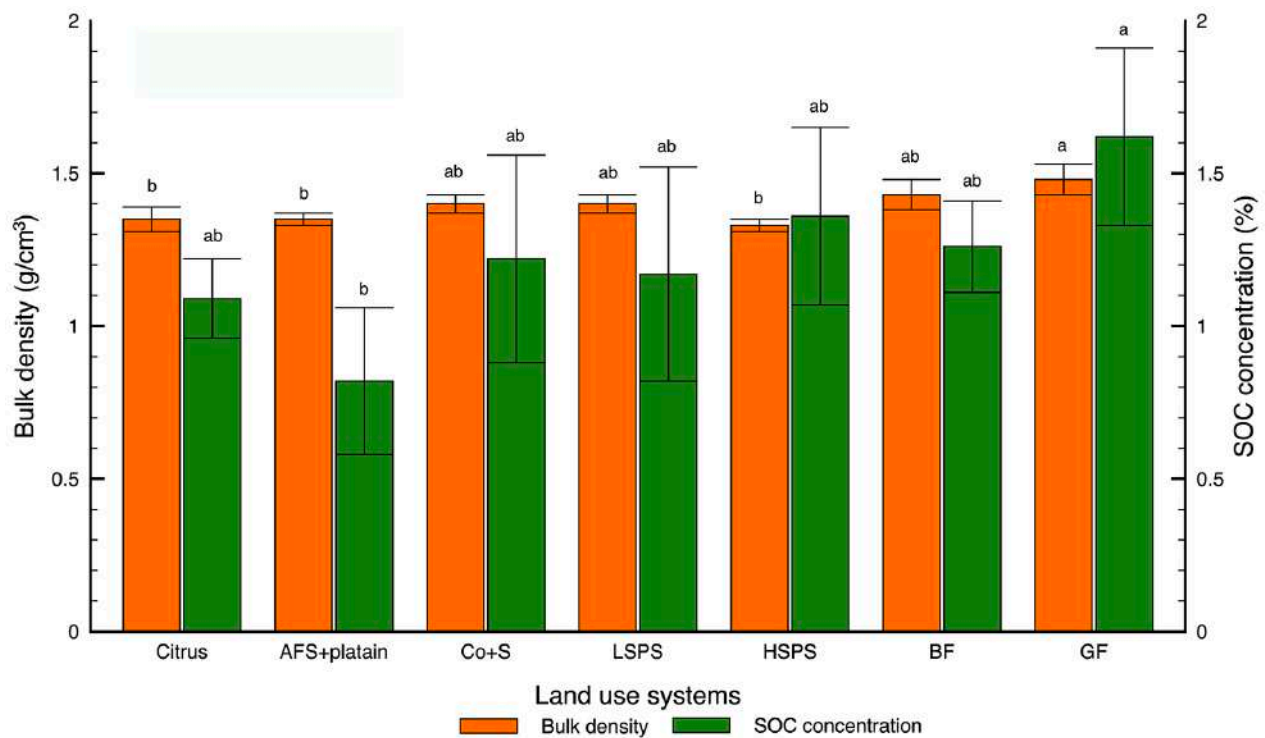


Figure 2. Bulk density and soil organic carbon (SOC) concentration in the land use systems of corregimiento of Tacarimena, municipality of Yopal. Error bars correspond to standard error. Means with common letter are not significantly different ($p > 0.05$). AFS+plantain: plantain with shade; Co+S: cocoa with shade; LSPS: low silvopastoral systems; HSPS: high silvopastoral systems; BF: bush forests; GF: gallery forests.

of GF, HSPS, and BF the ones with the highest concentration (1.62, 1.36 and 1.26%, respectively) (Figure 2). On the other hand, AFS+plantain showed the lowest SOC concentration (0.82%). Likewise, SOC concentration differed significantly between the AFS+plantain and GF uses ($p < 0.05$), but these are similar ($p > 0.05$), between C, LSPS, Co+S, BF, and HSPS (Figure 2).

Andrade-Castañeda *et al.* (2016) report an SOC concentration of 1.7% in soils of dry riparian forests of Tolima, which is coherent with the current estimates for GF. Cantú-Silva & Yáñez Díaz (2018) reported SOC concentrations for bushes of 2%; grasslands, 19%; forest plantations, 1.7%; and agricultural areas, 1.3%, at depths between 5 and 30cm, in the municipality of Linares, in the state of Nuevo León, México; values that are similar to those found on

the study of interest. On this current study, differences in SOC concentrations are attributed to the change of land use, caused by the development of mechanization and management activities, such as the application of supplies that deteriorate the vegetal cover and with it, carbon accumulation in productive systems. On the contrary, there are affectations in SOC percentage of BF and GF, thus improving their ability for carbon accumulation.

Organic carbon reserves in the soil. Statistical differences were detected ($p < 0.05$) among the land use systems studied, which ranged between 33.4 and 72.7Mg C/ha (Figure 3). GF showed the highest SOC reserves (72.2 ± 13.8 Mg/ha); whereas Co+S and C stored 50.6 and 43.9Mg/ha, respectively and silvopastoral systems had reserves between 49.2 and 54.1Mg C/ha (Figure 3). Significant

differences ($p < 0.05$) were found between the SOC reserves of GF and AFS+plantain. Meanwhile, C, LSPS, Co+S, BF, and HSPS stored similar values ($p > 0.05$) and showed a range between 43.9 and 54.1 Mg C/ha. Mandal *et al.* (2020) state that agriculture is a dominant land use and that carbon sequestration under different agroecosystems is an important option to fight climate change.

Values found in the study are coherent with the reports by Andrade-Castañeda *et al.* (2016) in dry riparian forests of Tolima, Colombia (65.6 Mg C/ha). Ortiz *et al.* (2008) report SOC storage for AFS with *Cordia alliodora* and cocoa of 43-62 Mg C/ha; and Arce *et al.* (2008) estimated 32 Mg C/ha in these same systems in the area of Valles de Talamanca, in Costa Rica. Meanwhile, Poveda *et al.* (2013)

report 47.5 Mg C/ha, a value similar to the results of this current study. Tree density in the systems studied by Arce *et al.* (2008) was of 676 trees/ha, with the highest number for shade individuals, which is consistent with the results on this study in Co+S, where it was found that it stored 50.6 Mg C/ha. SOC difference between AFS+plantain and GF is explained with the change in land use and the management activities performed on the first one. This management exposes soils to adverse conditions that cause SOC deterioration (Ussiri & Lal, 2013). This does not happen with soils occupied by GF and BF, which are dedicated to hydric conservation and regulation, reason why continuous losses of SOC would not be expected (Cosentino & Costantini, 2000).

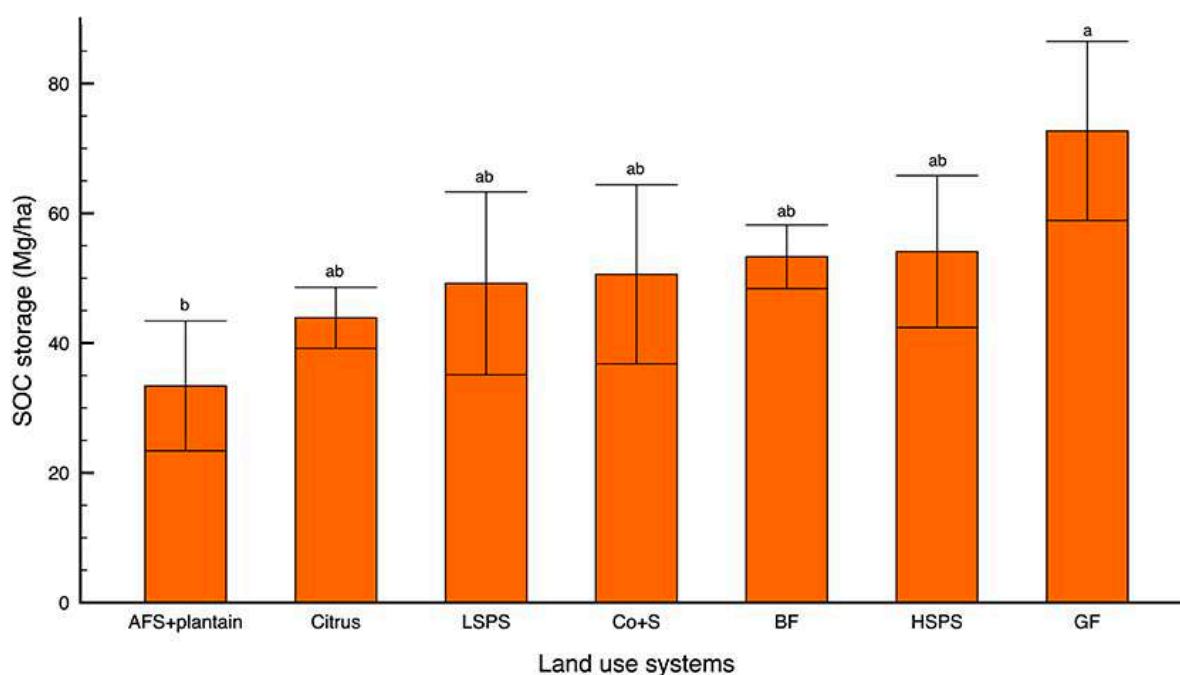


Figure 3. Soil organic carbon (SOC) storage in land use systems of corregimiento of Tacarimena, municipality of Yopal. Error bars correspond to standard error. Means with common letter are not significantly different ($p > 0.05$). AFS+plantain: plantain with shade; LSPS: low silvopastoral systems; Co+S: cocoa with shade; BF: bush forests; HSPS: high silvopastoral systems; GF: gallery forests.

SOC dynamics is related to the changes of organic matter and its evolution, conditioned to variables such as vegetation (incorporation of residues due to plant decomposition), soil properties (texture, structure, clay mineralogy, and PH), weather (temperature and humidity), which play a direct role in C incorporation and fixation (FAO, 2001). This process causes C storage, protected by fine particles, such as clay (Lal, 2012; Huang *et al.* 2014). Likewise, Rothon (2000) found a positive correlation between the stability percentage of aggregates and soil organic matter (SOM) content. Mathew *et al.* (2020) claim that SOC deposition is positively related to carbon translocation in the radicular zone.

SOC favors soil fertility and improves physical characteristics, since the particle aggregate improves pore distribution and the

ability to retain and supply water to the plants. These features contribute to run-off reduction and susceptibility to drought (Lal, 2012).

Mineralization, lixiviation, and erosion cause around 20% of global CO₂ emissions (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2007), expressed in the following terms: “Variation of greenhouse gases (GHG) and aerosols in the atmosphere, and variations in earth cover and solar radiation, alter the energetic balance of the climate system.” The most intense SOC losses take place in climates with high temperatures and humidity, like in the tropic (Crowther *et al.* 2016). This effect takes place in the area of interest in transient crop lands, given the climate conditions of Colombian lowlands, where altitudes below 400m, annual

precipitation of 2,309mm, and average temperature of 26.9°C, are the specific conditions given in the area of the study.

Effects of land use change in C fixation of CO₂ emission.

A reduction in SOC sequestration was when found tree cover is diminished, as in the change of GF and BF, on agricultural crops (Table 1). The most positive land use changes to mitigate climate change take place when AFS+plantain moves to GF and HSPS, with additionalities of 130.3 and 88.0Mg CO₂/ha, respectively (Table 1). In contrast, deforestation, to find areas for agricultural production, could cause emissions between 6.2 and 130.3Mg CO₂/ha (Table 1). Several studies on land use changes in the Orinoquia region have detected alterations in SOC due to the conversion (Ramírez-Contreras *et al.* 2021), showing net carbon sequestrations or CO₂ emissions (Rojas *et al.* 2018).

According to Ordóñez & Masera (2001), and Valenzuela & Visconti (2018), it is important to perform quantification studies of atmospheric carbon emission/sequestration in forest ecosystems or of land uses, with emphasis on the dynamics of land use change. This could permit estimation of carbon density associated to vegetation types and develop estimation and prediction methods for carbon emission or sequestration, under the dynamics of land use. Thus, GHG mitigation options could be offered in the short, medium, and long term. Meaning that carbon sequestration contributes to the mitigation of climate change.

In this context, Andrade-Castañeda *et al.* (2016) have studied and documented the potential impact due to land use changes, claiming that the biggest changes in SOC are held when pasture areas are changed into forest. On the other hand, when riparian forests are cut to establish rice fields, SOC tends to reduce, causing GHG emissions in 12.3Mg CO₂/ha. In the semi-arid region of Brazil, Medeiros *et al.* (2020) found that conventional farming systems reduced SOC storage in the first meter of soil. In the basin of Combeima river, in Tolima, Colombia, Andrade *et al.* (2018) showed that land use systems without tree cover affect SOC through time. Likewise, Lozano Botache *et al.* (2011) claim that, currently, one of the main environmental problems addresses to coverage loss and, with it, to fragmentation of forests, alteration of soil resources; specifically, concerning erosion, to CO₂ generation into the atmosphere, in terms of emissions.

The study allowed the assessment of how the land uses tested offer the ecosystem service of carbon storage intending to mitigate climate change. However, GF soils stored more SOC in contrast with AFS+plantain. HSPS is an important carbon sump that also allows cattle production at the same time.

Every use change would cause alterations in SOC storage. Land use changes that should be promoted to mitigate climate change can be moving from agricultural production systems to forest ecosystems, such as GF and BF. In silvopastoral systems, density increase of

Table 1. Potential impact on soil organic carbon storage by land use changes (Mg CO₂/ha), in el corregimiento of Tacarimena, municipality of Yopal - Casanare, Colombia.

		Future land use						
		AFS + plantain (36,4Mg C/ha)	Citrus (48,4Mg C/ha)	LSPS (51,9Mg C/ha)	Co+S (54,2Mg C/ha)	BF (55,9 Mg C/ha)	HSPS (60,4Mg C/ha)	GF (71,9Mg C/ha)
Current land use	AFS+plantain (36,4Mg C/ha)	-	44.0	56.9	65.3	71.6	88.0	130.3
	Citrus (48.4Mg C/ha)	-44.0	-	12.9	21.3	27.5	44.0	86.2
	LSPS (51.9Mg C/ha)	-57.0	-12.9	-	8.4	14.7	31.2	73.4
	Co+S (54.2Mg C/ha)	-65.3	-21.3	-8.4	-	6.2	22.8	65.0
	BF (55.9Mg C/ha)	-71.6	-27.5	-14.7	-6.2	-	16.5	58.7
	HSPS (60.4Mg C/ha)	-88.0	-44.0	-31.2	-22.8	-16.5	-	42.2
	GF (71.9Mg C/ha)	-130.3	-86.3	-73.4	-65	-58.7	-42.2	-

AFS+plantain: plantain with shade; LSPS: low silvopastoral systems; Co+S: cocoa with shade; BF: bush forests; HSPS: high silvopastoral systems; GF: gallery forests.

tree component enhanced SOC storage, with the consequent additionality in this ecosystem service. Pasture improvement and tree cover increase AFS-intended, can introduce them with carbon storage potential at the area of study level, in addition to having forests that bring protection of hydric resources. Management measures for sumps and CO₂ sources that increase sequestration in the first cases and reducing emission in the second are required, so that conversion of sumps into sources is avoided.

In general, production systems that involve trees in proper densities are suggested as a guarantee in carbon sequestration and, with this, offer the possibility of mitigating climate change. Given that soils studied are representative of the Orinoquia foothill, results could be extrapolated to this area, which would provide an estimate of the importance of these land uses and changes in this ecosystem service.

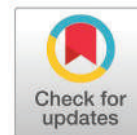
Acknowledgement. The authors thank the owners of the lands from the Corregimiento de Tacarimena, where all the information was taken, people who, without selflessly and unsuspectingly allowed the entrance of staff into their lands to collect the data. The authors also show their respect and admiration for Mr. Marco Polo Maldonado. Just the same, authors thank the Research Group (Grupo de Investigación) PROECUT from Universidad del Tolima, for their support on the statistical analysis and the time they offered in their facilities. Conflict of interest: The manuscript was prepared and revised with the participation of both authors, who hereby attest that there is no conflict of interest that may jeopardize the validity of the results in this study. Funding: The study was funded by the authors and it is part of the research results of the Master's Degree thesis of the first author.

REFERENCES

- AGOSTINI, M.; MONTERUBBIANESI, M.; STUDDERT, G.; MAURETTE, S. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Cienc. Suelo* (Argentina). 32(2):171-176.
- ALCALDÍA DE YOPAL. 2013. Acuerdo Municipal N°024. "Por el cual se adopta el plan de ordenamiento territorial del municipio de Yopal". Plan básico de ordenamiento territorial municipio de Yopal- Casanare. Concejo municipal de Yopal. (Colombia). 172p.
- ALVARADO, J.; ANDRADE, H.J.; SEGURA., M.A. 2013. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*. 16(1):21-31.
- ANDRADE-CASTAÑEDA, H.J.; SEGURA-MADRIGAL, M.A.; ROJAS-PATIÑO, A.S. 2016. Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en piedras, Tolima, Colombia. *Agron. Mesoam.* (Costa Rica). 27(2):233-241. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i2.24359>
- ANDRADE, H.J.; MUÑOZ, J.; SIERRA, E.; GUTIÉRREZ, J.F.; CANAL, D.S. 2018. Propiedades físicas e hidrológicas en áreas con los usos del suelo dominantes en la microcuenca La Plata (Ibagué, Colombia). En: Andrade, H. (ed.). *Servicios ecosistémicos aportados por sistemas de producción en laderas de la cuenca media del río Combeima (departamento del Tolima, Colombia): Un aporte hídrico a la gestión del recurso hídrico*. Panamericana Formas e Impresos S.A. (Bogotá). p.63-78.
- ARCE, N.; ORTIZ, E.; VILLALOBOS, M.; CORDERO, S. 2008. Existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. (Costa Rica). 46(1):30-33.
- BOLIN, B.; SUKUMAR, R. 2000. Global Perspective. In: *Capturing carbon and conserving biodiversity*. Cambridge University Press. (Cambridge. UK). p.23-51.
- CANTÚ-SILVA, I.; YÁÑEZ DÍAZ, M.I. 2018. Efecto del cambio de uso del suelo en el contenido de carbono orgánico y de nitrógeno del suelo. *Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(45):122-151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- COSENTINO, D.J.; COSTANTINI, A.O. 2000. Evaluación de algunas formas de carbono como indicadores de degradación en argiudoles vérticos de Entre Ríos, Argentina. *Rev. Facultad de Agronomía (UBA)*. (Buenos Aires-Argentina). 20(1):31-34.
- CROWTHER, T.W.; TODD, K.E.; ROWE, C.W.; WIEDER, W.R.; CAREY, J.C.; MACHMULLER, M.B.; BRADFORD, M.A. 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*. (Reino Unido). 540(1):104-110. <https://doi.org/10.1038/nature20150>
- GONZÁLEZ-MOLINA, L.; ETCHEVERS-BARRA, J.D.; HIDALGO-MORENO, C.I. 2008. Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia*. (México). 42(7):741-751.
- HUANG, S.; PAN, X.; GUO, J.; QIAN, CH.; ZHANG, W. 2014. Differences in soil organic carbon stocks and fraction distributions between rice paddies and upland cropping systems in China. *Journal of Soils and Sediments*. (Alemania). 14(1):89-98. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0789-9>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2018. Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. (Colombia). 48p.

14. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2003. Mapa de suelos de Colombia. Escala 1:500000. Memoria explicativa.
15. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2014. Estudio General de suelos y zonificación de tierras Departamento de Casanare, escala 1: 100.000. Imprenta Nacional de Colombia. (Colombia). 423p.
16. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC. 2007. Informe de síntesis. Ginebra, (Suiza). 104p.
17. LAL, R. 2012. Climate change and soil degradation mitigation by sustainable management of soils and other natural resources. *Agricultural Research*. 1(3):199-212. <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0031-9>
18. LOZANO BOTACHE, L.A.; GÓMEZ AGUILAR, F.A.; VALDERRAMA CHAVES, S. 2011. Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte del departamento del Tolima. *Tumbaga*. (Colombia). 6(1):125-140.
19. MANDAL, A.; MAJUMDER, A.; DHALIWAL, S.S.; TOOR, A.S.; MANI, P.K.; NARESH, R.K.; GUPTA, R.K.; MITRAN, T. 2020. Impact of agricultural management practices on soil carbon sequestration and its monitoring through simulation models and remote sensing techniques: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. (Netherlands). <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1811590>
20. MATHEW, I.; SHIMELIS, H.; MUTEMA, M.; MINASNY, B.; CHAPLOT, V. 2020. Crops for increasing soil organic carbon stocks – A global meta analysis. *Geoderma*, (Netherlands). 367:114230. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114230>
21. MEDEIROS, A.S.; MAIA, S.M.F.; DOS SANTOS, T.C.; GOMES, T.C.A. 2020. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. (Netherlands). 287: 106690. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>
22. MENDIETA, M.P. 2011. Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC). Dirección de Cambio Climático. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá. (Colombia). p.1-14.
23. ORDÓÑEZ, J.A.; MASERA, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. (México). 7(1):3-12.
24. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, FAO. 2001. Agricultura y el cambio climático. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. (Roma) Italia. 1p.
25. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación y la agricultura. (Roma) Italia. 90p.
26. ORTIZ, A.; RIASCOS, L.; SOMARRIBA, E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) Avances de Investigación. *Agroforestería en las Américas*. (Costa Rica). 46(1):26-29.
27. PEARSON, T.; WALKER, S.; BROWN, S. 2005. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the Biocarbon Fund of the World Bank. 57p.
28. PEÑA, R.; RUBIANO, Y.; PEÑA, A.; CHAVÉS, B. 2009. Variabilidad espacial de los atributos de la capa arable de un Inceptisol del piedemonte de la cordillera Oriental (Casanare, Colombia). *Agronomía Colombiana*. (Colombia). 27(1):111-120.
29. POVEDA, V.; OROZCO, L.; MEDINA, C.; CERDA, R.; LÓPEZ, A. 2013. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. *Avances de Investigación. Agroforestería en las Américas*. (Nicaragua). 49(1):42-50.
30. RAMÍREZ-CONTRERAS, N.E.; MUNAR-FLOREZ, D.; HILST, F.V.D.; ESPINOSA, J.C.; OCAMPO-DURAN, Á.; RUÍZ-DELGADO, J.; MOLINA-LÓPEZ, D.L.; WICKE, B.; GARCIA-NUNEZ, J.A.; FAAIJ, A.P.C. 2021. GHG Balance of Agricultural Intensification & Bioenergy Production in the Orinoquia Region, Colombia. *Land* (Switzerland). 10:289. <https://doi.org/10.3390/land10030289>
31. RIVERA, M.; AMÉZQUITA, E.; RAO, I.; CORRALES, I.; BERNAL, J. 2013. Sistemas agroforestales: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali. Colombia. 288p.
32. ROJAS, A.S.; ANDRADE, H.J.; SEGURA, M.A. 2018. Los suelos del paisaje alto-andino de Santa Isabel (Tolima, Colombia) ¿Son sumideros de carbono orgánico? *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* (Colombia). 21(1):51-59. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.662>

-
33. ROTHON, F.E. 2000. Influencia del tiempo de respuesta del suelo a las prácticas de labranza cero. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(2):700-709.
34. USSIRI, D.; LAL, R. 2013. The Role of Fertilizer Management in Mitigating Nitrous Oxide Emissions. In: Ussiri, D.; Lal, R. (eds). *Soil Emission of Nitrous Oxide and Its Mitigation*. Springer-Verlag, Berlin. p.315-346.
http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5364-8_10
35. VALENZUELA B., I.G.; VISCONTI M., E.F. 2018. Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia. *Rev. Col. Ciencias Hortícolas*. (Colombia). 12(1):233-243.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2018.v12i1.7349>
36. WALKLEY, A.; BLACK, C.A. 1934. An examination of the Degtjareff's method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37(1):29-38.
<https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>



Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* interaction. A review

Interacción entre tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. Una revisión

Silvia Patricia López-Zapata¹; Dora Janeth García-Jaramillo²; Walter Ricardo López³; Nelson Ceballos-Aguirre⁴

¹Agronomist, M.Sc. Universidad de Caldas, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Production. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: silvia.821517448@ucaldas.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-6834-6794>

²Biology and Chemistry, M.Sc., Ph.D. Universidad de Caldas, Faculty of Agricultural Science, Department of Agricultural Production. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: doraj.garcia@ucaldas.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-6822-5634>

³Biology and Chemistry, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Campus Manizales, Faculty of Exact and Natural Science, Department of Physics and Chemistry. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: wrlopez@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-2310-7663>

⁴Agronomist; Ph.D. Universidad de Caldas, Faculty of Agricultural Science. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: nelson.cebillos@ucaldas.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-8463-3379>

How to cite: López-Zapata, S.P.; García-Jaramillo, D.J.; López, W.R.; Ceballos-Aguirre, N. 2021. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* interaction. A review. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1713. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1713>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education.

Received: September 9, 2020 **Accepted:** May 7, 2021 **Edited by:** Ingeborg Zenner de Polanía

ABSTRACT

The interaction between plants and pathogens is a very dynamic and complex relationship that also includes a high degree of specificity, and it is precisely this last characteristic which triggers such important responses in the survival of one or the other. The pathosystem formed by tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) has been the subject of multiple studies due to the importance of the vegetable worldwide and for the economic and ecological impact of the fungus responsible for the vascular wilt disease in tomato, causing losses that go up to 100%. One way to find alternatives for the management of any pathosystem is to know the actors involved and the mechanisms that govern the interaction through technological and scientific advances

that clearly show how the interaction develops on a genetic level. This review collects the information from different scientific sources with focus on the knowledge of the fungus, tomato cultivation and plant defense applied to this pathosystem, as well as the molecular mechanisms.

Keywords: Avirulence; Fungus; Pathosystem; Plant defense; Resistance.

RESUMEN

La interacción entre plantas y patógenos es una relación muy dinámica y compleja, que conlleva un alto grado de especificidad y es esta última característica, la que desencadena respuestas tan importantes en la supervivencia de uno u otro. El patosistema

formado por tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) ha sido objeto de múltiples estudios, debido a la importancia de la hortaliza, a nivel mundial y por el impacto económico y ecológico del hongo, responsable de la marchitez vascular, provocando pérdidas que llegan hasta el 100%. Una forma de encontrar alternativas para el manejo de cualquier patosistema es conocer los actores involucrados y los mecanismos que rigen la interacción, a través de avances tecnológicos y científicos, que muestren, claramente, cómo se desarrolla la interacción, a nivel genético. Esta revisión recoge la información de fuentes científicas con énfasis en el conocimiento del hongo, el cultivo del tomate y la defensa vegetal, aplicada a este patosistema, así como los mecanismos moleculares.

Palabras clave: Avirulencia; Hongo; Patosistema; Defensa; Resistencia.

INTRODUCTION

Plants are exposed to different phytopathogenic agents and insects that could affect their normal development, to respond the attacks they have implemented local and systemic defense mechanisms such as structural barriers that could block the infection and colonization processes (Yadeta & Thomma, 2013). Additionally, plants continuously respond to complex interactions between biotic and abiotic factors through effectors, elicitors, and resistance (R) or avirulence (Avr) genes, their interaction could cause response to disease (Meng & Zhang, 2013; Gururani *et al.* 2012).

Tomato historically went from being a merely ornamental plant to being one of the most important vegetables today in terms of consumption and production (Abdallah *et al.* 2016), as well as, is a model organism to genetic and molecular studies related whit plant defense response (Andolfo *et al.* 2014). Vascular wilt is one of the most important diseases of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation, the causative agent *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol) (Sacc) W. C. Snyder and H. N. Hans, is present on all continents and distributed by races that make possible the presence of this and the disease in almost all regions of the world (Hernández-Martínez *et al.* 2014).

This review describes the economic importance of tomato cultivation in the economic, social and nutritional fields, its origin, distribution and its relationship with Fol, for which a comprehensive description is given of relevant aspects of the fungus such as morphology, races and explanation of the infection and colonization processes, as well as the known defense mechanisms that are used by the plant to respond to the infection. The knowledge and understanding of the tomato-Fol interaction will allow an integral vision even from the genetic part, which is essential to know and explore, especially with the isolates specific to the producing areas of the country to determine their true identity and lead new and more effective management strategies that reduce the losses caused by the pathogen, all this taking advantage of the fact that the tomato is a short cycle crop that allows studies and inferences to be made in a short period of time.

MATERIALS AND METHODS

A search for articles was carried out through the internet in scientific databases such as Google Academic, Dialnet, Jstor, Science Direct, PubMed and Academic Microsoft. “*Fusarium oxysporum*”, “Fol”, “tomato”, “*Solanum lycopersicum*”, “*Lycopersicon sculentum*”, “plant pathogen interaction”, “tomato interaction” and “tomato resistance” were used as the keywords to search titles, abstracts, and author keywords from 2005 to 2020. Author keyword and word cluster analysis were made using Microsoft Excel (version 2010). The Global Citation Scores (GCS) and Local Citation Scores (LCS) were acquired by using HistCite. The impact factor values from Journal Citation Reports (JCR) were also added for the corresponding identified journal titles.

RESULTS AND DISCUSSION

The best known and accepted model for understanding the interaction between plants and pathogens is the zig-zag model (Jones & Dangl, 2006); however new models have emerged such as the invasion model where immunity molecules are given a role beyond pathogenicity (Cook *et al.* 2015) and the multi-component model that includes, in addition to interaction, activation and modulation (Andolfo *et al.* 2016). However, the process of interaction between plants and pathogens is still in progress and is supported by new technological tools that facilitate understanding the complex process.

The host. The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a dicot plant, belonging to the *Solanaceae* family which comprises more than 3000 species; among these, the tomato is one of the most cultivated vegetables in the world (Srinivas *et al.* 2019). Apparently, its origin is not well elucidated. For many years it was thought that the wild Cherry tomato, (*S. lycopersicum* var. *cerasiforme*), was the ancestor of the cultivated tomato (Cheema & Dhaliwal, 2005); however, it is clear today that the latter is a mixture of wild and cultivated tomatoes (Bergougnoux, 2014). In this regard, some authors indicate that it may have originated in Andes mountains, specifically in Ecuador, where a large yet unexplored genetic diversity is found (Morales *et al.* 2014). This vegetable has been a model of study in various areas such as physiology (Rodríguez-Ortega *et al.* 2019), biochemistry (Trong *et al.* 2019) and biotechnology (Ali *et al.* 2014; Murillo-Gómez *et al.* 2017); it has also been described as an agronomic model in genetic engineering and an important resource in tissue culture (Gerszberg *et al.* 2015).

It is also listed as one of the most important vegetables in terms of commercial use, cultivated areas, production and yield (Hernández-Martínez *et al.* 2014; Tampoare *et al.* 2012). In terms of consumption, it is only surpassed by potatoes (Bergougnoux, 2014), and it is also an important source of lycopene, beta-carotene, and flavonoids (Gerszberg *et al.* 2015). China is currently the main producer with 31% of world production and 20% of the total cultivated area (Rodríguez-Ortega *et al.* 2019). In Colombia, production in 2019 was 556,692 tons with a yield of 65,66t/ha with a total area 8,478ha (AGRONET, 2021).

A valuable resource that must be used intelligently is the wide genetic diversity of wild varieties; this plurality makes it very suitable for evolutionary studies and domestication processes, managing to identify characteristics of interest in the germplasm that, through crosses, can be introduced into commercial materials (Blanca *et al.* 2015; Ranjan *et al.* 2012).

In this regard, the authors of this review have participated in evaluations with different genotypes from the gene-bank of the Universidad Nacional de Colombia, which have been tested, evaluating aspects such as their genetic diversity (Ceballos-Aguirre *et al.* 2017), production and quality of the fruit (Ceballos-Aguirre & Vallejo, 2012; Herrera *et al.* 2015). Also, the characterization of pathogenic and non-pathogenic isolates of *Fol* isolated from commercial tomato crops in the Colombian Andean zone (Carmona *et al.* 2020), and field evaluation of tomato introductions produced via micrografting, which were also tested with a pathogenic strain of *Fol* race 2 have been our study topics.

Historically, based on the ability of wild tomatoes can cross with cultivated materials, a classification was established and were called: 1. *Sculentum* complex, that include its genotypes considered a source of resistance to biotic and abiotic factors due their ability to hybridize and, 2. *Peruvianum* complex who were recognized for their potential for crop improvement for its wide diversity. Later, through phylogenetic studies, it was divided into three groups in which the existence of the cultivated tomato and 12 wild relatives was recognized (Bergougnoux, 2014).

It is well known that available tomato varieties with a report of resistance to soil pathogen as *Fusarium oxysporum* do not show a successful response to local races (Palacio *et al.* 2014), so it is necessary to use the genetic resources as an alternative to improve the specie. In this way, the wild species of the *Lycopersicum* section constitute a specific case of genetic diversity that, due to its special characteristics such as resistance to pests and diseases, tolerance to drought, salinity, frost, better physical appearance of the fruits and high lycopene contents, are highly suitable for inclusion in breeding programs (Morales *et al.* 2014). In this group, according to Ceballos-Aguirre *et al.* (2017), *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* and *Solanum pimpinellifolium* are the most promising due to the ease with which crosses are obtained and the wide variability of characteristics found in them.

A good example is the red Cherry tomato IAC391, belonging to *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, which highlights the morphological composition of the plant and its fruits (Agudelo *et al.* 2011), the organoleptic properties, quality standards of the fruits (Ceballos-Aguirre & Vallejo, 2012; Franco *et al.* 2018) and economic viability (Herrera *et al.* 2015).

The pathogen. The *Fusarium* genus has approximately 300 species (Rampersad, 2020) and *Fol* is included among the causative agents of the more than 200 diseases that affect tomato (Djidonou *et al.* 2016), alone or together with other pathogens whose natural habitat is the soil (Singh *et al.* 2017). The origin of *Fusarium* dates

back to approximately 91.3 million years, which coincides with the appearance of woody and flowering plants and has been recovered from native soils in different parts of the world (Koyyappurath *et al.* 2015). The fungus species can be found in the tropics, temperate zones, desert zones, alpine and arctic zones where adverse climatic conditions prevail (Okungbowa & Shittu, 2014). It is an ascomycete facultative soilborne parasite (Sutherland *et al.* 2013), the most *Fusarium* species are harmless and abundant in the soil microbial community (Koyyappurath, 2015), and together with the pathogenic strains make up a complex of including the endophyte *Fo47* used to prevent vascular wilt in tomato caused by *Fol* (Wang *et al.* 2020).

Some species within the *Fusarium* genus produce meiotic spores and also three types of asexual spores that have nuclei derived mitotically from the hyphae (Gordon, 2017), microconidia, macroconidia and chlamydospores; however, not all species produce the three types of spores and less than 20% have known sexual cycle (Ma *et al.* 2013).

The anamorphic state of the fungus is made from macroconidia derived from producer cells called phialides, which in turn are grouped into a pad-shaped structure called sporodochium (Kant *et al.* 2011). Microconidia are generally uninucleated, 5-12µm long by 2.5-3.5µm wide and germination ranges from 1% to 20%. Macroconidia are multinucleate, translucent, canoe-shaped. They have from 3 to 5 septa (Kant *et al.* 2011), a conical apical cell and the basal cell with a foot-shaped end; they measure from 27 to 46µm in length by 3-4.5µm in width, and their germination is rapid, which is an advantage for the spread of the pathogen (Leslie & Summerell, 2006). Chlamydospores are spores that result from the modification of hyphal segments and have thick cell walls; their main function is soil survival, and they can occur in isolation, in pairs, in clusters or in chains. According to the position they occupy in the hypha, they can be: intercalary, if they are inside the hypha; sessile, or terminal, when they are at its end. They are also characterized by their high resistance to unfavorable environments (Leslie & Summerell, 2006) and can be kept alive indefinitely in infested soils, even in the absence of a host (Khan *et al.* 2017).

The life cycle in *Fusarium* species can be divided into three stages: latent, which includes the inhibition and subsequent germination of resistance structures; parasitic, by which the pathogen penetrates, colonizes, moves through the xylem, induces the appearance of symptoms and causes the death of the host, and the saprophytic stage characterized by the formation of new resting structures on the residues of the dead host (Okungbowa & Shittu, 2014).

Contrary to non-pathogenic ones, the pathogenic strains of *Fusarium oxysporum* have the ability to penetrate the root and cause tracheomycosis by invading the vascular tissue of the host plants (Koyyappurath, 2015), causing the vascular wilt (Andolfo *et al.* 2014), as well as crusts, blight, cankers and rot stem or fruit (Rampersad, 2020; Edel-Hermann & Lecomte, 2019; Okungbowa & Shittu, 2014). Additionally, some species of the genus produce mycotoxins such as fumonisins, fusaric acid and trichothecenes that facilitate the host invasion process, especially in cereals, with important effects on human and animal health (Koyyappurath, 2015).

The *F. oxysporum* species are morphologically diverse (Botero *et al.* 2018) and, due to its economic and scientific importance, it ranks fifth among fungal pathogens (Dean *et al.* 2012); additionally, the range of action is very wide and includes plants, animals, arthropods and humans (Koyyappurath, 2015). It is characterized by being a filamentous, hyaline fungus, with asexual reproduction, and has a great agricultural impact due to the *formae speciales* (f. sp.) reported (Gordon, 2017), which have the ability to attack different types of plants with high economic value (Agrios, 2013; Dean *et al.* 2012), located in 73 botanical families (Edel-Hermann & Lecomte, 2019).

The *F. oxysporum* strains show different forms of growth in the host tissues, classified as biotrophic and necrotrophic, which is determined by the type of colonization, which can be inter or intracellular, resulting in the death or not of cells adjacent to the infection (Gordon, 2017). However, most can be classified as hemibiotrophic since the initial infection resembles that of a pathogen that depends on a living host (Ma *et al.* 2013), but it has also been shown that entry to xylem, as in the particular case of *F. oxysporum* f. sp. *ciceris* does not necessarily result in expression of symptoms, the latter depending on the virulence of the pathogen and the level of resistance of the host (Jiménez-Fernández *et al.* 2013).

Taking these two types of strategies into account, it is possible to classify *Fol* as hemibiotrophic, since it is reported that this type of microorganism initially, in the biotrophic phase, evades the recognition of the host; later, in the necrotrophic stage, they release the toxins and it is at that moment where the symptoms are noticeable, hence pathogens of this type are difficult to manage since the plants are initially asymptomatic (Ávila & Romero, 2017; McGovern, 2015). This transition is conditioned by environmental and metabolic signals (Rampersad, 2020).

The fungus is a morphospecies that is divided into specialized groups, pathotypes, or *formae speciales* due to the degree of pathogenicity that they exhibit between varieties of the same plant species (Sutherland *et al.* 2013). Currently, around 150 highly specific are referenced (Koyyappurath *et al.* 2015), morphologically identical and that together constitute a complex (Botero *et al.* 2018); however, Edel-Hermann & Lecomte (2019) found 106 *formae speciales* well documented and characterized, 53 of them are only associated with specific plants species.

The selectivity of the *formae speciales* is due to that only the host plants and their radical exudates supply the necessary nutrients for the growth and development of the fungus. Likewise, the fungus is subdivided into races according to its ability to infect cultivars with different levels of resistance, a fact that is associated with mutations in avirulence genes and horizontal gene transfer (Sutherland *et al.* 2013). Additionally, the evolution of the pathogenicity has been acquired through the horizontal chromosome transfer of non-pathogenic strains (Li *et al.* 2020a; Inami *et al.* 2014). Genetically, the physiological races are determined by the possession of different combinations of *SIX* proteins (*Secreted In Xylem*). Specially during

the plant colonization by *Fol* 14 of *SIX* proteins are working (Li *et al.* 2020b).

Of the *formae speciales* of the fungus that attack tomato crops, *Fol* is the most limiting because it causes vascular wilt. Three physiological races are known: 1, 2 and 3; differentiating each other by their pathogenicity towards various tomato cultivars. Races 1 and 2 have global dispersion in the producing areas and most cultivars are resistant to them, while race 3 has been detected in California, Australia, Georgia, Brazil and Mexico, and few materials are known to have resistance to it (Biju *et al.* 2017).

The disease. Called vascular wilt, it is the most limiting pathology in tomato production (Akrami & Yousefi, 2015). Some authors consider it a monocyclic disease; however, the appearance of symptoms and the progress of the disease varies in the field, so the appearance of a secondary infection is common (Okungbowa & Shittu, 2014). Other authors mention that tillage practices, agricultural equipment, floods or rains and the dissemination at short distances of some macroconidia formed on plant residues can promote the spread of the fungus, hence it is considered a polycyclic disease in this case (Okungbowa & Shittu, 2014). It affects the quality of the fruits and decreases the yield between 50% and 60% (Báez-Valdez *et al.* 2010) and, when the plant withers, the loss can reach 100% for susceptible varieties when the soil conditions and temperatures are high during most of the crop cycle (Agrios, 2005).

Plants are susceptible at all ages and the characteristic symptoms are wilting, partial yellowing of leaves, folding and dwarfing of shoots, decrease of the general growth of the plants, accompanied by a coloration that can vary from whitish, yellowish or brown of the vascular bundles (Botero *et al.* 2018). Also, especially in conditions of high humidity, a white, pink or orange growth of the fungus can appear on the outside of the affected stems (Okungbowa & Shittu, 2014). Foliar chlorosis begins in one sector of the plant, progressively increasing throughout it until it causes wilting and subsequent death; fruit production becomes scarce or not existent. At the base and internal part of the stem, without covering the medulla, a dark brown coloration is observed (Báez-Valdez *et al.* 2010; Okungbowa & Shittu, 2014), and occasionally adventitious roots are formed (Agrios, 2005).

The toxins produced by the fungus are fusaric acid, lycomarasin and dehydrofusaric acid (Srinivas *et al.* 2019); in tomato, the effects of fusaric acid are associated with reduced photosynthesis, lipid peroxidation, wilt, leaf necrosis, cell death (Singh *et al.* 2017), decrease in cell viability and improvement in fungal capacity (Srinivas *et al.* 2019). Also, the tomatinase, produced by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* is an enzyme recently identified as a virulence factor involved in the degradation of tomato defense compound tomatine (Murugan *et al.* 2020). Severely infected plants die and release the chlamydospores to the soil, where they remain for long periods of time; the cycle repeats when they have the optimal conditions for their germination and invade tissue from a susceptible host again (Agrios, 2005).

This type of symptomatic response is not always noticeable, especially in field conditions where inoculated plants respond very differently, being influenced by climatic, edaphic and physiological factors that cannot be controlled as strictly as in the laboratory or greenhouse, even being inoculated with high concentrations of the pathogen, a fact that can be related to what Van der Does *et al.* (2019) report, who found that *Fol*, even under an immune response, can grow as an endophyte and colonize the tissues of tomato plants without showing any symptoms.

Another fact that confirms the importance of making a correct and thorough identification of the isolates typical of an area or country are the results obtained by Carmona *et al.* (2020), when evaluating 32 producing farms in the Andean zone of Colombia where plantations presented symptoms of wilt and vascular necrosis initially attributed to *Fol*. However, the results showed that out of 120 isolates, only two were positive and virulent. These findings show that the presence of *Fol* in the tomato farms is possibly being considered true, and even more so, cataloged as the causative agent of the disease due to the macroscopic symptoms only and even the morphology of the colonies and reproductive structures, ignoring that other pathogens that induce similar symptoms are common in producing areas.

Many farmers use plant material that, according to seeds producers, is tolerant to a wide range of pathogens; however, many of these materials are not of national origin and when exposed to local conditions, do not behave as expected. Therefore, it is necessary to carry out research work with infection methodologies in field conditions to evaluate the interaction between *Fol* and different tomato varieties and identify determining factors such as plant genotype, the amount of inoculum of the pathogen, damage to roots, and plant age.

Interaction tomato-Fol. Understanding the defense and resistance mechanisms of plants against pathogens is mediated by the interaction of both organisms, for which resistance (*R*) and avirulence genes (*Avr*) have been extensively studied (Meng & Zhang, 2013; Guan *et al.* 2012; Gururani *et al.* 2012). To better comprehend this concept, we must remember the initially undervalued gene-by-gene theory of Harold Flor, which states that for every *R* gene in the host there is an *Avr* gene in the pathogen, which means that there is a close relationship and a specific recognition between these components of the two organisms and, depending on the evolution and specificity of each, the result can be disease or immunity.

Thus, for the infection to be successful and the disease to occur, the pathogen must go through different processes, from the location of the host and evasion of the defense responses of the plant, to the germination of spores and systemic infection (García-Enciso *et al.* 2017). This recognition originates through highly conserved molecules called elicitors, which are responsible for activating the host's defense responses (Muthamilarasan & Prasad, 2013; Meng & Zhang, 2013).

Elicitors involved in pathogenesis processes are regulated in the plant by the perception of microbe or pathogen associated

molecular patterns (MAMPs and PAMPS), allowing the basal response to be triggered (García-Enciso *et al.* 2017) by activating specific transcriptional factors of the response through a cascade of kinases (Jones & Dangl, 2006; Boller & He, 2009). This recognition induces a mechanism in plants called PAMP-triggered immunity or PTI, allowing to enable different response pathways against microorganisms in general (Jones & Dangl, 2006), among these the activation of proteins such as MAPKs (mitogen-activated protein kinase) and CDPKs (calcium-dependent protein kinases) that cause early defense reactions and include stomatal closure, ethylene and salicylic acid production, Ca^{+2} mobilization and phytoalexin production (Couto & Zipfel, 2016; Li *et al.* 2016), (Figure 1).

In tomato, phytoalexin α -tomatin is known to induce programmed cell death by activating signaling pathways through tyrosine kinase and protein G, causing intracellular accumulation of Ca^{++} and reactive oxygen species (ROS) such as hydrogen peroxide (H_2O_2) (González *et al.* 2012). Among other defense mechanisms are the accumulation of NB-LRR proteins, compounds in the cell wall such as callosium, lignification, the production of polyphenol oxidases and peroxidases that help block the action of the pathogen (Andersen *et al.* 2018; Eitas & Dangl, 2010) (Figure 1).

A second defense pathway called Effector-Triggered Immunity (ETI) occurs in response to virulence and pathogenesis factors (García-Enciso *et al.* 2017). This is a specific mechanism for a type of pathogen stronger than PTI and culminating in a hypersensitive response (HR), which leads to the death of the infected cell thus delaying the pathogenic process (Jones & Dangl, 2006); this response is presented when the penetration of the cell wall by the pathogen occurs causing the movement of the nucleus in the plant cell, the increase in cytolysis, the rearrangement of the microtubules of the cytoskeleton, the breakdown of DNA, the production of phenolic compounds and reactive oxygen species (ROS), deterioration of organelles and subsequent cell death (Figure 1).

Simultaneously, chemical signals such as jasmonic acid, ethylene, and phytohormones are released, which activate other defense processes, a mechanism that allows the plant to block the passage of nutrients to the affected area, encapsulate the pathogen and trigger cell death, thus allowing the limitation of the area of action of the attacker. This response is used by the plant to stop hemibiotrophic organisms but it is not effective with necrotrophic organisms since they can grow on dead tissue and thus spread the infection (Camagna & Takemoto, 2018) (Figure 1).

For this reason, the hypersensitive response in the tomato-*Fol* pathosystem is used differently and, in fact, the gene that prevents the signaling of cellular apoptosis is related to resistance, since this mechanism would favor infectious processes due to the necrotrophic nature of the fungus (Essarioui *et al.* 2016), preventing it from killing the cells to obtain food (Andolfo *et al.* 2014). Therefore, recognition through PTI in pathogens such as *F. oxysporum*, which have the ability to completely destroy tissue during infection, is not effective (Jones & Dangl, 2006), because the fungus produces effector molecules that facilitate cell death and prevent recognition

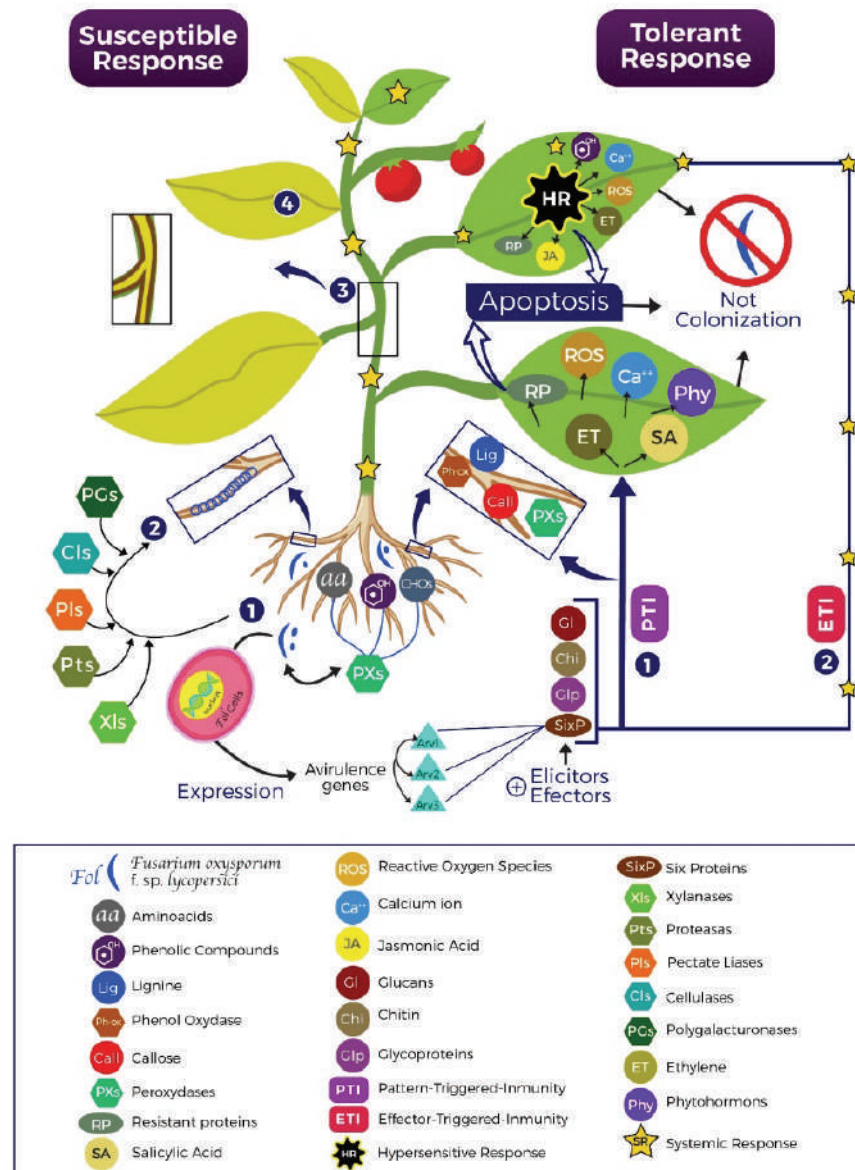


Figure 1. **Tomato and *Fol* interaction.** Under field conditions it is normal to have tomato plants in soil contaminated with *Fol*. As part of the growing process of the plants, they release molecules such as phenolic compounds, amino acids (aa), carbohydrates (CHOs) and reactive oxygen species (ROS), those are recognized by *Fol* through peroxidases (PXs) and activate their virulence mechanisms (1), which lead to the germination of spores on the plant to induce hyphal formation. Then, (2) through the production of cellulases (Cls), polygalacturonases (PGs), xylanases (Xls) and proteases (Pts) the cell wall of the plant is deraded, achieving its penetration and colonization in the vascular bundles (3), causing the infection system and the development of the disease through symptoms like yellowing and wilt (4). The plant, for its part, when it detects the elicitors and effectors released by *Fol* activates its PTI and ETI defense responses, to secrete molecules like hormones, ions, and proteins. In addition, is induces stomatal closure, cell wall hardening, hypersensitive response (HR); all those strategies conducting cell death to avoid the *Fol* colonization.

by specific pathogen recognition proteins (PRRs), thus blocking PTI and initiating colonization in the plant (Muthamilarasan & Prasad, 2013; Meng & Zhang, 2013) (Figure 1).

For its part, *Fol* has the ability to perceive the location of tomato plants due to the release of amino acids and the peroxidase activity

of the roots, which is regulated by proteins TMP1, TMP2 and CEV11, activities perceived by the hyphae of the fungus. In this chemiotropic response, the importance of mitogen-activated protein kinases (MAPKs) has been highlighted for their crucial role in activating the pathway that results in gene expression and transcription to regulate the process of infection and development

of the disease, through the expression of pathogenicity, infectious growth and fixation to the roots of the host (Hamel *et al.* 2012).

Other studies in *Fol* have shown that physiological and developmental processes are regulated by three signaling pathways, each of which has a specific function involving virulence and hyphal fusion, cell wall characteristics, osmoregulation responses and response to stress (Segorbe *et al.* 2017). Indeed, it has been documented that the tomato infection process begins with the germination of *Fol* spores due to the accumulation of exudates rich in amino acids, sugars, phenols, proteins and carbohydrates produced by the roots, and the branching of the germ tube leading to the formation of hyphae (García-Enciso *et al.* 2017). Next, the fungus, using an enzymatic complex that involves the secretion of enzymes such as cellulases, polygalacturonidases (PGs), pectatolases (PLs), xylanases and proteases, degrades the cell wall allowing penetration and subsequent colonization (Srinivas *et al.* 2019) such that, as soon as the root hypodermis has been invaded by the pathogen, it locates in the cortex.

During this process, mycotoxins are also released in the host, activating defense mechanisms in the plant that include the production of physical barriers, the proliferation of parenchymal cells; activation of the jasmonic acid pathway and the release of signaling hormones (González *et al.* 2012; Ignjatov *et al.* 2012; Ortiz *et al.* 2014). Due to the interaction between resistant tomato plants and *Fol*, the overexpression of more than 2000 genes has been reported, which are linked to the maintenance of cellular structures and cellular homeostasis and 14 auxin-binding genes, important as phyto regulators (Andolfo *et al.* 2014). Likewise, the plant induces chemical changes that are focused on strengthening the cell wall, increasing the concentration of phenolic compounds and releasing antimicrobial aggregates, as well as the deposition of calluses, gels and the formation of tyloses (Srinivas *et al.* 2019) (Figure 1).

Furthermore, various combinations of *R* and *Avr* genes have been identified in tomato, but only three of those immunity genes, called *I*, *I2*, *I3*, have been introduced from wild tomato relatives to commercial cultivars and confer resistance against *Fol* (Van der Does *et al.* 2019). These genes encode proteins that recognize the effector proteins produced by the different races of the fungus in the plant xylem, which are called SIX, as in “Secreted in the xylem” (Inami *et al.* 2014) and are encoded by an avirulence gene; SIX-1 (Secreted in Xylem-1) encoded by the *Avr3* gene, the SIX-3 protein encoded by the *Avr2* gene, and the SIX-4 effector protein, encoded from the *Avr1* gene. The SIX-1 and SIX-3 proteins are necessary for the complete virulence of the pathogen; in this regard, Selim *et al.* (2015), mention that the SIX1 protein is rich in cysteine and has been shown to be indispensable for the virulence of *Fol*. In *Fol*, the avirulence genes are carried according to the race of the pathogen: *Avr1* is exclusive to race 1, *Avr2* is found in races 1 and 2 and *Avr3* is present in all races (Andolfo *et al.* 2014).

In addition, effectors *Avr2* and *Avr3* are involved in the ETI response, which are expressed during colonization of the pathogen from the root to the xylem of tomato plants where they are

recognized by resistance genes *I2* (Immunity 2) and *I3*, respectively. Effector gene *Avr1* is not recognized by the *R* genes in tomato plants with *I2* and *I3* favoring colonization in the xylem, until causing vascular wilt, for which it has been indicated that *Avr1* suppresses the resistance mediated by *I2* and *I3* (Van der Does *et al.* 2019).

CONCLUSION

It is important to isolate and identify races of endemic *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* present in commercial tomato crops in Colombia, of which there are no reports, performing morphological studies and relying on the use of molecular and biotechnological tools that generate precise and forceful information. This should be done in such a way that this information allows us to understand the interaction between *Fol* and tomato, in order to demonstrate local loss percentages and thus focus on effective integrated management programs that include plant genetic improvement supported by biotechnological tools such as micrografting, transgenesis and genomic editing, which contribute to providing improved materials that can be incorporated in sustainable production systems while minimizing economic losses. Finally, it is vitally important to intelligently take advantage of the reserves of wild genetic materials, which are mostly unexplored and without any agronomic support in genebanks, which constitute a tool essential for the integrated management of vascular wilt.

Conflict of interest. The manuscript was prepared and reviewed with the participation of all authors, who declare that no conflict of interest is present that might question the validity of the results presented in the article.

REFERENCES

1. ABDALLAH, R.A.B.; MOKNI-TLILI, S.; NEFZI, A.; KHIAREDDINE, H.J.; DAAMI-REMADI, M. 2016. Biocontrol of Fusarium wilt and growth promotion of tomato plants using endophytic bacteria isolated from *Nicotiana glauca* organs. *Biological Control*. (United States). 97:80-88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.03.005>
2. AGRIOS, G.N. 2005. *Plant pathology*. 5th ed. Elsevier Academic Press. 922p.
3. AGRIOS, G.N. 2013. *Plant Pathology*. J. Chemical Information and Modeling. 53. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.00>
4. AGRONET. 2021. Information and Communication Network of the Colombian Agricultural Sector. Available online: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
5. AGUDELO, A.G.; CEBALLOS, N.; OROZCO, F.J. 2011. Caracterización morfológica del tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía*. (Colombia). 19:44-53.

6. AKRAMI, M.; YOUSEFI, Z. 2015. Biological control of Fusarium wilt of tomato (*Solanum lycopersicum*) by *Trichoderma* spp. as antagonistic fungi. Biological Forum-An International Journal. 7(1):887-892.
7. ALI, A.; MUZAFFAR, A.; AWAN, M.F.; DIN, S.; NASIR, I.A.; HUSNAIN, T. 2014. Genetically Modified Foods: Engineered tomato with extra advantages. Advancements in Life Science. (Pakistan). 1(3):139-152.
8. ANDERSEN, E.J.; ALI, S.; BYAMUKAMA, E.; YEN, Y.; NEPAL, M.P. 2018. Disease resistance mechanisms in plants. Genes. (Switzerland). 9(7):339.
<https://doi.org/10.3390/genes9070339>
9. ANDOLFO, G.; FERRIELLO, F.; TARDELLA, L.; FERRARINI, A.; SIGILLO, L.; FRUSCIANTE, L.; ERCOLANO, M.R. 2014. Tomato genome-wide transcriptional responses to Fusarium wilt and Tomato mosaic virus. Plos One. (United States). 9(5):e94963.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094963>
10. ANDOLFO, G.; IOVIENO, P.; FRUSCIANTE, L.; ERCOLANO, M. 2016. Genome-Editing technologies for enhancing plant disease resistance. Frontiers in Plant Science. 7:1813.
<https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.01813>
11. ÁVILA, M.K.; ROMERO, H.M. 2017. Plant responses to pathogen attack: molecular basis of qualitative resistance. Rev. Facultad Nacional de Agronomía. (Colombia). 70(2):8225-8235.
<https://dx.doi.org/10.15446/rfna.v70n2.64526>
12. BÁEZ-VALDEZ, E.P.; CARRILLO-FASIO, J.A.; BÁEZ-SAÑUDO, M.A.; GARCÍA-ESTRADA, R.S.; VALDEZ-TORRES, J.B.; CONTRERAS-MARTÍNEZ, R. 2010. Resistant rootstocks utilization for *Fusarium* control (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder and Hansen race 3) in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under shade conditions. Rev. Mexicana de Fitopatología. 28(2):111-123.
13. BERGOUGNOUX, V. 2014. The history of tomato: From domestication to biopharming. Biotechnology Advances. (Netherlands). 32(1):170-189.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003>
14. BIJU, V.C.; FOKKENS, L.; HOUTERMAN, P.M.; REP, M.; CORNELISSEN, B.J.C. 2017. Multiple evolutionary trajectories have led to the emergence of races in *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Applied and Environmental Microbiology. (United States). 83(4):e02548-16.
<https://dx.doi.org/10.1128/AEM.02548-16>
15. BLANCA, J.; MONTERO-PAU, J.; SAUVAGE, C.; BAUCHET, G.; ILLA, E.; DÍEZ M., J.; CAÑIZARES, J. 2015. Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. BMC Genomics. (United Kingdom). 16(1):1-19.
<https://doi.org/10.1186/s12864-015-1444-1>
16. BOLLER, T.; HE, S.Y. 2009. Innate immunity in plants: an arms race between pattern recognition receptors in plants and effectors in microbial pathogens. Science. (New York). 324(5928):742.
<https://doi.org/10.1126/science.1171647>
17. BOTERO, V.; HOYOS-CARVAJAL, L.; MARÍN J. 2018. Detection of asymptomatic plants of *Solanum lycopersicum* L. infected with *Fusarium oxysporum* using VIS reflectance spectroscopy. Ciencias Hortícolas. (Colombia). 12(2):436-446.
<http://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7293>
18. CAMAGNA, M.; TAKEMOTO, D. 2018. Hypersensitive response in plants. eLS. John Wiley and Sons, Ltd (Chichester, UK). p.1-7.
<https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020103.pub2>
19. CARMONA, S.L.; BURBANO-DAVID, D.; GÓMEZ, M.; LÓPEZ, W.; CEBALLOS, N.; CASTAÑO-ZAPATA, J.; SIMBAQUEBA, J.; SOTO-SUÁREZ, M. 2020. Characterization of pathogenic and nonpathogenic *Fusarium oxysporum* isolates associated with commercial tomato crops in the Andean region of Colombia. Pathogens. (Switzerland). 9(70):1-23.
<https://doi.org/10.3390/pathogens9010070>
20. CEBALLOS-AGUIRRE, N.; LÓPEZ, W.; OROZCO-CÁRDENAS, M.; MORILLO, Y.; VALLEJO-CABRERA, F. 2017. Use of microsatellites for evaluation of genetic diversity in cherry tomato. Bragantia. (Brazil). 76(2):220-228.
<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.116>
21. CEBALLOS-AGUIRRE, N.; VALLEJO, A. 2012. Evaluating the Fruit Production and Quality of Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). Rev. Facultad Nacional de Agronomía. (Colombia). 65(2):6593-6604.
22. CHEEMA, D.S.; DHALIWAL, M.S. 2005. Hybrid Tomato Breeding. J. New Seeds. (United States). 6(2-3):1-14.
http://dx.doi.org/10.1300/J153v06n02_01
23. COOK, D.E.; MESARICH, C.H.; THOMMA, B.P. 2015. Understanding plant immunity as a surveillance system to detect invasion. Annual Review of Phytopathology. (United States). 53:541-563.
<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120114>
24. COUTO, D.; ZIPFEL, C. 2016. Regulation of pattern recognition receptor signalling in plants. Nature Reviews

- Immunology. (United Kingdom). 16(9):537-552.
<https://doi.org/10.1038/nri.2016.77>
25. DEAN, R.; VAN-KAN, J.A.; PRETORIUS, Z.A.; HAMMOND, KIM.; DI PIETRO, A.; SPANU, P.; RUDD, J.; DICKMAN, M.; KAHMANN, R.; ELLIS, J.; FOSTER, G. 2012. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*. (United Kingdom). 13(4):414-30.
<https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>
 26. DJIDONOU, D.; SIMONNE, A.H.; KOCH, K.E.; BRECHT, J.K.; ZHAO, X. 2016. Nutritional quality of field-grown tomato fruit as affected by grafting with interspecific hybrid rootstocks. *American Society of Horticultural Science*. (United States). 51(12):1618-1624.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI11275-16>
 27. EDEL-HERMANN, V.; LECOMTE, C. 2019. Current status of *Fusarium oxysporum* Formae speciales and races. *Phytopathology*. (United States). 109(4):512-530.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0320-RVW>
 28. EITAS, T.K.; DANGL, J.L. 2010. NB-LRR proteins: Pairs, pieces, perception, partners, and pathways. *Current Opinion in Plant Biology*. (Netherlands). 13(4):472-477.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.04.007>
 29. ESSARIOUI, A.; MOKRINI, F.; AFECHTAL, M. 2016. Molecular interactions between tomato and its wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Reveu Marocaine des Sciences Agronomiques et Veterinaires*. 4(1):66-74.
 30. FRANCO, D.A.; ARANGO, J.F.; HURTADO-SALAZAR, A.; CEBALLOS-AGUIRRE, N. 2018. Development, production, and quality of "Chonto" type tomato grafted on cherry tomato introductions. *Ceres*. (Brazil). 65(2):150-157.
<https://doi.org/10.1590/0034-737X201865020006>
 31. GARCÍA-ENCISO, E.L.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; FLORES-LÓPEZ, M.L.; ROBLEDO-OLIVO, A.; JUÁREZ-MALDONADO, A.; GONZÁLEZ-MORALES, S. 2017. A molecular vision of the interaction of tomato plants and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *IntechOpen*.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.72127>
 32. GERSZBERG, A.; HNATUSZKO-KONKA, K.; KOWALCZY, T.; KONONOWICZ, A. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* (Netherlands). 120:881-902.
<https://doi.org/10.1007/s11240-014-0664-4>
 33. GONZÁLEZ, I.; ARIAS, Y.; PETEIRA, B. 2012. General aspects of the interaction *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*-tomato. *Protección vegetal*. (La Habana). 27(1):1-7.
 34. GORDON, T. 2017. *Fusarium oxysporum* and the Fusarium wilt syndrome. *Annual Rev. Phytopathology*. (United States). 55:23-39.
<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095919>
 35. GUAN, W.; ZHAO, X.; HASSELL, R.; THIES, J. 2012. Defense mechanisms involved in disease resistance of grafted vegetables. *HortScience*. (United States). 47(2):164-170.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.2.164>
 36. GURURANI, M.A.; VENKATESH, J.; UPADHYAYA, C.P.; NOOKARAJU, A.; PANDEY, S.K.; PARK, S.W. 2012. Plant disease resistance genes: current status and future directions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. (United States). 78:51-65.
<https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2012.01.002>
 37. HAMEL, L.P.; NICOLE, M.C.; DUPLESSIS, S.; ELLIS, B.E. 2012. Mitogen-activated protein kinase signaling in plant-interacting fungi: Distinct messages from conserved messengers. *Plant Cell*. (United States). 24(4):1327-1351.
<https://doi.org/10.1105/tpc.112.096156>
 38. HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, R.; LÓPEZ-BENÍTEZ, A.; BORREGO-ESCALANTE, F.; ESPINOZA-VELÁZQUEZ, J.; SÁNCHEZ-ASPEYTI, D.; MALDONADO-MENDOZA, I.E.; LÓPEZ-OCHOA, L.A. 2014. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato farms in San Luis Potosí. *Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(7):1169-1178.
 39. HERRERA, H.; HURTADO, A.; CEBALLOS, N. 2015. Technical and economic study of the elite cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) under semi-controlled conditions. *Rev. Col. ciencias hortícolas*. 9(2):290-300.
<http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4185>
 40. IGNJATOV, M.; MILOSEVIC, D.; NIKOLIC, Z.; GVOZDANOVIC-VARGA, J.; JOVICIC, D.; ZDJELAR, G. 2012. *Fusarium oxysporum* as causal agent of tomato wilt and fruit rot. *Pesticidi i Fitomedicina* (Serbia). 27(1):25-31.
<https://doi.org/10.2298/PIF1201025I>
 41. INAMI, K.; KASHIWA, T.; KAWABE, M.; ONOKUBO-OKABE, A.; ISHIKAWA, N.; PÉREZ, E.R.; ARIE, T. 2014. The tomato wilt fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* shares common ancestors with nonpathogenic *F. oxysporum* isolated from wild tomatoes in the Peruvian Andes. *Microbes and Environments*. (Japan). 29(2):200-210.
<https://dx.doi.org/10.1264/jsme2.ME13184>
 42. JIMÉNEZ-FERNÁNDEZ, D.; LANDA, B.B.; KANG, S.; JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M.; NAVAS-CORTÉS, J.A. 2013. Quantitative and microscopic assessment of compatible and incompatible interactions between chickpea cultivars

- and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* races. Plos One. (United States). 8(4):e61360.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061360>
43. JONES, J.D.G.; DANGL, J.L. 2006. The plant immune system. Nature. (United Kingdom). 444(7117):323-329.
<https://doi.org/10.1038/nature05286>
44. KANT, P.; REINPRECHT, Y.; MARTIN, C.J.; ISLAM, R.; PAULS, K.P. 2011. Disease resistance/ Pathology/*Fusarium*. Comprehensive Biotechnology (Canada). 4:729-743.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00263-4>
45. KHAN, N.; MAYMON, M.; HIRSCH, A.M. 2017. Combating *Fusarium* infection using Bacillus- based antimicrobials. Microorganisms. (Switzerland). 5(4):75.
<https://dx.doi.org/10.3390/microorganisms5040075>
46. KOYYAPPURATH, S. 2015. Histological and molecular approaches for resistance to *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-vanillae*, causal agent of root and stem rot in *Vanilla* spp. (*Orchidaceae*). Université de la Réunion (France). 227p.
47. KOYYAPPURATH, S.; CONÉJÉRO, G.; DIJOUX, J.B.; LAPEYRE-MONTÈS, F.; JADE, K.; CHIROLEU, F.; GRISONI, M. 2015. Differential responses of vanilla accessions to root rot and colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-vanillae*. Frontiers in Plant Science. (Switzerland). 6:1125.
<https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.01125>
48. LESLIE, J.F.; SUMMERELL, B.A. 2006. The *Fusarium* laboratory manual. Blackwell Pub (Ames, IA, USA). 369p.
49. LI, B.; MENG, X.; SHAN, L.; HE, P. 2016. Transcriptional regulation of pattern-triggered immunity in plants. Cell Host and Microbe. (United States). 19(5):641-650.
<https://doi.org/10.1016/j.chom.2016.04.011>
50. LI, J.; FOKKENS, L.; CONNEELY, L.J.; REP, M. 2020a. Partial pathogenicity chromosomes in *Fusarium oxysporum* are sufficient to cause disease and can be horizontally transferred. Environmental microbiology (United Kingdom). 22(12):4985-5004.
<https://doi.org/10.1111/1462-2920.15095>
51. LI, J.; GAO, M.; GABRIEL, D.W.; LIANG, W.; SONG, L. 2020b. Secretome-Wide Analysis of Lysine Acetylation in *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* Provides Novel Insights Into Infection-Related Proteins. Frontiers in microbiology. (Switzerland). 11:559440.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.559440>
52. MA, L.J.; GEISER, D.M.; PROCTOR, R.H.; ROONEY, A.P.; O'DONNELL, K.; TRAIL, F.; GARDINER, D.M.; MANNERS, J.M.; KAZAN, K. 2013. *Fusarium* pathogenomics. Annual Review of Microbiology. (United States). 67(1):399-416.
<https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
53. MCGOVERN, R.J. 2015. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. Crop Protection. 73:78-92.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.021>
54. MENG, X.; ZHANG, S. 2013. MAPK cascades in plant disease resistance signaling. Annual Review of Phytopathology. (United States). 51:245-266.
<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102314>
55. MORALES, N.; ESPINOSA, G.; MORALES, A.; SÁNCHEZ, B.; JIMÉNEZ, M.; MILIAN-GARCÍA, R. 2014. Morphological characterization and evaluation of resistance to *Fusarium oxysporum* in wild species of the genus *Solanum* section *lycopersicon*. Rev. Col. Biotecnología. 16(1):62-73.
<http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n1.38259>
56. MURILLO-GÓMEZ, P.; HOYOS, R.; CHAVARRIAGA, P. 2017. Organogenesis *in-vitro* using three tissue types of tree tomato [*Solanum betaceum* (Cav.)]. Agronomía Colombiana. 35(1):5-11.
<https://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n1.61330>
57. MURUGAN, L.; KRISHNAN, N.; VENKATARAVANAPPA, V.; SAHA, S.; MISHRA, A.K.; SHARMA, B.K.; RAI, A.B. 2020. Molecular characterization and race identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* infecting tomato in India. Biotech. 10(11).
<https://doi.org/10.1007/s13205-020-02475-z>
58. MUTHAMILARASAN, M.; PRASAD, M. 2013. Plant innate immunity: an updated insight into defense mechanism. J. Biosciences. (India). 38(2):433-449.
<https://doi.org/10.1007/s12038-013-9302-2>
59. OKUNGBOWA, F.I.; SHITTU, H.O. 2014. *Fusarium* wilts: an overview. Environmental Research J. 6(2):83-102.
60. ORTIZ, E.; CRUZ, M.; MELGAREJO, L.M.; MARQUÍNEZ, X.; HOYOS-CARVAJAL, L. 2014. Histopathological features of infections caused by *Fusarium oxysporum* and *F. solani* in purple passionfruit plants (*Passiflora edulis* Sims). Summa Phytopathologica. (Brazil). 40(2):134-140.
<https://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/1910>
61. PALACIO, M.N.M.; LÓPEZ, G.E.; ASTUDILLO, Á.R.M.; MASACHE, B.R.S.; CASTILLO, Á.M.J.; MILIÁN-GARCÍA, Y. 2014. Caracterización morfológica y evaluación de resistencia a *Fusarium oxysporum* en especies silvestres del género *Solanum* sección *Lycopersicon*. Rev. Colombiana de Biotecnología. 16(1):62-73.

62. RAMPERSAD, S.N. 2020. Pathogenomics and Management of *Fusarium* Diseases in Plants. *Pathogens*. (Switzerland). 9(340):21.
<http://dx.doi.org/10.3390/pathogens9050340>
63. RANJAN, A.; ICHIHASHI, Y.; SINHA, N.R. 2012. The tomato genome: Implications for plant breeding, genomics and evolution. *Genome Biology*. (United Kingdom). 13(8):1-8.
<https://doi.org/10.1186/gb-2012-13-8-167>
64. RODRÍGUEZ-ORTEGA, W.M.; MARTÍNEZ, V.; NIEVES, M.; SIMÓN, I.; LIDÓN, V.; FERNÁNDEZ-ZAPATA, J.C.; MARTÍNEZ, N.J.J.; CÁMARA-Z, J.; GARCIA-SÁNCHEZ, F. 2019. Agricultural and physiological responses of tomato plants grown in different soilless culture systems with saline water under greenhouse conditions. *Scientific Reports*. (United Kingdom). 9(6733):1-13.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-42805-7>
65. SEGORBE, D.; DI PIETRO, A.; PÉREZ-NADALES, E.; TURRÀ, D. 2017. Three *Fusarium oxysporum* mitogen-activated protein kinases (MAPKs) have distinct and complementary roles in stress adaptation and cross-kingdom pathogenicity. *Molecular Plant Pathology*. (United Kingdom). 18(7):912-924.
<https://doi.org/10.1111/mpp.12446>
66. SELIM, E.M.; EL-GAMMAL, N.A. 2015. Role of fusaric acid mycotoxin in pathogenesis process of tomato wilt disease caused by *Fusarium oxysporum*. *Bioprocessing & Biotechniques*. (USA). 5(10):255.
<http://dx.doi.org/10.4172/2155-9821.1000255>
67. SINGH, V.K.; SINGH, H.B.; UPADHYAY, R.S. 2017. Role of fusaric acid in the development of 'Fusarium wilt' symptoms in tomato: physiological, biochemical and proteomic perspectives. *Plant Physiology and Biochemistry*. (Netherlands). 118:320-332.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.028>
68. SRINIVAS, C.; NIRMALA, D.; NARASIMHA MURTHY, K.; MOHAN, C.D.; LAKSHMEESHA, T.R.; SINGH, B.; KALAGATUR, N.K.; NIRANJANA, S.R.; HASHEM, A.; ALQARAWI, A.A.; TABASSUM, B.; ABD_ALLAH, E.F.; CHANDRA NAYAKA, S.; SRIVASTAVA, R.K. 2019. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity— A review. *Saudi J. Biological Sciences*. 26(7):1315-1324.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.002>
69. SUTHERLAND, R.; VILJOEN, A.; MYBURG, A.A.; VAN DEN BERG, N. 2013. Pathogenicity associated genes in *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 4. *South African J. of Science*. 109(5-6):1-10
<http://dx.doi.org/10.1590/sajs.2013/20120023>
70. TAMPOARE, G.B.; MILLIAR, G.; ADAZABRA, A.N. 2012. Analyzing the economic benefit of fresh tomato production at the Tono irrigation scheme in upper east region of Ghana. *Elixir Agriculture*. (Poland). 3(13):14613-14617.
71. TRONG, L.V.; TUONG, L.Q.; THINH, B.B.; KHOI, N.T.; TRONG, V.T. 2019. Physiological and biochemical changes in tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) during growth and ripening cultivated in Vietnam. *Bioscience Research*. (Pakistan). 16(2):1736-1744.
72. VAN DER DOES, H.C.; CONSTANTIN, M.E.; HOUTERMAN, P.M.; TAKKEN, F.L.; CORNELISSEN, B.J.; HARING, M.A.; VAN DER BURG, H.A.; REP, M. 2019. *Fusarium oxysporum* colonizes the stem of resistant tomato plants, the extent varying with the R-gene present. *European J. Plant Pathology*. 154:55-65.
<https://doi.org/10.1007/s10658-018-1596-3>
73. WANG, B.; YU, H.; JIA, Y.; DONG, Q.; STEINBERG, C.; ALABOUVETTE, C.; EDEL-HERMANN, V.; KISTLER, C.; YE, K.; MA, L.J.; GUO, L. 2020. Chromosome-Scale Genome Assembly of *Fusarium oxysporum* Strain Fo47, a Fungal Endophyte and Biocontrol Agent. *Mol. Plant Microbe Interact*. (United States). 33(9):1108-1111.
<https://doi.org/10.1094/mpmi-05-20-0116-a>
74. YADETA, K.; THOMMA, B.P.H. 2013. The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. *Frontiers in Plant Science*. (Switzerland). 4(97):1-12.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00097>



Caracterización de la comunidad de malezas y su diversidad en una modelación estadística en un cultivo de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch.)

Characterization of the weed community and its diversity in a statistical modeling in peach (*Prunus persica* (L.) Batsch.) orchard

Oscar Eduardo Moreno-Preciado¹; Helber Enrique Balaguera-López²

¹Ing. Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: oscar.morenopreciado@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-8796-6307>

²Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D., Profesor asociado Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía. Bogotá, Colombia; e-mail: hebalagueral@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-3133-0355>

Cómo citar: Moreno-Preciado, O.E.; Balaguera-López, H.E. 2021. Caracterización de la comunidad de malezas y su diversidad en una modelación estadística en un cultivo de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch.). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1734. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1734>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: octubre 12 de 2020 **Aceptado:** enero 21 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

En los frutales, incluido el duraznero, las malezas son uno de los principales problemas que afectan la productividad y la calidad y se considera necesario conocer aspectos de la biología y la ecología de estas especies, para realizar un correcto manejo integral. El objetivo de este estudio fue realizar la caracterización de las especies de malezas presentes en el cultivo de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch), determinando los índices de diversidad y el uso de un modelo geoespacial, para observar su distribución en campo. Se seleccionó un cultivo comercial de 4,5ha de duraznero variedad Robidoux, se muestrearon 15 puntos aleatoriamente, mediante un cuadro de 0,25m²; con las especies de malezas presentes en cada cuadro, se determinaron los índices de valor de importancia (IVI), de dominancia (1-D), Shannon-Wiener (H') y Pielou (E). A estos índices, se les realizó modelación de la variabilidad espacial, mediante

interpolación polinomial local. La representatividad relativa con los estimadores Chao 2 y Jackknife 1 confirmó que se documentó el 79 y 72% de las especies presentes, respectivamente. Se identificaron 12 especies, de las cuales, *Oxalis corniculata*, *Modiola caroliniana*, *Lolium temulentum* y *Fuertesimalva limensis* presentaron el mayor IVI y estas especies, se consideran como las de mayor interferencia en el cultivo. Se encontró que la diversidad fue baja, no es equitativa y presenta dominancia de *O. corniculata* y *M. caroliniana*. La modelación geoespacial de los índices de diversidad reportó una variación importante en todo el cultivo. Esta información, se convierte en una herramienta útil para el manejo integral de malezas en el cultivo de duraznero.

Palabras clave: Competencia; Arvenses; Shannon-Wiener; Caducifolio.

ABSTRACT

In fruit trees, including peach trees, weeds are one of the main problems that affect productivity and quality, and it is considered necessary to know aspects of the biology and ecology of these species to carry out a correct integral management. The objective of the study was to characterize the weed species present in the peach orchard (*Prunus persica* (L.) Batsch), by determining the diversity indices and using a geospatial model of their distribution in the field. A commercial Robidoux variety of 4.5ha peach orchard was selected, where 15 randomly distributed points were sampled through a 0.25m² square, with the weed species present in each square, the index of importance value (IVI), dominance index (1-D), Shannon-Wiener (H') and Pielou (E) were determined. These indices were modeled for spatial variability through local polynomial interpolation. The relative representativeness with the Chao 2 and Jackknife 1 estimators confirmed that 79% and 72% of the weed species were documented, respectively. Twelve species were identified, of which *Oxalis corniculata*, *Modiola caroliniana*, *Lolium temulentum*, and *Fuertesimalba limensis* presented the highest IVI, and these species are considered as the ones with the greatest interference in crop. The diversity was found to be low, not equitable, and dominated by *O. corniculata* and *M. caroliniana*. The geospatial modeling of the diversity indices reported an important variation throughout the crop. This information becomes a useful tool for integral management of weeds in the peach orchards.

Keywords: Competition; Weeds; Shannon-Wiener; Deciduous.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch, familia Rosaceae], es el cultivo caducifolio de mayor importancia (Pinzón *et al.* 2014), representando, para el 2018, el 31% (2.501,62ha) del área cultivada y el 31% (34.738,09t) también de la producción del total de los caducifolios producidos en el país (Agronet, 2018). Boyacá es el departamento con mayor producción (Patiño & Miranda, 2013), registrando un valor de 14.255,86t, en 925,60ha (Agronet, 2018). En el país, el duraznero se cultiva en zonas con temperaturas promedio de 13 a 19°C, entre los 1.800 y 2.800m s.n.m., regímenes de lluvia monomodales y bimodales y brillo solar promedio de 1.400 horas/año (Pinzón *et al.* 2014).

Actualmente, el cultivo de duraznero presenta grandes retos, que están relacionados con el cambio climático, tecnologías pre y poscosecha, con la adaptación a diferentes mercados y la necesidad de reducir el uso de insumos (Fachinello *et al.* 2011; Patiño & Miranda, 2013), incluidos los herbicidas, que en un plan manejo integrado de malezas deben ser la última opción, respecto a métodos alternativos de control (culturales, mecánicos, biotecnológico y biológico) (Marquez, 2019). Se conoce que, en el manejo del duraznero, el 88,3% de los productores colombianos realizan control de malezas, del cual, el 25,5% lo hace únicamente de forma manual o mecánica (corte con guadaña); el 35,7%, de forma química con herbicidas a base de glifosato y paraquat y un 38,8% de los

productores combinan los controles manuales o mecánicos con el control químico (Ávila *et al.* 2013).

Para disminuir el efecto negativo de las malezas y para hacer un uso más eficiente de los herbicidas de síntesis química, con menor impacto ambiental y lograr mayor rentabilidad del sistema de producción, se requiere el uso del manejo integral de malezas (MIM). Este manejo es entendido como un sistema de toma de decisiones para la selección y uso de las prácticas de control simples o armónicamente coordinadas de estrategias de manejo; se basa en el costo-beneficio del impacto producido, social y medio ambientalmente (Zimdahl, 2018). El MIM, se debe basar, de forma primordial, en el conocimiento de la biología y la ecología de las malezas dentro del cultivo, tal como lo reportan Ramírez *et al.* (2015) y Quintero-Pertuz *et al.* (2020); sin embargo, en el cultivo de duraznero del trópico alto colombiano, se desconoce gran parte de estos aspectos fundamentales.

De acuerdo con Storkey & Neve (2018), realizar estudios de caracterización de la comunidad de malezas es importante, porque brinda información para el manejo en el cultivo. Estos mismos autores mencionan que una comunidad de malezas más diversa será menos competitiva, por tanto, la diversidad taxonómica de las malezas, se ha propuesto como un indicador de la sostenibilidad general de un cultivo (Storkey & Neve, 2018). De esta manera, los inventarios florísticos de malezas permiten comparar la diversidad entre dos o más comunidades de diferentes hábitats, o un mismo hábitat a lo largo del tiempo, o gradientes ambientales naturales y antrópicos (Campo & Duval, 2014). Las malezas, se encuentran como agrupaciones de varias especies, de las cuales, algunas son más competitivas que otras (Zimdahl, 2018). Su clasificación permite identificar las familias y las especies más limitantes en los cultivos, conocimiento que facilita crear estrategias para determinar el momento en que son más vulnerables y aplicar el manejo más eficiente (Cobb & Reade, 2010).

Para realizar el plan de manejo integrado, se debe usar, como herramienta, los índices de diversidad. Los más usados en malherbología son: el índice de valor de importancia (IVI), que permiten tener una visión, tanto de la composición como de la distribución de las especies de plantas en una comunidad dada, al asignar una categoría a cada especie con relación a su importancia relativa (Tauseef *et al.* 2012; Cardenal *et al.* 2016). También están los índices diversidad, que combinan la evaluación de dos aspectos separados importantes, que son la riqueza e igualdad (Nagendra, 2002); los más comúnmente usados son: el índice de equidad de Pielou (E), de Shannon-Wiener (H') y el índice de dominancia Simpson (D) (Juárez *et al.* 2007). Estos últimos son medidas que se basan en la composición florística y evalúan qué tan homogénea o biodiversa es una comunidad (Cardenal *et al.* 2016). Igualmente, se incluye la curva de acumulación de especies (CAE), método, con el cual, se determina la cantidad total de especies presentes en el estudio, a medida que se agregan más unidades de muestreo adicionales al conjunto de muestras reunidas anteriormente (Rodríguez, 2013) y, de esta forma, calcular el número de muestreo faltantes, para obtener un muestreo fiable. También es útil modelar

estos índices geoespacialmente, para generar una recomendación de manejo mucho más precisa y objetiva. Al respecto, varios estudios mencionan la importancia de este tipo de metodologías en el MIM (Calha *et al.* 2014; Somervill *et al.* 2020).

En Colombia, se han realizado estudios importantes de reconocimiento de malezas asociados a cultivos de arroz (Fuentes *et al.* 2006; Ramírez *et al.* 2015), espinaca (Rodríguez *et al.* 2008), banano (Quintero Pertuz *et al.* 2020), cítricos, guayaba, maracuyá y piña (Hoyos *et al.* 2015), entre otros, y en frutales de clima frío, como la uchuva (Plaza & Pedraza, 2007); sin embargo, en el cultivo de duraznero, no existe este tipo de reportes.

Por lo anterior, el estudio tuvo como objetivo realizar la caracterización de las especies de malezas presentes en el cultivo de duraznero, determinando los índices de valor de importancia, dominancia Simpson, Shannon-Wiener, equidad Pielou y el uso de un modelo geoespacial, para observar su distribución en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se realizó entre julio y septiembre del 2019, en un cultivo comercial de duraznero (*P. persica* L.) variedad Rubidoux, de 4,5ha, perteneciente a la granja experimental “Tunguavita”, de la Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia (UPTC), municipio de Paipa (Boyacá - Colombia), ubicada a latitud de 5° 45' Norte y longitud 73° 45' Oeste y a una altitud de 2.525m s.n.m. La zona presenta un régimen pluvial bimodal, con un promedio de 881mm/año y temperatura media de 14°C, con máximos de 20-22°C y mínimos en época seca, de menos de 5°C, humedad relativa promedio de 70%, en época seca y 78%, de lluvias (IDEAM, 2012).

El muestreo, se realizó usando una imagen satelital DEM reciente (abril-2019) del cultivo, del satélite ALOS, por su resolución espacial de 15m. Luego, se hizo una rejilla de 0,25m², a partir de la cual, se seleccionaron 15 puntos distribuidos aleatoriamente, como se muestra en la figura 1, siguiendo las recomendaciones de Jamaica & Plaza (2014). Las coordenadas, se importaron a un GPS, en un archivo KML, para realizar la ubicación de cada punto en campo; posteriormente, en cada punto, se lanzó al azar un marco de PVC de 0,25m², teniendo la precaución de que el cuadro no cayera sobre los árboles de duraznero. Con los resultados del muestreo, se calcularon los estimadores de riqueza y se realizó la curva de acumulación de especie, para verificar la calidad del muestreo y calcular los muestreos extra necesarios, para conseguir un catálogo fiable, el cual, se confirmó usando un método estadístico no paramétrico, conocido como estimadores de riqueza, específicamente, los estimadores Chao2 y Jackknife1 (Gonzales *et al.* 2010).

Por cada punto muestreado, se identificaron las especies de malezas presentes, usando las guías de Gámez *et al.* (2018) y Fuentes *et al.* (2011). También, se determinó el número de individuos por especies (abundancia) y se hizo un registro fotográfico de cada punto; posteriormente, en el software Photoshop, se corrigió la perspectiva de la imagen; con la herramienta “medición”, se calculó, por medio de polígonos, el área de cobertura de cada especie identificada,

tomando como referencia, un lado del recuadro de muestreo, que mide 50cm.

Con los datos de abundancia por punto de muestreo, se determinaron los estimadores de riqueza Chao2 y Jackknife1 y se suavizaron los valores de acumulación de especies por número de muestras, para graficar la curva de acumulación de especies (CUE), mediante el programa Estimates 9.1. Con los estimadores de riqueza calculados, se estimó la representatividad relativa (Rr) del catálogo, de acuerdo con Magurran (2004):

$$Rr = \frac{\text{Valor de estimador}}{S} * 100$$

Donde, S= total de especies encontradas en el muestreo

El índice de valor de importancia (IVI) fue calculado con los parámetros de densidad absoluta (Da), densidad relativa (Dr), frecuencia absoluta (Fa), frecuencia relativa (Fr), cobertura absoluta (Ca), cobertura relativa (Cr) por especie, de acuerdo con Prates *et al.* (2019) y Ramírez *et al.* (2015).

$$IVI = Dr + Fr + Cr$$

$$Da = \frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{número de muestras totales}}$$

$$Dr = \frac{\text{densidad absoluta por especie}}{\text{densidad total de todas las especies}}$$

$$Fa = \frac{\text{Frecuencia por especie}}{\text{número total de sitios}}$$

$$Fr = \frac{\text{Frecuencia absoluta por especie}}{\text{Frecuencia total de todas las especies}}$$

$$Ca = \frac{\text{Área ocupada por especie}}{\text{Área total de muestreo}}$$

$$Cr = \frac{\text{cobertura absoluta por especie}}{\text{cobertura absoluta de todas las especies}}$$

Los índices de diversidad Alfa (α): índice dominancia Simpson (D), índice Shannon-Wiener (H') e índice de equidad Pielou, se calcularon con las siguientes fórmulas (Rodríguez, 2013):

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

$$H' = - \sum [p_i (\ln p_i)]$$

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

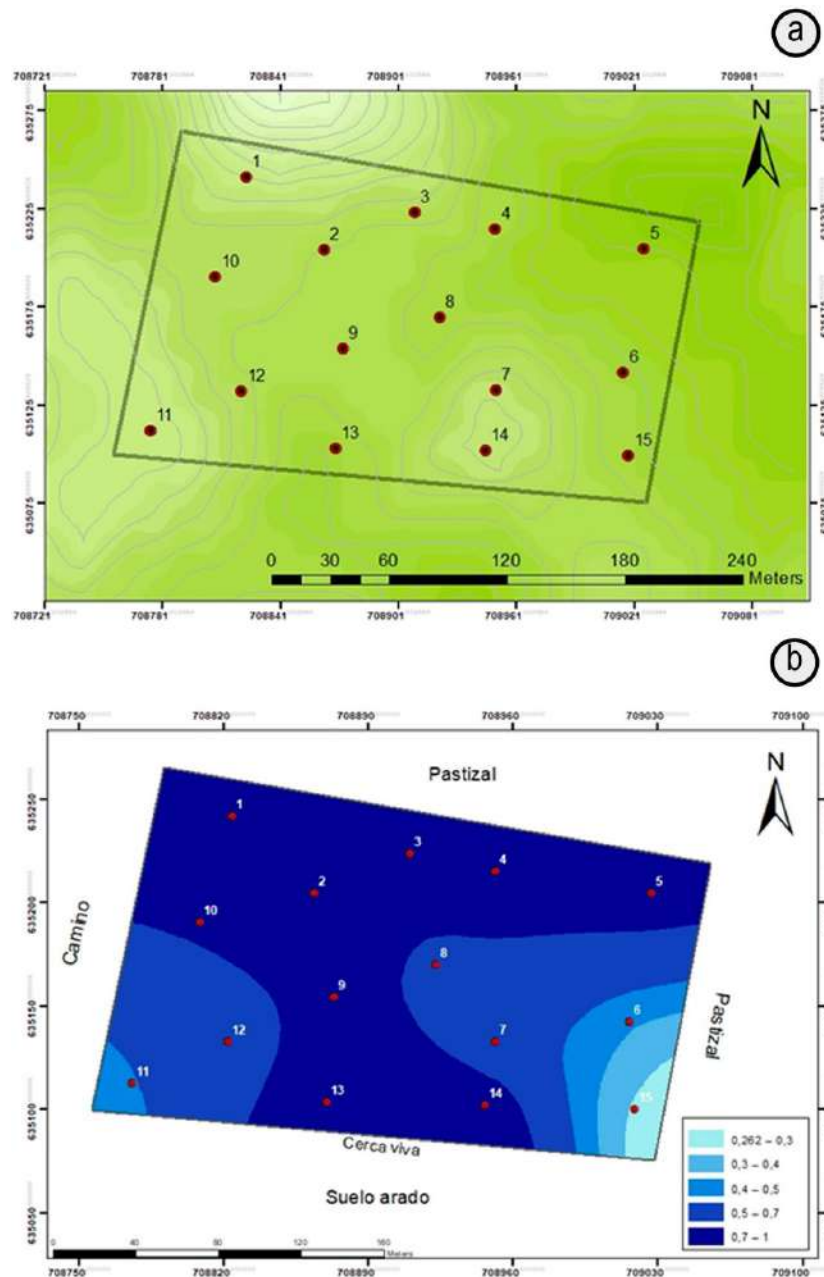


Figura 1. a. distribución geoespacial de puntos de muestreo en la zona de estudio; b. modelación por interpolación polinomial local de la diversidad dominancia, donde: 0 representa alta dominancia y 1 baja dominancia.

Donde, n_i = número de individuos de las especies i , N = número total de individuos de todas las especies, P_i = abundancia proporcional de una especie dada, E = medida de uniformidad Pielou, H' = diversidad Shannon-Wiener calculada, S = número total de especies.

Para observar el comportamiento geoespacial de los índices de diversidad, se modelaron en ArcMap10,8, usando los valores individuales de los 15 puntos de muestreo obtenidos en el software Past3, con el método de interpolación polinomial local. Este método, se basa en un diagrama de dispersión, en la que la verdadera función presenta uno o más picos o valles (mínimos o máximos relativos),

dando una aproximación satisfactoria a la función de regresión (Devore, 2012). En los mapas obtenidos, se asignaron tonalidades oscuras a las zonas de baja diversidad y claras, a las de alta diversidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La representatividad relativa con los estimadores Chao2 y Jackknife 1 confirmó que se documentó el 79 y 72% de las especies presentes, respectivamente. Según Magurran (2004), una representatividad por encima del 70% es válida para hacer inferencia de comunidades, donde las especies faltantes se consideran raras o de poca abundancia,

confirmando que no es requerido realizar más muestreos. Las especies estimadas fueron 15, para Chao 2 y 17, para Jacknife 1. Cuando se hizo la CAE basados en estos mismos estimadores, se obtuvo que es suficiente con 10 o 13 muestreos para Chao2 y Jacknife1, respectivamente, para lograr un catálogo fiable (Figura 2), mientras que para un catálogo completo habrían sido necesarios 22 y 28 muestreos, respectivamente.

Se identificaron 12 especies pertenecientes a 8 familias y 12 géneros, agrupados en 10 dicotiledóneas y 2 monocotiledóneas, denotando la predominancia de especies dicotiledóneas (Tabla 1). Es importante indicar que 9 especies son de ciclo anual (75%) y 3 de ciclo perenne (25%), siendo *Oxalis corniculata* L. Small, la especie que presentó mayor densidad, con 1.358 individuos (68%), seguida por *Modiola caroliniana*, 226 (11%) y *Fuertesimalva limensis*, 186 (9%) (Tabla 1). De

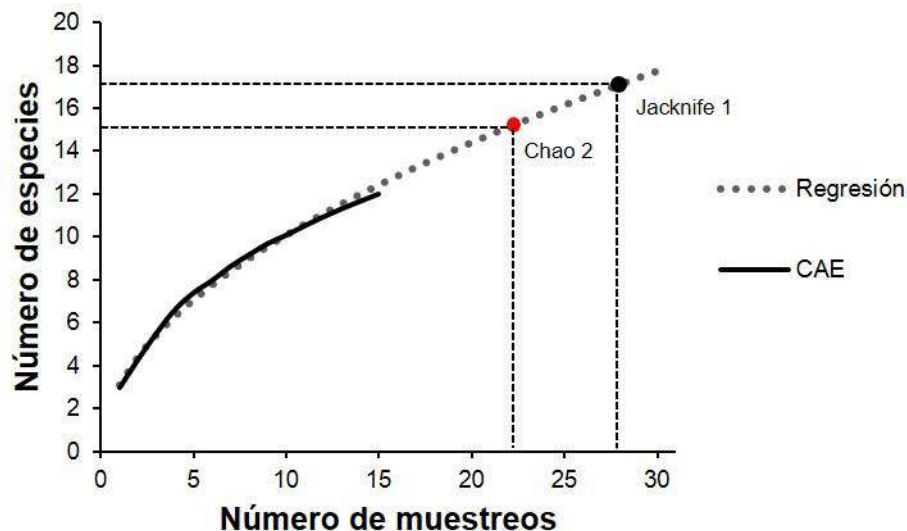


Figura 2. Curva de acumulación de especies (CAE): proyección número de muestreos vs riqueza estimada Chao 2 y Jacknife 1.

las 8 familias identificadas todas son consideradas de importancia económica, principalmente, porque afectan el rendimiento de los cultivos (Duke, 2018).

La familia Asteraceae (3 géneros/3 especies) presentó la mayor cantidad de especies, seguida por la familia Malvaceae (2/2) y Poaceae (2/2); estas tres familias abarcaron el 58% del total de las especies encontradas (Tabla 1). Al respecto, Plaza & Pedraza (2007), en cultivos de uchuva de Boyacá y Cundinamarca, también reportan a estas familias.

Las especies más frecuentes fueron *O. corniculata* (33%), seguida de *L. temulentum* (16%) y *S. oleraceus* (12%); estas tres especies presentaron el 61% de la cobertura total. *O. corniculata* también mostró la mayor cobertura y dominancia, seguida de *M. caroliniana* (Tabla 2). En *B. rapa*, se observó baja densidad (0,7%) y frecuencia (2,3%), pero una cobertura de 9%, denotando su alta competencia por el espacio (Zimdahl, 2018).

El análisis del IVI indicó que solo 4 especies abarcaron el 80% del índice: *O. corniculata* (44%), seguido por *M. caroliniana* (17%), *L. temulentum* (10%) y *F. limensis* (9%), encontrándose que, a excepción de *L. temulentum*, que presenta ciclo anual, *O. corniculata* es perenne (Tibuhwa, 2016) y *M. caroliniana* y *F. limensis* son anuales-perenne

(Gámez *et al.* 2018); estas especies pueden ser las que tendrían más habilidad para causar daño mediante interferencia (Concenço *et al.* 2019). El índice de dominancia Simpson (D) fue de 0,511, lo que indica una dominancia media. Este resultado difiere de Vera *et al.* (2018), quienes encontraron valores de 0,93, en Musáceas, valor que indica alta dominancia de especies. Cardenal *et al.* (2016) reportan índices de 0,27 a 1 en el banco activo de semillas, en un cultivo de zanahoria. Además, calculando el inverso del índice 1/D (1,96), se determinó que dos especies presentaron dominancia en el cultivo, de acuerdo con el valor IVI (Tabla 2). Estas especies fueron *O. corniculata* (valor IVI de 0,44), especie hospedera de diversas plagas y enfermedades que pueden afectar al cultivo, como *Botrytis* sp. (Castro *et al.* 2019) y *M. caroliniana* (0,17), que pese a ser hospedera de enfermedades (Albu *et al.* 2019; Aime & Abbasi, 2018), no hay reporte de que afecte al cultivo de duraznero; sin embargo, *M. caroliniana* puede causar dificultad en labores culturales, hay posibilidad de que afecte el sistema de fertirriego, principalmente, porque puede crecer en la zona de los emisores y es una planta muy ramificada, que presenta tallos lignificados (Fuentes *et al.* 2011). Además, se dificulta su control en etapas avanzadas de desarrollo.

El índice Pielou, valor 0,460, determinó que la comunidad no es equitativa, es poco diversa, acumulando el 94% de los individuos colectados, en solo 4 especies: *O. corniculata* (1.358 individuos, que

Tabla 1. Clasificación de especies encontradas en el muestreo en el cultivo de duraznero. Subclase D: Dicotiledónea, M: Monocotiledonea; Ciclo A: Anual, P: Perenne.

Subclase	Familia	Especie	Nombre común	Ciclo
D	Asteraceae	<i>Senecio vulgaris</i> L.	Cineraria, Yuyito, Senecio	A
		<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Cerraja, Canayuyo, Lechosa	A
		<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg	Diente de león	P
	Malvaceae	<i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell	Malva blanca	A - P
		<i>Modiola caroliniana</i> (L.) G. Don	Malva, Malva tendida	A - P
	Brassicaceae	<i>Brassica rapa</i> L.	Nabo amarillo	A
	Caryophyllaceae	<i>Spergula arvensis</i> L.	Cilantillo	A
	Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> (L.) Small	Trebol agrio	P
	Plantaginaceae	<i>Veronica persica</i> Poir	Veronica, Azulita, Golondrina	A
Poligonaceae	<i>Polygonum segetum</i> Kunth	Barbasco, Gualola	P	
M	Poaceae	<i>Lolium temulentum</i> L.	Vallico, Ray grass	A
		<i>Poa annua</i> L.	Pasto gallina	A

Tabla 2. Índice de Valor de Importación (IVI). Do: Dominancia, Fr: frecuencia, Co: Cobertura de las especies de malezas encontradas en el cultivo de duraznero.

Especies	Valor absoluto			Valor relativo			IVI (%)
	Do	Fr	Co	Do	Fr	Co	
<i>Oxalis corniculata</i>	1358	0,93	0,17	0,68	0,33	0,32	44
<i>Modiola caroliniana</i>	226	0,27	0,15	0,11	0,09	0,29	17
<i>Lolium temulentum</i>	106	0,47	0,04	0,05	0,16	0,08	10
<i>Fuertesimalva limensis</i>	186	0,27	0,04	0,09	0,09	0,07	9
<i>Sonchus oleraceus</i>	18	0,33	0,05	0,01	0,12	0,09	7
<i>Brassica rapa</i>	13	0,07	0,05	0,01	0,02	0,09	4
<i>Polygonum segetum</i>	5	0,07	0,03	0,00	0,02	0,05	2
<i>Senecio vulgaris</i>	4	0,13	0,01	0,00	0,05	0,01	2
<i>Spergula arvensis</i>	62	0,07	0,00	0,03	0,02	0,00	2
<i>Taraxacum officinale</i>	5	0,13	0,00	0,00	0,05	0,00	2
<i>Veronica persica</i>	11	0,07	0,00	0,01	0,02	0,00	1
<i>Poa annua</i>	1	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00	1

representan el 68% de la muestra), *M. caroliniana* (226), *F. limensis* (186) y *L. temulentum* (106). El índice Shannon-Wiener (1,14) muestra una baja diversidad, denotando la presencia de pocas especies y, en algunas de ellas, un alto número de individuos, como en el caso de *O. corniculata* (Tabla 3); por el contrario, se reportan índices mayores, que van desde 2,3 a 2,7 en las comunidades de malezas en cultivos de arroz (Ramírez *et al.* 2015) y en Musáceas, con un índice de 3,22 (Vera *et al.* 2018) e indican que son comunidades más diversas y que presentan más especies por área.

Se evidencia en los índices hallados en el cultivo de duraznero que presenta una baja diversidad y dominancia media, permitiendo la implementación adecuada de métodos de control no químicos, como el mecánico, cultural, preventivo, alelopático o biológico (Jabran & Chauhan, 2018), basado en la biología de las especies limitantes.

El modelo de los índices permitió detallar la distribución geoespacial de las características de la diversidad (dominancia, equidad de individuos y abundancia de especies). El modelo de dominancia

toma valores de 0-1 representados en tonalidades claras a oscuras (Figura 1B), donde el valor de 0 representa cuando hay tantas especies diferentes como individuos y 1, cuando todos los individuos pertenecen a la misma especie (Rodríguez, 2013). Este modelo mostró la presencia de una amplia zona, donde se presenta dominancia de una sola especie (azul oscuro). Con base en el IVI se puede determinar que las dos especies más dominantes son: *O. corniculata* y *M. carolinata*, se pueden hallar en esta zona. En las zonas con menor dominancia (azul claro), se muestra un claro efecto de borde hacia la zona donde el suelo esta desprovisto de cobertura vegetal; sin embargo, las especies presentes en estos puntos con menor dominancia (punto 11, 15 y 6) (Tabla 3), se identificaron las especies *O. corniculata*, *L. temulentum*, *B. rapa*, *F. limensis*, *T. officinale*, que pueden llegar a ser limitantes agronómicamente, siendo de especial interés la caracterización de estos puntos, para iniciar un plan control preventivo.

La modelación de Shannon-Wiener (Figura 3A) mostró cómo el número de especies presentes por área disminuye en dirección sur-norte. Este comportamiento, también se observó en el modelo de la equidad (Figura 3B), donde el número de individuos por especies van siendo desiguales a medida que se distancian de los puntos de muestreo 11 y 15, los cuales, presentaron la mayor diversidad en distribución y abundancia de especies. Las zonas donde se encuentran estos puntos se pueden determinar como importantes entradas para el banco de semilla del cultivo que, pese a presentar una mayor diversidad, en este caso, dada por especies que pueden presentar una amenaza, especialmente, en suelos poco perturbados (Zimdahl, 2018), como es el caso de los frutales, se puede deber, a la abundancia de especies que se desarrollan en estos suelos trabajados,

que aumentan la oferta de semillas que pueden ser transportadas por el viento, agua o mecánicamente por el hombre, maquinaria y herramientas o animales (Duke, 2018); por esta razón, es importante el manejo de estas zonas para controlar su propagación y permitir el desarrollo de especies de interés agronómico.

El estudio mostró que de doce especies identificadas (88% dicotiledóneas y 12% monocotiledóneas) (Tabla 1), dos presentan dominancia en el cultivo *O. corniculata* y *M. carolinata*, encontrándose la distribución de la dominancia en la mayor parte del cultivo, al igual de dos puntos muy diversos en los límites con suelos sin cobertura (Figura 3), que se pueden presentar como entradas de semillas de malezas al cultivo.

El cálculo de un solo valor de cualquier índice de diversidad para un lote, resulta poco objetivo, para generar una estrategia de manejo eficiente de las malezas, debido a que las especies consideradas como malezas tienen diferentes formas de distribución en el lote, como la distribución regular, al azar y en parches, propio de su comportamiento ecológico (Zimdahl, 2018); por esta razón, la distribución geoespacial de los índices de diversidad, se convierte en una herramienta más robusta y completa, como base para un manejo integral de malezas en los sistemas agrícolas, principalmente, si se quiere realizar un manejo por sitio específico, de esta manera, se puede hacer un uso más eficiente de los herbicidas (Calha *et al.* 2014). Somervill *et al.* (2020) también plantean la importancia y los retos del uso de mapas y modelos espaciales de la distribución de poblaciones de malezas, como base para el manejo integral de estas especies.

Tabla 3. Distribución de abundancia de especies de malezas por punto de muestreo en el cultivo de duraznero.

Especie	Número de especies por punto														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Oxalis corniculata</i>	761	7	2	78	20	8	79	61	2	302	17	12	1	0	8
<i>Senecio vulgaris</i>	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sonchus oleraceus</i>	2	0	1	1	0	0	12	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Lolium temulentum</i>	0	0	14	0	1	8	39	33	0	0	3	0	0	0	8
<i>Poa annua</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Modiola caroliniana</i>	0	123	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	59	0	9
<i>Fuertesimalva limensis</i>	0	2	0	0	0	2	0	0	18	0	0	0	0	164	0
<i>Taraxacum officinale</i>	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Veronica persica</i>	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spergula arvensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0
<i>Brassica rapa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
<i>Polygonium segetum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0

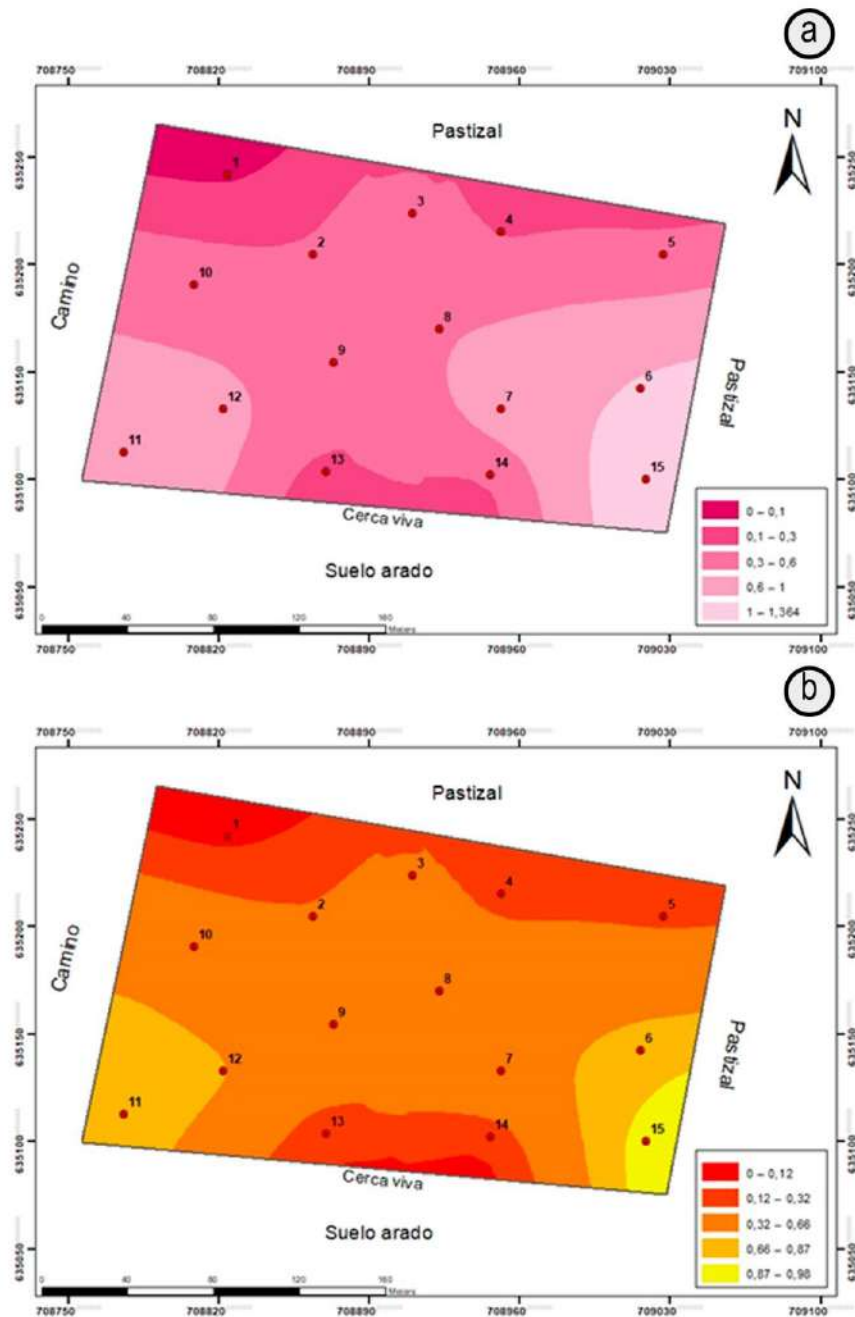


Figura 3. Modelación por interpolación polinomial local del a. índice Shannon-Wiener, donde: el número de especies aumenta a medida que los valores son mayores a cero (0) y b. del índice de equidad Pielou, donde: 0 representa distribución de los individuos por especie inequitativa y 1 distribución equitativa. Los números 1 al 15 corresponden a los sitios de muestreo.

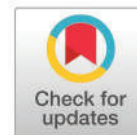
Agradecimientos: A la Ingeniera Agrónoma Lula Marina Sánchez, por su valioso apoyo para la realización del trabajo en la fase de campo. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. AGRONET. 2018. Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. Disponible desde Internet en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#> (con acceso el 05/05/2020)

2. AIME, M.C.; ABBASI, M. 2018. *Puccinia modiolae* in North America: Distribution and natural host range. MycoKeys. 39:63-73.
<https://doi.org/10.3897/mycokeys.39.27378>
3. ALBU, S.; BLOMQUIST, C.L.; SCHECK, H.J.; DOYLE, V.P. 2019. First report of rust on *Modiola caroliniana* caused by *Puccinia modiolae* in California. Plant Disease. 103(11):2961.
<https://doi.org/10.1094/pdis-02-19-0303-pdn>
4. ÁVILA, C.; ROBLES, A.; PINZÓN, S.; MIRANDA, D.; FISCHER, G. 2013. Tecnologías locales para los sistemas de producción de frutales caducifolios en zonas productoras de Colombia y sus limitantes tecnológicas. En: Miranda, D.; Fischer, G.; Carranza, C. (eds). Los frutales caducifolios en Colombia. Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo. Equilibrio Gráfico Editorial Ltda (Bogotá D.C.) p.115-149.
5. CALHA, I.M.; SOUSA, E.; GONZALEZ-ANDUJAR, J.L. 2014. Infestation maps and spatial stability of main weed species in maize culture. Planta daninha. 32(2):275-282.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000200004>
6. CAMPO, A.; DUVAL, V. 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque nacional Lihué Calele (Argentina). Anales de Geografía. 34(2):25-42.
https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071
7. CARDENAL, Z.C.; TORRES, D.F.; DOTOR, M.Y.; MORILLO, A.C. 2016. Caracterización del banco activo de semillas en cultivos de zanahoria del municipio de Villa Pinzón (Cundinamarca). Rev U.D.C.A Act. & Div. Cient. 19(2):297-306.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.83>
8. CASTRO, V.; ALVARADO, L.; TEJADA, J.; BORJAS, R.; BELLO, S.; DA COSTA, P.; HELGOTT, S.; JULCA, A. 2019. Manual de malezas asociadas al cultivo de Café en la selva central del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina (Perú). 43p
9. COBB, A.; READE, J. 2010. Herbicides and plant physiology 2nd ed. John Wiley and Son (Oxford). 296p.
10. CONCENÇO, G.; ANDRES, A.; SCHREIBER, F.; SILVA, A.F.; MOISINHO, I.S.; CORADINI, M.C. 2019. Characterization of the weed flora in rice areas under distinct cropping systems and herbicide managements. Planta Daninha. 37:e019193419.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100089>
11. DEVORE, J. 2012. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias 8va ed. Cengage Learning Editores S.A. (México D.F.). 63p.
12. DUKE, S.O. 2018. Weed physiology. CRC Press (New York). 176p.
13. FACHINELLO, J.C.; PASA, M.; SCHMITZ, J.; BETEMPS, D.L. 2011. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. Rev. Bras. Frutic. 33(Nº especial):109-120.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000500014>
14. FUENTES, C.; ERASO, E.R.; SEQUEDA, O.A.; PIEDRAHITA, W. 2011. Flora arvense del altiplano Cundiboyacense de Colombia. Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). 348p.
15. FUENTES, C.L.; OSORIO, A.S.; GRANADOS, J.C.; PIEDRAHITA, W. 2006. Flora arvense asociada con el cultivo del arroz en el departamento del Tolima-Colombia. Bayer Cropscience. Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). 256p.
16. GÁMEZ, A.; ROJAS, L.; JARAMILLO, M.; CRUZ, E.; HOYOS, V.; CEPEDA, J.; PLAZA, G.A. 2018. Guía Ilustrada De Plantas Arvenses Del Centro Agropecuario Marengo (CAM). Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). 382p.
17. GONZALES-OREJA, J.; DÍAZ, A.; HERNÁNDEZ, L.; BUZO, D.; BONACHE, C. 2010. Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. Animal Biodiversity and Conservation. 33(1):31-45.
18. HOYOS, V.; MARTÍNEZ, M.; PLAZA, G. 2015. Malezas asociadas a los cultivos de cítricos, guayaba, maracuyá y piña en el departamento del Meta, Colombia. Rev. Col. Ciencias Hortícolas. 9(2):247-258.
<http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4181>
19. IDEAM. 2012. Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. Disponible en internet desde:
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd> (con acceso el 12/08/2019).
20. JABRAN, K.; CHAUHAN, B. 2018. Non-chemical Weed Control. 1st ed. Academic press (USA). 172p.
21. JAMAICA, D.; PLAZA, G. 2014. Evaluation of various conventional methods for sampling weeds in potato and spinach crops. Agr. Col. 32(1):36-43.
<http://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.39613>
22. JUÁREZ, A.; NATIVIDAD, H.; MARTÍNEZ, J.; UMAÑA, M. 2007. Diversidad y estructura de la selva mediana

- subperennifolia de Acapulco, Gro., México. *Rev. Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. 5(10):1-20.
23. MAGURRAN, A. 2004. *Measuring Biological Diversity*. 1st ed. Blackwell Science LTD (Australia). 256p.
 24. MARQUEZ, T. 2019. Gestión integrada de malas hierbas en frutales de pepita y de hueso. *Rev. Fruticultura*. 67:54-65.
 25. NAGENDRA, H. 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography*. 22:175-186.
[https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4)
 26. PATIÑO, L.; MIRANDA, D. 2013. Situación actual de los frutales caducifolios en el mundo y en Colombia. En: Miranda, D.; Fischer, G.; Carranza, C. (eds). *Los frutales caducifolios en Colombia. Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo*. Equilibrio Gráfico Editorial Ltda (Bogotá D.C.) p.9-20.
 27. PINZÓN, E.; MORILLO, A.C.; FISCHER, G. 2014. Aspectos fisiológicos del duraznero (*Prunus persica* [L.] Batsch) en el trópico alto. Una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*. 17(2):401-411.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n2.2014.243>
 28. PLAZA, G.A.; PEDRAZA, M. 2007. Reconocimiento y caracterización ecológica de la flora arvense asociada al cultivo de uchuva. *Agr. Col*. 25(2):306-313.
 29. PRATES, C.J.N.; VIANA, A.E.S.; CARDOSO, A.D.; SÃO JOSÉ, A.R.; VIANA, B.A.R.; DUTRA, F.V. 2019. Weed phytosociology in cassava cultivation in two periods in southwestern Bahia, Brazil. *Planta Daninha*. 37:e019208668.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100107>
 30. QUINTERO-PERTUZ, I.; CARBONÓ-DELAHOZ, E.; JARMA-OROZCO, A. 2020. Weeds associated with banana crops in Magdalena department, Colombia. *Planta Daninha*. 38:e020217466.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100015>
 31. RAMÍREZ, J.; HOYOS, V.; PLAZA, G. 2015. Phytosociology of weeds associated with rice crops in the department of Tolima, Colombia. *Agr. Col*. 33(1):64-73.
<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n1.46747>
 32. RODRÍGUEZ, J. 2013. *Ecología*. 3er ed. Ediciones Pirámide (Madrid). 504p.
 33. RODRÍGUEZ, M.; PLAZA, G.; GIL, R.; CHAVES, B.; JIMÉNEZ, J. 2008. Reconocimiento y fluctuación poblacional arvense en el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) para el municipio de Cota, Cundinamarca. *Agr. Col*. 26(1):87-96.
 34. SOMERVILLE, G.J.; SØNDERSKOV, M.; MATHIASSEN, S.K.; METCALFE, H. 2020. Spatial Modelling of Within-Field Weed Populations; a Review. *Agronomy*. 10:1044.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10071044>
 35. STORKEY, J.; NEVE, P. 2018. What good is weed diversity? *Weed Research*. 58:239-43.
<https://doi.org/10.1111/wre.12310>
 36. TAUSEEF, M.; IHSAN, F.; NAZIR, W.; FAROOQ, J. 2012. Weed flora and importance value index (IVI) of the weeds in cotton crop fields in the region of Khanewal, Pakistan. *J. Weed Science Res*. 18(3):319-330.
 37. TIBUHWA, D. 2016. *Oxalis corniculata* L. in Tanzania: traditional use, cytotoxicity and antimicrobial activities. *J. Applied Biosciences*. 105(1):10055.
<https://doi.org/10.4314/jab.v105i1.2>
 38. VERA, A.; PALACIOS, Z.; LIUBA, S.; MENDOZA, H. 2018. Diversidad y análisis fitosociológico de malezas en un cultivo de musáceas del trópico ecuatorial. *Agriscientia*. 35(2):43-52.
<https://doi.org/10.31047/1668.298x.v35.n2.22966>
 39. ZIMDAHL, R.L. 2018. *Fundamentals of weed science*. 5th ed. Academic Press (USA). 758p.



Ruta biocultural de conservación de las semillas nativas y criollas en el territorio indígena de Puracé, Cauca

Biocultural route for the conservation of native and creole seeds in the indigenous territory of Puracé, Cauca

Marta Elena Montaña¹; Olga Lucía Sanabria-Diago²; Ricardo Manzano³; Oswaldo Quilindo⁴

¹Ing. Civil, M.Sc., Ph.D.(c). Fundación Universitaria de Popayán, Departamento de Ecología. Popayán - Cauca, Colombia; e-mail: mmontano@unicauca.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0002-4940-7624>

²Licenciada en Biología y Química, M.Sc., Ph.D., Pos. doc. Universidad del Cauca. Popayán - Cauca, Colombia; e-mail: oldiago@unicauca.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0001-6905-1808>

³Bachiller, Comunero del Resguardo de Puracé. Puracé - Cauca, Colombia; e-mail: rialma3@hotmail.com;

<https://orcid.org/0000-0003-2600-4715>
⁴Tecnólogo Ambiental, Comunero del Resguardo de Puracé. Puracé - Cauca, Colombia; e-mail: oswaldo7728@hotmail.com;

<https://orcid.org/0000-0003-2675-3898>

Cómo citar: Montaña, M.E.; Sanabria-Diago, O.L.; Manzano, R.; Quilindo, O. 2021. Ruta biocultural de conservación de las semillas nativas y criollas en el territorio indígena de Puracé, Cauca. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1771. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1771>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: noviembre 23 de 2020 **Aceptado:** mayo 5 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Buscar la conservación de los sistemas productivos tradicionales en el territorio de Puracé implicó identificar los principales factores que los han afectado y definir estrategias, que posibiliten su conservación. En el resguardo, el esfuerzo de conservación, se realiza a través de una organización, de hecho, que pertenece al cabildo indígena, denominada custodios de semillas. Por esta razón, el trabajo se focalizó con ellos, con quienes se realizaron talleres, entrevistas y trabajo de campo, que involucraron observación participante, etnografías, caracterización etnobotánica y análisis cartográficos, lo que llevó a generar una Ruta biocultural de conservación de las semillas nativas y criollas. Se identificaron 156 semillas, que fueron etnoclasificadas, 90 de uso culinario, 37 medicinales, 16 usadas para alimento y medicina y 13 con otros usos; los factores bioculturales

que afectan la conservación, se agruparon en 5 categorías; el relevo generacional es el principal factor cultural, sobre el cual, es necesario trabajar para la conservación de las semillas nativas y criolla, por lo que constituye el eje estructurante de la Ruta que se propuso.

Palabras clave: Revitalización; Conocimiento Tradicional; Custodios de semillas.

ABSTRACT

Seeking the conservation of traditional production systems in the Puracé reservation, implied identifying the main factors that have affected them and defining strategies that enable their conservation. In the reservation, the conservation effort is carried out through an organization in fact that belongs to the indigenous council, called

custodians of seeds. For this reason, the work was focused on them, with whom workshops, interviews and field work were carried out that involved participant observation, ethnographies, ethnobotanical characterization and cartographic analysis, leading to establish the need to generate a biocultural route for the conservation of native seeds. and Creoles. 156 seeds were identified that were ethnoclassified, 90 for culinary use, 37 medicinal, 16 used for food and medicine, and 13 for other uses; The factors that affect conservation were grouped into 5 categories, the generational change is the main factor on which it is necessary to work is conservation, constituting the structuring axis of the Route that was proposed.

Keywords: Revitalization; Traditional Knowledge; Custodians of seeds.

INTRODUCCIÓN

Las semillas nativas son aquellas que su centro de origen se encuentra en la misma región donde se cultivan (Harlan, 1971) y las criollas, aunque no son originarias del territorio, los agricultores las adaptan en sus huertas, a las condiciones ambientales (Gutiérrez & Fitting, 2016) e intereses antropocéntricos locales. Su pérdida causa preocupación mundial, porque además de la reducción de especies, variedades o variantes cultivadas (Casas & Parra, 2007), a tasas hasta 10.000 veces mayor que la extinción natural (Casas *et al.* 2016), también reduce la diversidad genética.

En Colombia, a partir de 1960, se impulsó la revolución verde, por medio de los programas de asistencia técnica, que llevaron a la sustitución de variedades locales por otras de mayor rendimiento productivo. Este hecho desvalorizó el conocimiento tradicional, promoviendo la disminución de la agrobiodiversidad en los territorios, al desestimar el valor científico de la domesticación y del manejo de las semillas nativas y criollas (Forero, 2010).

En el resguardo de Puracé, que corresponde a un territorio colectivo de 21.870ha (ANT, 2018; IGAC, 2016), localizado en la zona altoandina, al sur occidente de Colombia, habitado por 5.173 indígenas del pueblo Kokonuko (CIP, 2020), se ha reportado la transformación de sistemas diversificados a homogéneos (Valencia *et al.* 2017), que llevó a la pérdida de semillas de variedades de ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas), papa (*Solanum tuberosum* L.) y maíz (*Zea mays* L.) (Piso *et al.* 2019).

La siembra intensiva de cultivos comerciales, como papa y la producción de leche, favorecieron la incursión de variedades de alto rendimiento, que redujeron los sistemas de producción tradicionales (Jimeno & Triana, 1985). Esto provocó, que el ulluco, localmente conocido como solferino y el maíz matambre, dejaran de producirse en el territorio; se pasó de 70 variedades de papa que se sembraban a mitad del siglo XX, a 4 variedades, que componen los sistemas comerciales de la actualidad (Caldon *et al.* 2019).

En la medida que se presentó el fortalecimiento de los sistemas comerciales, apareció la preocupación de la organización indígena por la pérdida de variedades nativas y criollas. Es así, que en la década

de los 90 del siglo pasado, se inicia un proceso de recuperación de semillas, con el objetivo de conservar los sistemas tradicionales, semillas nativas y criollas, a través del fortalecimiento de huertas tradicionales (Mazabuel, 1999).

Desde el 2006, se da peso político a la conservación y la recuperación de semillas nativa y criollas, al incorporar este tema en los congresos internos, en los cuales, la comunidad en pleno, se reúne para tomar decisiones, que den orientación política organizativa y establezcan la ruta de trabajo y fortalecimiento de los procesos sociales, culturales, económicos y ambientales, para la pervivencia como pueblo Kokonuko.

Los cinco congresos internos realizados en el territorio, determinaron acciones de recuperación y de valoración de los conocimientos tradicionales, el incremento de las áreas con cultivos tradicionales, la recuperación de semillas nativas y criollas y no permitir el ingreso de Organismos Genéticamente Modificados -OGM- al territorio.

En el 2010, con el objetivo de conservar los sistemas tradicionales, se establece una organización al interior del cabildo, denominada custodios de semillas, que son personas con conocimientos tradicionales, que se dedican de tiempo parcial o completo, a conservar, cuidar, cosechar y compartir las semillas nativas y criollas (Chacón & García, 2016).

La red cuenta, actualmente, con 14 experiencias de producción tradicional, manejadas por la misma cantidad de custodios de semillas, con edades que oscila entre los 50-90 años. A pesar del gran conocimiento y la riqueza de agrobiodiversidad existente en las parcelas de los custodios, el potencial de relevo generacional no se ha logrado, poniendo en riesgo los esfuerzos realizados para su conservación y recuperación.

El custodio tiene en su parcela un laboratorio de experiencias, donde cuida, produce, maneja y adapta estas semillas, crea relaciones bioculturales, a través de las prácticas agrícolas de fitomejoramiento, que generan y fortalecen el conocimiento tradicional, además de mantener viva la cultura local, la conservación e intercambio de variedades nativas y criollas (Thiele, 1999; Badstue *et al.* 2006; Hermann *et al.* 2009).

Al no producir e intercambiar estas semillas, se pierden también las redes y los procesos asociados (Zent & Maffi, 2009), además de reducir los sistemas de conservación *in situ* (Dzib-Aguilar *et al.* 2016), de alto valor cultural (Sanabria, 2001). Las redes y los procesos de conservación de semilla tradicionales y criollas enfrentan problemas asociados a las condiciones climáticas, políticas, económicas y sociales (Shiva, 2020) que, en oportunidades, rompen la transmisión de conocimiento, propiciando dificultades de relevo generacional en la conservación.

Con la problemática de la no transmisión del conocimiento tradicional, en el proceso de conservación de semillas, en el presente documento, se recogen las causas que han afectado la conservación biocultural y las estrategias de conservación, en una Ruta biocultural de conservación de las semillas nativas y criollas.

La ruta acordada involucra la conservación con perspectiva biocultural, a través de la valoración de los sistemas tradicionales, su importancia en la conservación de los conocimientos asociados a estos sistemas, además de la reflexión y el análisis de acciones requeridas, para garantizar el trabajo intergeneracional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de la ruta incorpora el análisis de la biodiversidad, a través de métodos etnobotánicos cuantitativos y cualitativos, con participación permanente de los custodios de semillas. El análisis en el resguardo de Puracé, sobre la necesidad de conservación biocultural de las semillas nativas y criollas, así como de los conocimientos asociados a estas, que constituyeron la primera experiencia que vincula, de forma integral, la conservación de la agrobiodiversidad y del conocimiento tradicional, en este territorio indígena.

Este proceso, se dio con reuniones de trabajo de campo y mapeo comunitario, con un equipo de diálogo intercientífico (Sletto *et al.* 2013), que permitió identificar el número de especies y las variedades por parcela, con el fin de georreferenciar la biodiversidad de cada parcela.

Con el fin de establecer el vínculo entre la agrobiodiversidad y los conocimientos asociados, que son objeto de conservación, se realizó la caracterización etnobotánica de las semillas conservadas y de los conocimientos usados para la producción, en las parcelas de los custodios de semillas, para lo cual, se empleó el manual de etnobotánica para trabajos de campo (Sanabria, 2001).

A partir de entrevistas con los custodios participantes (Malinowski, 1986) y talleres de trabajo con mayores y niños, se realizó el análisis de los factores que han afectado el proceso de transmisión de conocimiento y su impacto sobre la conservación de las semillas.

Los resultados, se complementaron con las experiencias de conservación, entre el grupo de Etnobotánicos Latinoamericanos (GELA), de la Universidad del Cauca y los custodios de semilla del resguardo de Puracé, que generó las estrategias de la ruta biocultural de conservación, que contó, además, con la participación de los custodios de semilla del resguardo de Puracé. Todas las acciones realizadas tuvieron lugar entre mayo del 2019 y junio del 2020.

Es importante resaltar que los datos de este trabajo contaron con el consentimiento previo, libre e informado de la comunidad, que se materializó, a través de un permiso otorgado por el cabildo y un convenio firmado entre la Universidad del Cauca y el Cabildo Indígena de Puracé, por medio de su gobernador principal. De igual manera, todo el proceso de caracterización etnobotánica y de identificación de conocimientos tradicionales, se suscribió al código de ética de la Sociedad Latinoamericana de Etnobiología (Cano-Contreras *et al.* 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se georreferenciaron y mapearon comunitariamente 14 parcelas de custodios de semillas (Figura 1), con áreas que oscilan entre los 283,7 y los 16,134,1m². El 78% de las parcelas, se encuentran ubicadas en la formación vegetal de bosque andino (Tabla 1).

En estas parcelas, se caracterizaron 155 variedades clasificadas por nombres comunes (Anexo), de las cuales, 54 son hortalizas, 40 tubérculos, 20 frutales, 9 cereales, 17 herbáceas y 15 son ornamentales. Si bien se encuentran 54 semillas que pertenecen a las hortalizas, la importancia de uso mostró que para la comunidad tiene mayor relevancia los tubérculos y los cereales, debido a que a estas categorías pertenecen las semillas nativas y aquellas que tienen mayor vínculo con los sistemas de alimentación y medicina propios.

De las 40 variedades de tubérculos, 20 son de papa; de los cereales, todos corresponde a variedades de maíz (9), lo que evidencia la importancia de estas dos especies.

Del total de variedades, 90 son de uso culinario, 37 medicinales, 16 usadas para alimento y medicina y 13 con otros usos (ornamental y artesanal), es decir, que los principales intereses del pueblo Kokonuko son el alimento y la salud.

Al analizar la distribución de plantas, se observa que las parcelas cuentan con una diversidad de especies, que va desde 14 hasta 55 variedades por parcela, teniendo en cuenta que las áreas son pequeñas; esto da cuenta de sistemas productivos de policultivos altamente diversos, en los que las semillas nativas no tienen arreglos productivos definidos, en tanto que las criollas sí se organizan en eras y terrazas.

Tabla 1. Distribución de parcelas por formación vegetal.

No. parcelas	Formación Vegetal	% Parcelas	Área (m ²)
2	bosque subandino	14,29	8620,61
11	bosque andino	78,57	52388,03
1	bosque alto andino	7,14	2060,62

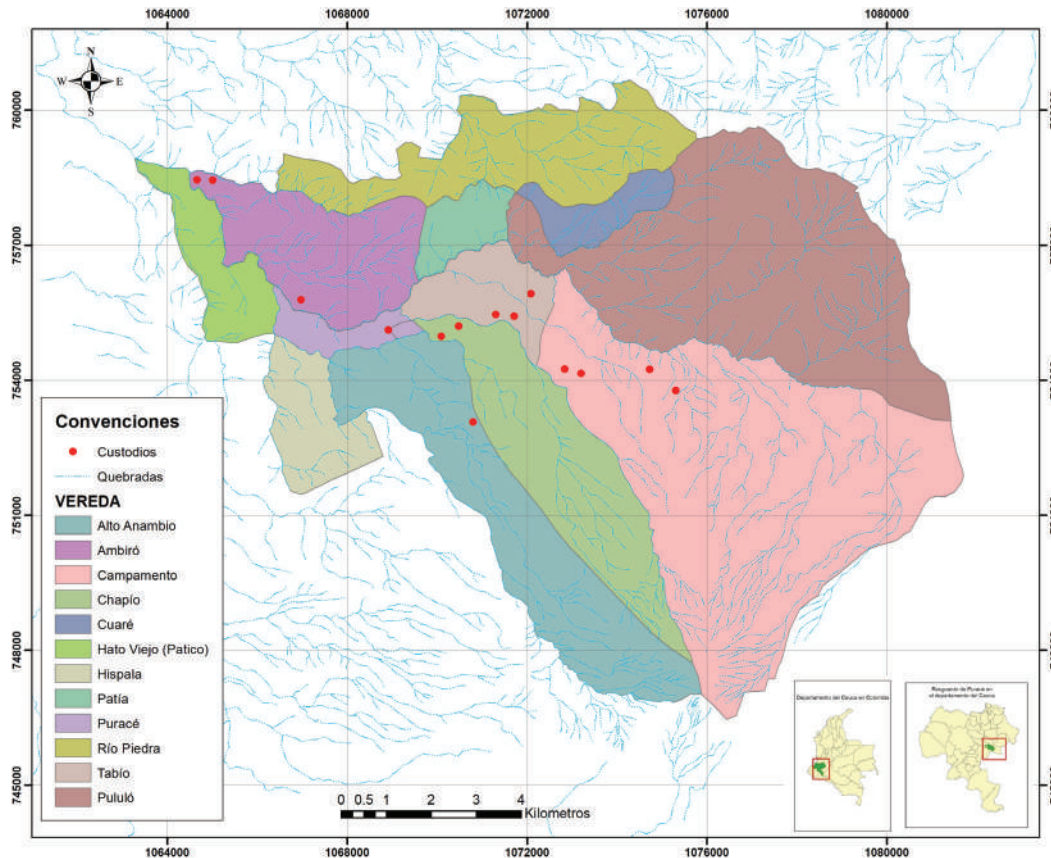


Figura 1. Mapa de ubicación de parcelas de custodios de semillas.

Tal como se observan en las figuras 2 y 3, no existe una correlación entre la altitud o el tamaño de la parcela con el número de variedades cultivadas en estas. Por consiguiente, la diversidad está principalmente asociada a decisiones tomadas por los custodios de semilla, más que por las condiciones ambientales, relacionadas con la altitud y la superficie de la parcela custodio.

Para las decisiones del momento de siembra y los arreglos productivos, los custodios se basan en el uso de bioindicadores. Se identificaron 13 relacionados con el clima (Tabla 2), de los cuales, tres se encuentran asociados al uso de la luna y el sol, para la toma de decisiones sobre la siembra; cinco, se refieren a usos de bioindicadores, para el manejo del tiempo atmosférico y cinco, al conocimiento de manejo de plagas y de enfermedades. Todos los custodios, cumplido el ciclo productivo, rotan las variedades dentro de la parcela, reemplazando una semilla por otra o, incluso, por otro cultivo, el cual, se establece de acuerdo con las condiciones climáticas y las necesidades que tiene el custodio en el momento de la nueva siembra; tomado de las entrevistas a custodios en el 2019.

El conocimiento de amplia diversidad de variedades de semillas usadas, sus usos y formas de siembra, nos muestran que las parcelas reúnen complejas e integradas cosmovisiones (cosmos), alrededor

de las cuales, se han generado conocimientos (corpus), que han permitido la generación de prácticas productivas (praxis) (Toledo, 2005), donde los custodios de semillas establecen las relaciones para el uso o manejo de la naturaleza y sus procesos.

Para establecer la razón por la que el relevo generacional de los custodios no se ha logrado, es importante partir, tanto de la comprensión de la reflexión propia de los mismos custodios como del análisis de lecciones aprendidas de los esfuerzos que el cabildo ha realizado, en este sentido.

Por tanto, una vez caracterizadas las semillas conservadas en las parcelas, se estableció la percepción de los custodios sobre las causas por las que no se ha generado la posibilidad de contar con el relevo generacional. El resultado mostró que los principales factores que han llevado a desestimular la siembra de semillas nativas y criollas, en orden de importancia, son: la pérdida de importancia de uso de las semillas, la homogenización de la comida asociada a la pérdida de platos tradicionales, la disminución del uso de plantas medicinales, el desestímulo que tuvo la agricultura en el territorio frente a la minería y ganadería, la falta de canales de comercialización y la falta de conocimiento de los jóvenes que estas semillas están presentes en el territorio.

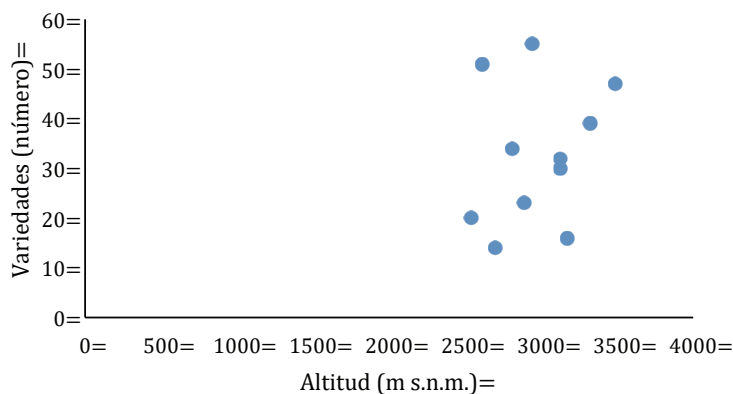


Figura 2. Distribución de número de variedades (especies – variedades), por superficie de las parcelas custodio.

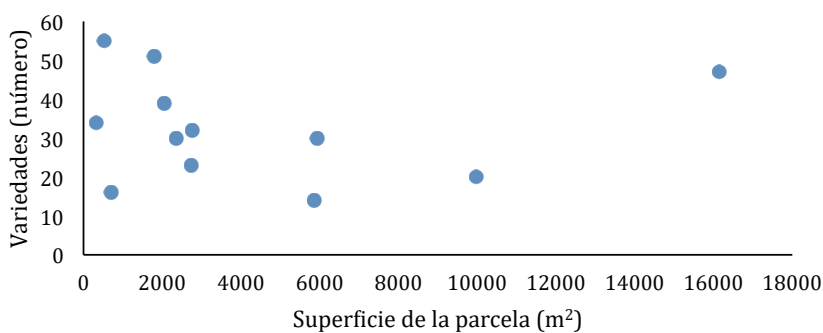


Figura 3. Número de variedades (especies - variedades) por parcela, de acuerdo con la altitud.

Tabla 2. Prácticas culturales relacionadas con las condiciones de clima.

Proceso cultural	Tipo de relación
Relación de la luna con las actividades agrícolas	Las labores se realizan si la luna acompaña o no el territorio
Momento de la luna para la castración de animales	Los animales no se castran en luna nueva porque el animal se hincha
Relación de la luna con el momento de preparación de terreno	En luna nueva no se puede preparar el terreno, la luna apta para esto es luna llena
Golondrinas	De acuerdo con el tamaño indican llegada de invierno o verano
Hormigas voladoras	Cuando aparecen hormigas voladoras cafés, se puede sembrar. Indican que va a llegar tiempo de lluvias
La lombriz loca	Las lombrices en la casa brincando y mueren, va a llegar verano, por consiguiente, no se puede sembrar
El paletón, pájaro alargado, de plumaje amarillo, verde, rojo y negro. Pico largo y curvo de colores verde, rojo y negro	Cuando cantan pronostican que va a venir sequía interestival en la zona alta
Las tijeretas, aves negras de collar blanco y cola alargada en forma de tijera	Pronostican cambio de estado de tiempo
Uso de trampas para plagas	Para el control de plagas
Uso de orines de curies (<i>Cavia porcellus</i>) u otras especies	Ahuyenta las ardillas
Fumigar con leche, suero y miel de purga (melaza)	Para el control de la Gota (<i>Phytophthora infestans</i>)
Colocar ollas con agua dentro del cultivo	Para la chamusquina (chinche monalonion)
Humear la parcela	Para la helada

Esta información, junto a la obtenida en los talleres comunitarios con los mayores, realizados en el 2018 y al análisis de las lecciones aprendidas de los proyectos desarrollados entre el 2010 y la actualidad, evidencian que los jóvenes no producen en sistemas tradicionales, porque los perciben como insostenibles económicamente y por la falta de estrategias, que los vinculen a este proceso.

En diálogo con los mayores, en los talleres comunitarios, se plantea que muchas de las semillas que se conservan en los sistemas tradicionales no se reconocen por parte de los jóvenes, ni se tiene experiencia de cómo manejarlas. En las entrevistas, los mayores relatan que los jóvenes poco usan majua (*Vallea stipularis*) y oca (*Oxalis tuberosa*) en la alimentación, tampoco se siembra ulluco solferino, que es el que se considera nativo; las variedades de papa tradicionales que se conservan en las parcelas de los custodios han sido reemplazadas por las variedades mejoradas de papa suprema y única; no se siembra trigo, no se produce planta silvestre denominada “matambre” (*Kohleria* sp.), papa Rusia, papa San Jorge, que se cultivaban entre 1950-1980 (Valencia *et al.* 2017); la papa guata manzana, la papa blanca y la papa rosada, se han perdido, también el maíz Yucatán y la cebada (Proclama del Cauca, 2016).

Para dar respuesta a estas dificultades, la estrategia acordada, plantea la necesidad de garantizar la conservación de los conocimientos y su transmisión, a través de cinco parcelas piloto, que serán ubicadas en el territorio, a través de las cuales, se impulsará las innovaciones orientadas a fortalecer los sistemas de medicina tradicional y de alimentación propia.

Para garantizar el reconocimiento del saber tradicional de los mayores, que por cuestiones de salud deben dejar de cultivar la parcela y basados en la efectividad que ha demostrado la metodología de campesino a campesino en diferentes experiencias (Holt-Giménez, 2006), se propone crear una nueva categoría, denominada custodios de conocimientos, cuya función será el dar acompañamiento y promotoría en las cinco nuevas experiencias. Otros lineamientos de importancia, para continuar con el proceso de conservación biocultural, son:

- Elaborar una cartilla, que recoja las experiencias de los custodios de semillas.
- Generar diálogo intercultural sobre las plantas medicinales, para identificar otros usos.
- Realizar estudios de control biológico, para generar estrategias propuestas de manejo, para las principales plagas presentadas.
- Generar bancos de semillas bajo condiciones de almacenamiento ambiental y culturalmente adecuadas, para cada especie vegetal.
- Establecer reglas para el control de las semillas durante el proceso de intercambio, almacenamiento y manejo, previo a la siembra, para evitar la propagación de plagas y de enfermedades.
- Recoger y sistematizar acciones culturales, para la adaptación al cambio climático.
- Capacitaciones en procesos de innovación en gastronomía con productos propios y en medidas, para generar nuevos platos con las especies nativas y criolla.
- Realizar estudios de caracterización e identificación de presencia de transgénicos.

- Buscar mercados solidarios, en los cuales, se pueda comercializar la producción, a precios justos.
- Fortalecer el sistema de Participación en Garantías.
- Vincular el trabajo social de las sedes e instituciones educativas con el cuidado de las parcelas tradicionales

Estas acciones, se trabajarán a partir de procesos de capacitación y de espacios de intercambio intergeneracional de semillas y de conocimientos, orientadas al trabajo en conjunto en parcelas, al impulso de capacitación con la metodología de campesino a campesino, que permita vincular a los mayores y jóvenes, a través de nuevas parcelas, para custodiar semillas.

Es fundamental, que el cabildo y sus cuadros de apoyo avancen en: a) La recuperación de comida tradicional, a través de vincular a las instituciones educativas, con el fin de dirigir un proceso de concientización y de revitalización de la importancia de las semillas, para usos alimentarios y la orientación de la participación de los jóvenes a las parcelas de los custodios, por medio del trabajo social, que se debe cumplir en los últimos años de escolaridad y, b) La priorización de la investigación sobre innovaciones gastronómicas, que incluyan productos de semillas nativas y criollas, objeto de conservación.

Es importante fortalecer el Sistema de Salud Indígena Propio, SISPI, al promover la investigación de innovación en el uso de las plantas medicinales, en la transformación de éstas y en fortalecer rituales asociados a la conservación de las semillas, con el fin de recuperar el uso de plantas de importancia, por su uso medicinal.

Se propone proyectar el trabajo permanente por medio de mingas comunitarias entre jóvenes y mayores, con el fin de recuperar el vínculo de las nuevas generaciones con el proceso de conservación de las semillas, propiciando espacios de intercambio de saberes, que estrechen los vínculos intergeneracionales. Priorizar la investigación en nuevos usos en el territorio de las semillas tradicionales y criolla, procesos de transformación para generar pequeñas microempresas y nuevos mercados agroecológicos, con el fin de estimular la producción.

La agricultura convencional invisibilizó y marginó los procesos tradicionales y pone en riesgo al pequeño productor tradicional y sus prácticas alrededor de las semillas, que involucran diversos significados de valor de uso, que fueron además simplificadas en el valor del cambio moviendo el objetivo, centrado en la cultura y la identidad a las actividades económicas. Esto redujo las áreas dedicadas a sistemas tradicionales, indujo la pérdida de agrobiodiversidad y provocó un rompimiento de la transmisión intergeneracional de conocimientos tradicionales, que deben ser restaurados.

La evaluación de las parcelas muestra que los custodios de semillas generan sistemas de gran diversidad biológica y cognitiva y, por tanto, de alta complejidad, el mantener la producción tradicional, a través de arreglos de policultivos, cuya organización requiere una dinámica permanente de transformación, que permiten garantizar y mantener esta amplia diversidad en espacios pequeños.

Este trabajo, a través del análisis del proceso de custodios de semillas, permite evidenciar el rompimiento en la transmisión de los conocimientos, que han sido inducida en el proceso de transformación productiva de la región (Martínez Alier, 1994), que no ha considerado los impactos negativos de la minería y la agricultura comercial en el impulso territorial.

El análisis mostró que la conservación de las semillas no puede estar distante de la conservación de la cultura, de la innovación con identidad y de la valoración de los conocimientos tradicionales; por lo tanto, el principal objetivo de generar una ruta de conservación, en este sentido, es posibilitar el vínculo entre conservación de las semillas y de los conocimientos tradicionales y generar estrategias de transmisión de conocimientos a las nuevas generaciones.

Es fundamental involucrar a los jóvenes en el proceso, con el fin de reducir los impactos generados por la pérdida de la diversidad genética en los sistemas productivos en el resguardo de Puracé.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. AGENCIA NACIONAL DE TIERRAS, ANTI. 2018. Base de datos de Resguardos indígenas de Colombia (Colombia).
2. BADSTUE, L.; BELLON, M.; BERTHAUD, J.; RAMÍREZ, A.; FLORES, D.; JUÁREZ, X.; RAMÍREZ, F. 2006. Collective action for the conservation of on-farm genetic diversity in a center of crop diversity: An assessment of the role of traditional farmers' networks. Ed. IFPRI CAPRI (USA). 48p.
3. CABILDO INDÍGENA DE PURACÉ, CIP. 2020. Censo Indígena (Colombia).
4. CALDON, L.; BONILLA, C.; AGUILAR, G.; DIAZ, C.; QUILINDO, O.; LAME, M.; LAME, P.; NELLY, P.; AGUILAR, A. 2019. Relatoría conversatorio con los mayores sobre transición socioecológica en el resguardo de Puracé. (Colombia). Cabildo indígena de Puracé.
5. CANO-CONTRERAS, E.J.C.; MEDINACELI, A.; DIAGO, O.L.S.; VILLAMAR, A.A. 2016. Código de Ética para la Investigación, la Investigación-Acción y la Colaboración Etnocientífica en América Latina. Versión Dos. Etnobiología. 13(4):5-6.
6. CASAS, A.; PARRA, F. 2007. Agrobiodiversidad, parientes silvestres y cultura. LEISA revista de agroecología. 23(2):5-8.
7. CASAS, A.; TORRES, J.; PARRA, F. 2016. Manejo de biodiversidad y evolución dirigida por las culturas del nuevo mundo. Ed. UNAM (México). 507p.
8. CHACÓN, X.; GARCÍA, M. 2016. Redes de custodios y guardianes de semillas y casas comunitarias de semillas nativas y criollas - Guía metodológica. Ed. SWISSAID y Corporación Biocomercio Sostenible (Colombia). 56p.
9. DZIB-AGUILAR, L.A.; ORTEGA-PACZKA, R.; SEGURA-CORREA, J.C. 2016. Conservación *in situ* y mejoramiento participativo de maíces criollos en la península de Yucatán. Tropical and Subtropical Agroecosystems (México). 19(1):51-59.
10. FORERO, J. 2010. El campesino colombiano: entre el protagonismo económico y el desconocimiento de la sociedad. Pontificia Universidad Javeriana (Colombia). 140p.
11. GUTIÉRREZ, L.; FITTING, E. 2016. The Red de Semillas Libres: Contesting Biohegemony in Colombia. Journal of Agrarian Change (Canadá). 16(4):711-719. <https://doi.org/10.1111/joac.12161>
12. HARLAN, J. 1971. Agricultural origins: centers and noncenters. Science. 174(4008):468-474.
13. HERMANN, M.; AMAYA, K.; LATOURNERIE, L.; CASTIÑEIRAS, L. 2009. ¿Cómo conservan los agricultores sus semillas en el trópico húmedo de Cuba, México y Perú? Bioersity International (Italia). 186p.
14. HOLT-GIMÉNEZ, E. 2006. Campesino a campesino: voces from Latin America's farmer to farmer movement for sustainable agriculture. food first books (Canadá). 225p.
15. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2016. Base de datos catastral. Departamento del Cauca.
16. JIMENO, M.; TRIANA, A. 1985. Estado y minorías étnicas en Colombia. Ed. Cuadernos del Jaguar. (Colombia). 343p.
17. MALINOWSKI, B. 1986. Los argonautas del Pacífico occidental. Ed. Planeta de Agostini S.A. (España). 530p.
18. MARTÍNEZ ALIER, J. 1994. De la Ecologica al Ecologismo Popular. Ed. Icaria. Barcelona. 366p.
19. MAZABUEL, N. 1999. Plan de vida Resguardo de Puracé. Cabildo Indígena de Puracé. (Colombia). 125p.
20. PISO, A.; QUILINDO, O.; GÜAÑA, J.; LAME, M.; CLOFE, M.; ESCOBAR, A.; CALDON, L.; ESCOBAR, S. 2019. Relatoría Taller perdida de semillas. (Colombia). Resguardo indígena de Puracé. S/E
21. PROCLAMA DEL CAUCA. 2016. Los custodios de semilla. Disponible desde Internet en: <https://www.proclamadelcauca.com/los-custodios-semillas-purace/>

22. SANABRIA, O.L. 2001. Manejo vegetal en agroecosistemas tradicionales de Tierradentro, (Colombia). Editorial Universidad del Cauca. 144p.
23. SHIVA, V. 2020. ¿Quién alimenta realmente al mundo?: el fracaso de la agricultura industrial y la promesa de la agroecología. Ed. Capitán Swing Libros (España). 352p.
24. SLETTO, B.I.; BRYAN, J.; TORRADO, M.; HALE, C.; BARRY, D. 2013. Territorialidad, mapeo participativo y política sobre los recursos naturales: la experiencia de América Latina. Cuadernos de Geografía: revista colombiana de geografía (Colombia). 22(2):193-209.
25. THIELE, G. 1999. Informal potato seed systems in the Andes: Why are they important and what should we do with them? World development (Bolivia). 27(1):83-99.
[https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(98\)00128-4](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(98)00128-4)
26. TOLEDO, V.M. 2005. La memoria tradicional: la importancia agroecológica de los saberes locales. Leisa Revista de agroecología (México). 20(4):16-19.
27. VALENCIA, M.; MARTINEZ, J.P.; JAOQUÍ, S.; CASAS, A.F. 2017. Capítulo 8: historia de las transformaciones en ecosistemas paramunos: el caso del área de traslape del parque nacional natural Puracé. En: Perafán, A.; Elías, J. (Eds). Conflictos ambientales en ecosistemas estratégicos. América Latina y el Caribe. Siglos XIX y XX. Ed. UNAD (Colombia). p.113-133.
28. ZENT, S.; MAFFI, L. 2009. Vitality Index of Traditional Environmental Knowledge. World Wide Web electronic publication. Disponible desde Internet en:
<https://terralingua.org/> (con acceso el 01/02/2021).



Técnica estadística multivariada para validar instrumento de evaluación del clima organizacional en empresas ganaderas de leche

Multivariate statistical technique to validate an instrument for evaluating the organizational climate in dairy farming companies

Diana Beltrán-Hernández¹; Gonzalo Téllez-Iregui²; Dora Fonseca-Pinto³

¹Zootecnista, Esp., MSc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias. Duitama - Boyacá, Colombia; e-mail: dcbeltranh@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-5889-2617>

²MV. Esp. Mg. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Bogotá, Colombia; e-mail: gtellezi@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-5734-8081>

³Administradora de Empresas, Esp., MSc., Ph.D.(c). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias. Duitama - Boyacá, Colombia; e-mail: dora.fonseca@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-8361-2648>

Cómo citar: Beltrán-Hernández, D.; Téllez-Iregui, G.; Fonseca-Pinto, D. 2021. Técnica estadística multivariada para validar instrumento de evaluación del clima organizacional en empresas ganaderas de leche. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1839. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1839>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: febrero 1 de 2020 **Aceptado:** marzo 31 de 2021 **Editado por:** Samuel Nucamendi Guillén

RESUMEN

Uno de los temas que poco se ha profundizado es la evaluación del clima organizacional en empresas del sector agropecuario bajo análisis de estadísticas multivariadas, es así que el propósito del presente estudio es construir y validar un instrumento para medir el clima organizacional de las empresas tecnificadas de ganadería de leche, bajo un enfoque mixto, con un alcance exploratorio de tipo tecnológico psicométrico, desarrollando un análisis de variables categóricas. La muestra de estudio fueron 45 fincas, las cuales, se analizaron bajo 9 dimensiones, soportadas en 97 ítems, bajo la escala Likert, donde el alfa de Cronbach obtenido fue de 0.9044395, lo que evidencia que los datos son confiables y que existe consistencia interna entre las preguntas del cuestionario. El análisis de resultados, se hizo mediante técnicas multivariadas de correspondencia simple

para cada una de las dimensiones establecidas, permitiendo analizar la problemática desde un enfoque psicosocial. La dimensión de mayor preocupación fue la de Contexto social, que evidenció problemas relacionados con la escasa oportunidad de interacción social, pocos espacios de recreación y esparcimiento familiar; la dimensión mejor evaluada fue la de liderazgo y participación, demostrando una muy buena relación con el jefe. En general, se puede decir que el mayor porcentaje de agrupamiento de las respuestas está alrededor de la opción siempre, correspondiente a la calificación ideal para cada ítem, representado en el 57,32%, lo que indica un comportamiento cercano a lo óptimo, en determinadas variables analizadas.

Palabras clave: Análisis multivariado; Prueba psicométrica; Ambiente laboral; Organización.

ABSTRACT

One of the topics that have not been studied in depth is the evaluation of the organizational climate in companies of the agricultural sector under multivariate statistical analysis. Thus, the purpose of this study is to construct and validate an instrument to measure the organizational climate of technified dairy cattle raising companies, under a mixed approach, with an exploratory scope of psychometric technological type, developing an analysis of categorical variables. The study sample consisted of 45 farms, which were analyzed under 9 dimensions supported by 97 items under the Likert scale, where the Cronbach's alpha obtained was 0.9044395, which shows that the data are reliable and that there is internal consistency among the questions of the questionnaire. The analysis of the results was carried out using multivariate techniques of simple correspondence for each of the established dimensions, allowing the analysis of the problem from a psychosocial approach. The dimension of greatest concern was the social context. This showed problems related to the scarce opportunity for social interaction, few spaces for recreation, and family recreation; the best-evaluated dimension was that of Leadership and participation, showing a very good relationship with the boss. In general, it can be said that the highest percentage of the grouping of responses is around option always, that correspond to the ideal qualification for each item, represented in 57.32%, which indicates a behavior close to the ideal in certain variables analyzed.

Keywords: Multivariate analysis; Psychometric test; Work environment; Organization.

INTRODUCCIÓN

La cultura organizacional, se define como “el patrón general de conductas, creencias y valores compartidos el cual perdura en el tiempo limitando la percepción, la interpretación y el comportamiento de las personas en las organizaciones” (Díaz Paredes & Duque Ceballos, 2017). De acuerdo con Cabrera Ballona & Díaz Perera (2016), la cultura de la organización puede ayudar a las empresas a medir el rendimiento, tanto individual como colectivo de los trabajadores frente al acelerado desarrollo de las tecnologías y sus cambios y las organizacionales (González Díaz, 2017).

Se puede decir, que una organización es el reflejo de los miembros que la conforman, donde es fundamental considerar la satisfacción laboral, definida como el nivel de bienestar que un trabajador experimenta en su empleo, desde el punto de vista psicológico, social y económico, factores asociados al mercado laboral (Suarez, 2018). Es así, que el ambiente laboral en las fincas ganaderas reviste características especiales, afectadas por las circunstancias del entorno, concretamente, exposición a condiciones ambientales cambiantes, a cielo abierto, trabajo físico, habilidades particulares, manejo de animales, aislamiento, dispersión, y horarios.

Según lo expuesto surge la pregunta de investigación: ¿Qué variables afectan el clima organizacional del recurso humano de las empresas tecnificadas de ganadería especializada de producción de leche? El

objetivo general que plantea este estudio fue construir y validar un instrumento para medir el clima organizacional de las empresas tecnificadas de ganadería de leche.

Las dimensiones que se analizan en el clima laboral son: “bienestar de los empleados, autonomía, participación, comunicación, énfasis en el entrenamiento, integración, apoyo de la supervisión, formalización, tradición, flexibilidad, innovación, foco en lo exterior, reflexión, claridad, esfuerzo, eficiencia, calidad, presión por producir y retroalimentación del desempeño” (Molino & Corena, 2014).

González Díaz (2017) y Segredo Pérez (2013) plantean un modelo (cuestionario), teniendo en cuenta variables, como liderazgo, motivación, reciprocidad, participación, comunicación, salud, seguridad social, bienestar, calidad de vida, prevención de riesgos laborales, accidentes de trabajo, enfermedades ocupacionales, reparación integral de daños sufridos y la promoción e incentivo de programas para la recreación, utilización del tiempo libre y descanso, permitiendo obtener información relevante, para identificar el nivel de conocimiento de los trabajadores sobre la organización y facilitando la toma de decisiones y la gestión del cambio.

La elaboración del diagnóstico situacional del clima organizacional de una empresa permite identificar aspectos que se pueden optimizar, a través de la formulación de estrategias, las cuales, se adoptan por medio de proyectos de mejoramiento continuo, con el propósito de generar cambios de actitud y de conducta de los empleados que participan y así aumentar la motivación y el desempeño laboral, combinando factores humanos y físicos (Segredo Pérez, 2013; Chagray Ameri *et al.* 2020).

Según Vega *et al.* (2012), una metodología de evaluación del clima organizacional utiliza el cuestionario escrito, técnica de Litwin y Stringer, que permite identificar las características de la apreciación de los empleados referente al ambiente de trabajo.

Nader *et al.* (2014) soporta que las variables independientes representan los insumos para un estudio de clima laboral, como son la percepción del ambiente físico, el tipo de relaciones, factores que afectan el crecimiento personal y profesional, la descripción del trabajo, la responsabilidad hacia las tareas, el conocimiento del trabajo y la experiencia. En cuanto a las variables dependientes, se analiza el nivel de satisfacción y el de bienestar laboral; es así que, para el estudio, se evaluarán variables ajustadas al entorno, donde se va a desarrollar la investigación, teniendo en cuenta las características de los trabajadores que integran cada una de las organizaciones objeto de estudio y, de esta manera, obtener resultados confiables.

La ausencia de la administración y el control de los recursos que se tienen en una finca ganadera es, en repetidas ocasiones, la causante de la baja calidad de los bovinos y las pérdidas de rentabilidad y de eficiencia, para satisfacer el mercado objetivo (Fedegan, 2019).

Guerra (2002) sostiene que la empresa agropecuaria, se ve afectada por otro tipo de variables, que combinan conocimiento, habilidades, tecnología de la información y comunicación (TICs); recursos

naturales, recursos humanos y de capital, para producir bienes, ya sean de origen animal o vegetal o servicios para un sector económico determinado, buscando la rentabilidad o sostenibilidad en la operación.

De acuerdo con Paniagua (2015), para determinar la validez del instrumento se debe tener en cuenta la validez de contenido, la validez de criterio y la validez del constructo, por lo cual, es indispensable evaluar el “grado en que el instrumento mide lo que debe medir” (Reinoso & Araneda, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación siguió un enfoque mixto, tecnológico psicométrico, con análisis de variables categóricas que definen el clima organizacional, con las percepciones, actitudes, motivaciones y opiniones de los miembros que forman parte de las fincas ganaderas en cuestión. El trabajo, se realizó en 6 municipios (Belén, Cerinza, Floresta, Santa Rosa, Duitama y Paipa), de la provincia del Tundama - Boyacá, Colombia. La población objeto de estudio correspondió a mayordomos trabajadores de una muestra representativa de 45 fincas ganaderas tecnificadas en producción de leche, con intervalo de confianza del 95%. El número de fincas por municipio, se calculó siguiendo la metodología de muestreo proporcional al tamaño (ppt) (Duitama, 14 fincas; Belén, 10; Santa Rosa de Viterbo, 9; Paipa, 5; Cerinza, 1 y Floresta, 1).

Para la construcción del instrumento, se analizaron las variables que manejan los autores al definir el clima organizacional, determinando cuáles de ellas estarían conforme a las condiciones del sector lechero y a continuación dar inicio con la contextualización de las dimensiones seleccionadas (Cardona Echeverri & Zambrano Cruz, 2016).

Las variables dependientes, se organizaron en 9 dimensiones (1. estructura organizacional de la empresa; 2. demandas del trabajo; 3. desempeño; 4. liderazgo y participación; 5. relaciones laborales; 6. remuneración; 7. recompensa; 8. contexto social, extralaboral y familiar y, 9. satisfacción laboral), analizadas a través de 38 indicadores, que constituyeron las variables independientes; en total, se formularon 97 preguntas para el instrumento (Anexo). Adicionalmente, se plantearon 10 preguntas para determinar las características socio-demográficas y ocupacionales, como edad, sexo, estudios, estado civil, tipo de contrato, experiencia y antigüedad en el cargo que desempeña dentro de la empresa.

La encuesta, se diseñó acorde con el sector ganadero, con un lenguaje sencillo de fácil comprensión, con preguntas objetivas, de acuerdo con las variables en una escala tipo Likert y con opciones de respuesta, que faciliten el diligenciamiento y posterior consolidación de resultados; el tiempo promedio de aplicación de la encuesta fluctúa en los 30 minutos. Para analizar las respuestas del instrumento, se debe tener claro que las preguntas con características deseadas del clima (positiva), las respuestas se califican de la siguiente forma: “Siempre 5”, “Casi siempre 4”, “Algunas veces 3”, “Casi nunca

2”, y “Nunca 1”; cuando la pregunta con características indeseadas (negativa) del clima, la calificación es: “Siempre 1”, “Casi siempre 2”, “Algunas veces 3”, “Casi nunca 4” y “Nunca 1”.

Es así que, bajo esta escala, se puede decir que el mejor clima laboral es el que más se aproxima a cinco (5), según respuestas dadas por los trabajadores. Se incluyó la opción “No aplica” (6), teniendo en cuenta que para algunas preguntas no encuentre una opción de respuesta en el cuestionario; es el caso de la pregunta “me siento a gusto con las oportunidades y facilidades de estudio para mis hijos que se ofrecen en la región”, para el caso es posible encontrar mayordomos que no vivan en la finca o no tienen hijos.

Se diseñó la encuesta y para validarla, se desarrolló una prueba piloto al 10% de la población, probando si el instrumento era comprensible en términos del lenguaje, estilo y claridad; también fue sometida al proceso de evaluación psicométrica, para la revalidación del contenido, mediante Juicio de Expertos (Robles & Rojas, 2015); este procedimiento, se basó en entrevistas cognitivas a versados en el tema, buscando aprobar el contenido de la encuesta, evaluando cada pregunta en términos de coherencia, relevancia, claridad y suficiencia. Con los resultados obtenidos con la prueba piloto y el juicio de expertos, se identificaron las fallas del instrumento de medición y se le hicieron las correcciones correspondientes (Beltrán & Téllez, 2018).

Posteriormente, se procedió con la validación estadística, determinando la confiabilidad del instrumento, con el fin de otorgarle a la información recabada, exactitud y consistencia (fiabilidad de la consistencia interna), mediante el cálculo del coeficiente de alfa de Cronbach (Hair *et al.* 1999), el cual, se obtiene a partir de la covarianza (intercorrelaciones) entre ítem de la escala Likert; igualmente, se realizó el análisis de Chi cuadrado, consistente en una prueba de hipótesis, que se utilizó para evaluar la dependencia o independencia de los datos, proponiendo una hipótesis nula: “No existe dependencia entre el clima organizacional de las fincas y las respuestas obtenidas” y una hipótesis alterna: “Existe dependencia entre el clima organizacional de las fincas y las respuestas obtenidas”.

La información recolectada, como producto de la aplicación del instrumento, se tabuló, usando, como apoyo, la construcción de tablas de contingencia, para resumir datos categóricos, los cuales, se graficaron y se analizaron cada una de las dimensiones establecidas en el estudio, permitiendo visualizar el agrupamiento que muestra las fincas, en lo referente al comportamiento similar respecto a una opción de respuesta.

Una tabla de contingencia es la presentación de la frecuencia de cada uno de los niveles que tenían las respuestas de 1 hasta 6. Para el análisis de dimensiones, indicadores e ítems y con el objetivo identificar el valor de la variable que tiene mayor frecuencia se calculó la moda. Todo este procedimiento, se hizo con el fin de hallar asociaciones e identificar la relación entre variables de naturaleza categórica y calcular la frecuencia de respuesta, entre las 97 preguntas del instrumento.

Para el análisis de resultados, se aplicó la técnica estadística multivariada de correspondencia simple (Langrand & Pinzón, 2009), que permitió visualizar gráficamente las relaciones de dependencia e independencia del conjunto de variables categóricas propuestas, según los datos obtenidos en la tabla de contingencia, abreviando los datos en un número reducido de dimensiones estadísticas. El análisis de correspondencia hace referencia a qué tan afín es cada finca a cada una de las opciones de respuestas “1, 2, 3, 4, 5”.

De acuerdo con la Política de Tratamiento de Datos Personales (Ley 1581 de 2012, Decreto 1377 de 2013), los ganaderos propietarios de las fincas objeto de estudio, firmaron previamente un documento, donde expresaban la autorización para que el mayordomo respondiera el cuestionario, con el compromiso que la información obtenida se utilizaría solo con fines estrictamente investigativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La construcción del instrumento (Anexo), se soporta en 97 preguntas, 70 positivas y 27 negativas, incluyendo, adicionalmente,

8 preguntas para las variables sociodemográficas (Tabla 1). El alfa de Cronbach obtenido fue de 0.9044395, para las 45 fincas incluidas en el estudio, lo que evidencia que los datos son confiables y que existe consistencia interna entre las preguntas del cuestionario.

Utilizando la tabla de contingencia, construida a partir del cálculo de la moda para cada dimensión estudiada, realizando el análisis de Chi cuadrado (X^2), se obtuvieron valores de 787.27, con 220 grados de libertad y una probabilidad $<2.2^{-16}$; la probabilidad es menor a 0.01 y se puede afirmar que es altamente significativo, es decir, que existe dependencia entre el clima organizacional de las fincas ganaderas y las respuestas logradas con la aplicación del cuestionario, lo que significa, que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna; por esta razón es válido y razonable realizar un agrupamiento de las fincas, mediante un análisis de correspondencia simple para cada una de las 9 dimensiones, puesto que todas las preguntas tienen igual número de respuestas posibles y se clasifican como variables de tipo cualitativo.

De acuerdo con lo anterior, se obtuvo la frecuencia de las opciones de respuesta, en las 45 fincas, para cada una de las dimensiones de

Tabla 1. Variables sociodemográficas.

1. Rango de edad:	5. Experiencia en producción de ganado de leche es de:
a. Menor de 20 años	a. Menor a 1 año
b. Entre 21 y 25 años	b. Entre 1 y 3 años
c. Entre 26 y 35 años	c. Entre 3 y 5 años
d. Entre 36 y 50 años	d. Entre 6 y 10 años
e. Mayor de 50 años	e. Mayor de 10 años
2. Género:	6. Nivel del cargo que desempeña dentro de la empresa
a. Masculino	a. Mayordomo
b. Femenino	b. Profesional
	c. Ordeñador
	d. Operativo
3. Grado de escolaridad:	7. Tipo de contrato
a. Básica primaria	a. A término fijo
b. Bachillerato	b. A término indefinido
c. Técnico	c. Verbal
d. Universidad	d. Sin contrato
4. Estado civil:	8. Su antigüedad en este trabajo es de:
a. Soltero	a. Menor a 1 año
b. Casado	b. Entre 1 y 3 años
c. Viudo	c. Entre 3 y 5 años
d. Separado	d. Más de 5 años
e. Unión libre	

estudio (Tabla 2), donde el mayor porcentaje de agrupamiento de las respuestas está alrededor de la opción 5, representado en el 57,32%, correspondiente a 2.502 respuestas, seguida por la respuesta 4, del 14,46% (631 respuestas); estos dos ejes explican, en un 71,96%, el comportamiento cercano al ideal de las variables que analizan el clima organizacional de las empresas ganaderas objeto de estudio. El porcentaje restante de 28,04% (correspondiente a respuestas 1, 2 y 3) es la referencia de análisis de puntos críticos a corregir, en la gestión del recurso humano.

El análisis gráfico de correspondencia para la cada una de las 9 dimensiones, se puede ver en las figuras 1 y 2, donde se aprecia el agrupamiento de las fincas, alrededor de las seis (6) opciones de respuesta. El tener un mayor peso entre la variable original y la dimensión, implica un mayor grado de asociación.

En la tabla 3, se puede apreciar el análisis de correspondencia, de las nueve dimensiones, donde la estructura organizacional de las empresas ganaderas se analizaron 5 indicadores, soportados en 14 ítems, observando que la tendencia a valoraciones 1, 2 y 3, representan el 31,1%, identificando los problemas y riesgos que afectan el clima organizacional, cuando al trabajador no se les da a conocer los objetivos de la empresa, sus funciones, la importancia de su trabajo, los horarios, las reglas y sanciones y la dotación. Referente a las respuestas 4, 5 y 6, se agrupó el 68,90% de las fincas, obteniendo una valoración cercana al ideal de clima organizacional.

La dimensión demandas del trabajo fue analizada, a través de 32 preguntas, distribuidas en 6 indicadores, observando que en las respuestas 1, 2 y 3, se obtuvo el 48,9%, lo cual, evidencia problemas relacionados con demandas de carga mental, la jornada de trabajo, ambientales y de esfuerzo físico, la responsabilidad del cargo y consistencia del rol, situaciones que amenazan su ambiente laboral. Alrededor de la opción de respuesta 4, 5 y 6, se agrupó el 51,1% de las fincas, cercano al ideal.

En la dimensión Desempeño fueron analizadas 14 preguntas, distribuidas en 4 indicadores. La tendencia de valoraciones de las respuestas 1, 2 y 3 fue del 28,9%, detectándose problemas relacionados con control sobre el trabajo, uso de habilidades,

destrezas, conocimientos y experiencia, participación y manejo del cambio, capacitaciones para el desarrollo de sus labores afectando a la armonía en el trabajo. Alrededor de la opción de respuesta 4, 5 y 6, se agrupó el 71,13% de las fincas, afectando positivamente el ambiente laboral para esta dimensión.

Para la dimensión Liderazgo y participación fueron analizadas 9 preguntas, distribuidas en 8 indicadores. Se observa que el 11,11% de las fincas, con tendencia a valoraciones 1, 2 y 3, se observan problemas relacionados con el jefe, respecto a la autonomía, la consecución de resultados, la resolución de conflictos, la motivación, la interacción, la comunicación con sus colaboradores, el apoyo y participación, situación que, en algunas ocasiones, afecta su relación con el jefe. Alrededor de la opción de respuesta 4, 5 y 6, se agrupó un 88,92% de las fincas, demostrándose buena relación con el jefe.

En la dimensión Relaciones laborales fueron analizadas 5 preguntas, distribuidas en 3 indicadores; solo se evidenció problema respecto a relaciones sociales en el trabajo, retroalimentación, conflicto y trabajo en equipo, en 2 fincas (4,44%). Alrededor de la opción de respuesta 4 y 5, se agrupó el 84,43% de las fincas, evidenciándose que esta dimensión no afecta negativamente el ambiente laboral.

Respecto a la dimensión Remuneración fueron analizadas 5 preguntas, distribuidas en 1 solo indicador; el 26,27% tuvieron tendencia a valoraciones 1, 2 y 3, detectándose problemas relacionados con la percepción negativa que tienen los trabajadores respecto a su salario y prestaciones sociales, sobre todo en la consideración que deberían ganar más dinero por su trabajo. El ideal, con tendencias hacia opciones de respuesta 4, 5 y 6, correspondiente al 73,34% de las fincas, consideró sentirse bien respecto a su remuneración.

Para la dimensión Recompensa, se analizaron 3 preguntas, distribuidas en 2 indicadores; un 22,22% de la población tuvo tendencia a valoraciones 1, 2 y 3, evidenciándose problemas relacionados con reconocimiento y con compensación y con bajo número de programas de incentivos y de bonificaciones. Referente a las opciones de respuesta 4, 5 y 6 corresponde al 77,78%, queriendo decir, que se sienten bien referente a su recompensa.

Tabla 2. Frecuencia en las opciones de respuesta.

Opción de respuesta	Número de respuestas obtenidas	% Por opción de respuesta	Agrupamiento
1	401	9,19%	28,04%
2	242	5,54%	
3	581	13,31%	
4	631	14,46%	71,78%
5	2.502	57,32%	
6	8	0,18%	
Total	4.365	100,00%	

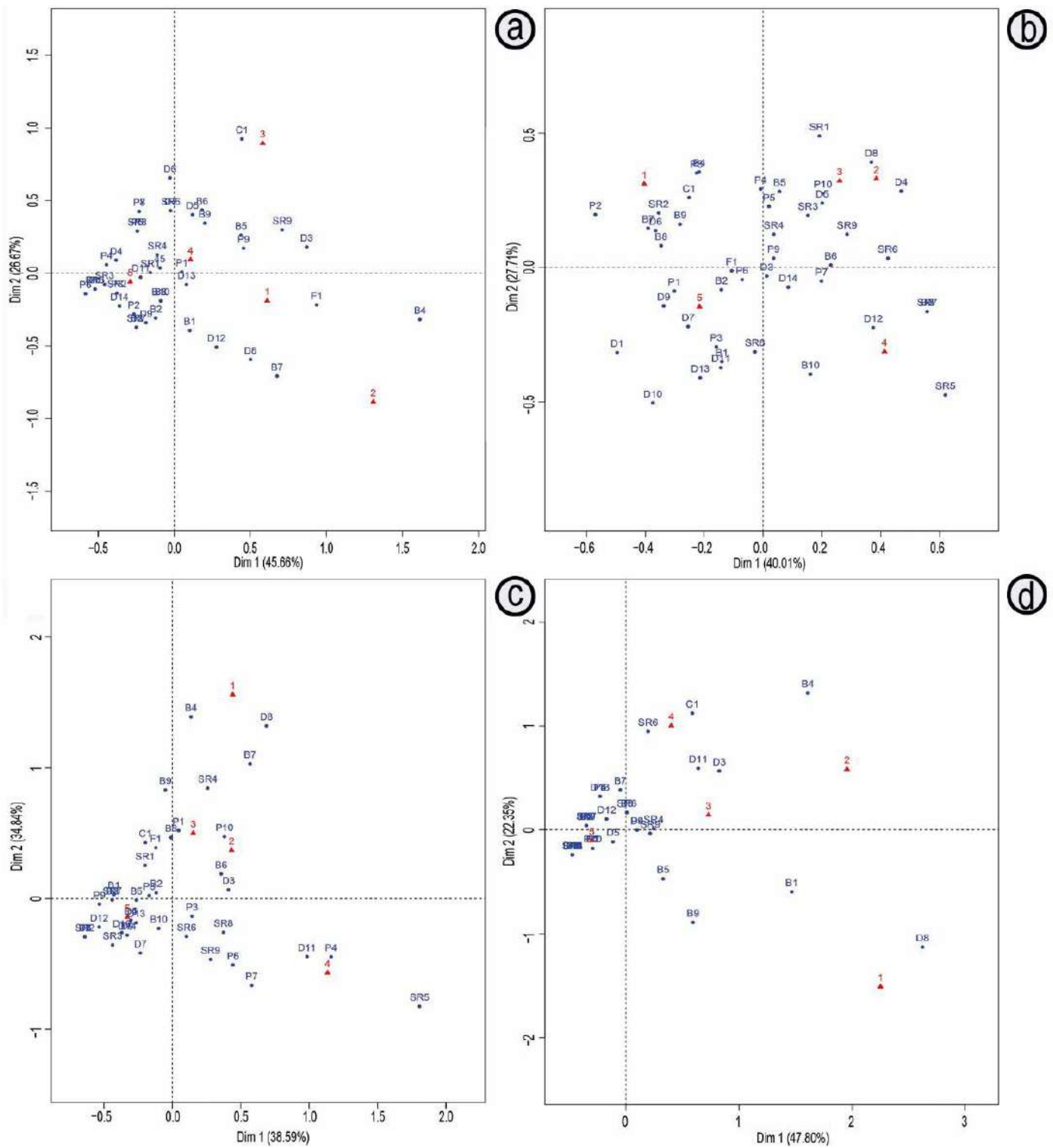


Figura 1. Análisis de correspondencia para cada una de las 9 dimensiones consideradas en la investigación. a. Dimensión 1: estructura organizacional de la empresa; b. Dimensión 2: demandas de trabajo; c. Dimensión 3: Desempeño; d. Dimensión 4: Liderazgo y participación.

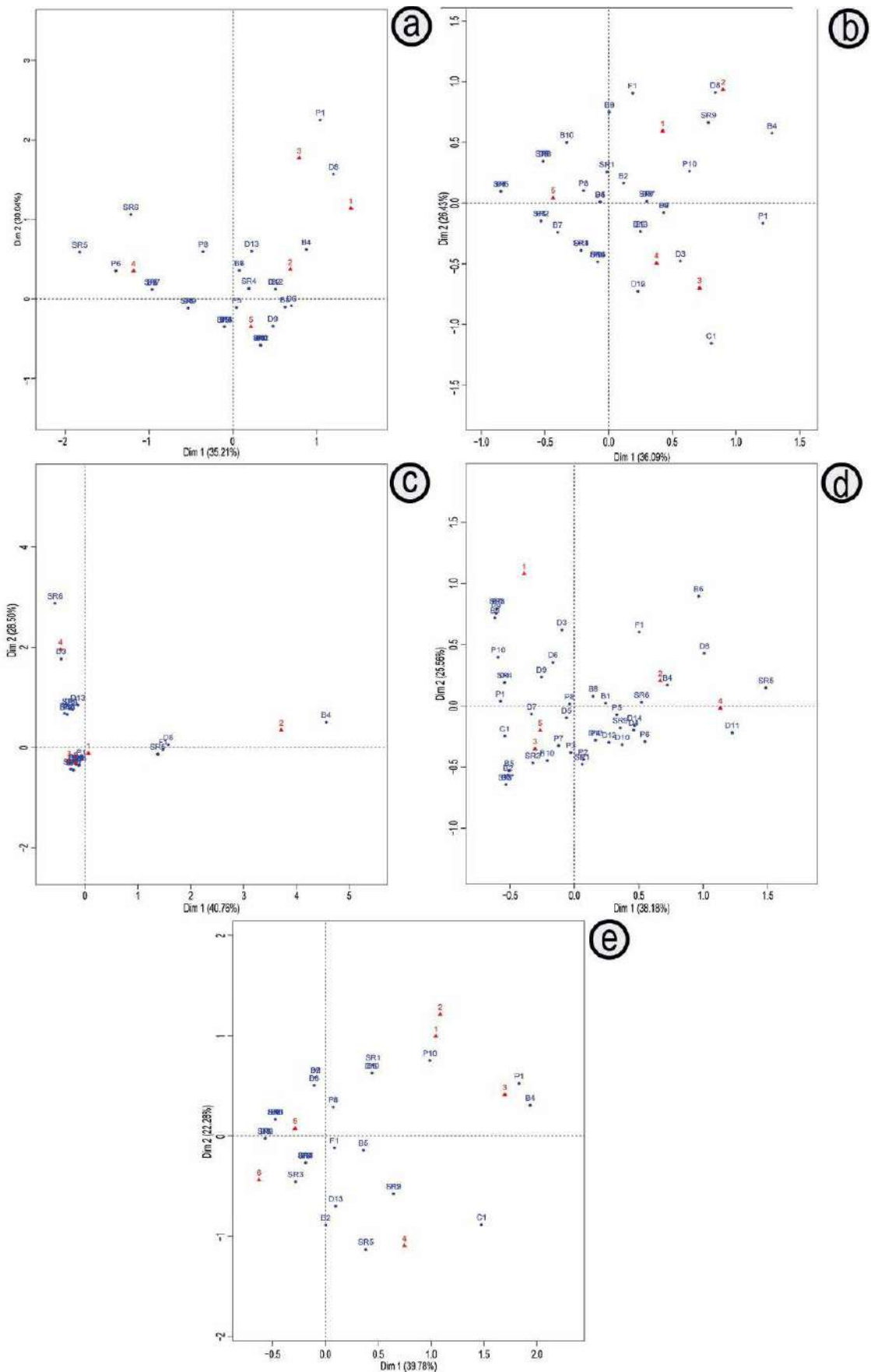


Figura 2. análisis de correspondencia para cada una de las 9 dimensiones consideradas en la investigación. a. Dimensión 5: Relaciones laborales; b. Dimensión 6: Remuneración; c. Dimensión 7: Recompensa; d. Dimensión 8: Contexto social; e. Dimensión 9: Satisfacción laboral.

Tabla 3. Análisis de correspondencia.

No.	Dimensión	Indicadores	Preguntas	Porcentaje Frecuencia de respuesta					
				1	2	3	4	5	6
1	Estructura organizacional de la empresa	5	14	17,8	0	13,3	17,8	51,1	0,02
2	Demandas del trabajo	6	32	15,6	8,9	24,4	20	31,1	0,02
3	Desempeño	4	14	6,7	4,4	17,8	17,8	53,3	0,03
4	Liderazgo y participación	8	9	2,2	2,2	6,7	11,1	77,8	0,04
5	Relaciones laborales	3	5	0	11,1	4,4	26,7	57,8	0,02
6	Remuneración	1	5	4,4	11,1	11,1	24,4	48,9	0,02
7	Recompensa	2	3	6,7	4,4	11,1	8,9	68,9	0,02
8	Contexto social, extralaboral y familiar	2	9	15,6	17,8	24,4	11	31,1	0,02
9	Satisfacción laboral	6	6	0	0	8,9	15,6	75,6	0,02

En la dimensión Contexto social, extralaboral y familiar fueron analizadas 9 preguntas, distribuidas en 2 indicadores. Se encontraron el 57,8% con tendencia a valoraciones 1, 2 y 3, lo cual, evidencia problemas relacionados con la escasa oportunidad de interacción con vecinos y amigos, recreación y esparcimiento, afectación del trabajo por consumo de bebidas alcohólicas en reuniones con amigos, la no realización de eventos de integración familiar por parte de la empresa, las relaciones familiares. Un 42,24% de las fincas tiene una valoración cercana al ideal de clima organizacional respecto a esta dimensión.

Para la dimensión Satisfacción laboral fueron analizadas 6 preguntas, en 6 indicadores, con la observación que, para las opciones de respuesta 1 y 2, no se encontró afinidad. En cuanto a la opción 3, se identificó que el 8,88% de la población evidencia tener dificultades, por no sentirse bien viviendo en el campo, vías de acceso difíciles y se encuentran muy aislados, la vivienda no es cómoda, les gustaría vivir en la ciudad, no pueden acceder a educación para los hijos. Alrededor de las opciones 4, 5 y 6, se agrupó el 91,1% de las fincas, valoración cercana al ideal de clima organizacional.

Una vez se analizaron los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que las empresas ganaderas cuentan con un Clima organizacional favorable, que influye positivamente en el desempeño de sus trabajadores.

Por otra parte, se puede decir que, con la aplicación del cuestionario, se pudo demostrar que la hipótesis nula fue rechazada, en favor de la hipótesis alternativa, puesto que se demostró dependencia entre el clima organizacional de las fincas ganaderas y las respuestas logradas.

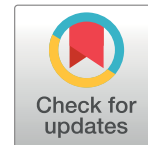
Con la evaluación de los factores del clima organización de las empresas ganaderas permitió identificar las principales causas que afectan negativamente a los trabajadores, lo que conlleva al

empresario desarrollar estrategias dirigidas a fortalecer estos aspectos y, de esta manera, contribuir con el mejoramiento continuo del ambiente de trabajo.

REFERENCIAS

- BELTRÁN, D.; TÉLLEZ, G. 2018. Estudio de percepción del clima organizacional de las empresas tecnificadas de ganadería de leche de la provincia del Tundama, Boyacá, Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 65(1):48-74.
<http://doi.org/10.15446/rfmvz.v65n1.72023>
- CABRERA BALLONA, A.; DIAZ PERERA, M.A. 2016. Tensiones por cultura organizacional en Petróleos Mexicanos, Región Sur. *Revista Mexicana de Sociología*. 78(4):713-740.
<http://dx.doi.org/10.22201/iis.01882503p.2016.4.57237>
- CARDONA ECHEVERRI, D.R.; ZAMBRANO CRUZ, R. 2016 Revisión de instrumentos de evaluación de clima organizacional. *Estudios Gerenciales*. 30(131):184-9.
<https://www.doi.org/10.1016/j.estger.2014.04.007>
- CHAGRAY AMERI, N.H.; RAMOS Y YOVERA, S.E.; NERI AYALA, A.C.; MAGUIÑA MAZA, R.M.; HIDALGO VASQUEZ, Y.N. 2020. Clima organizacional y desempeño laboral, caso: empresa lechera peruana. *Revista Nacional De Administración*. 11(2):e3297.
<https://doi.org/10.22458/rna.v11i2.3297>
- CONGRESO DE COLOMBIA. 2012. Ley estatutaria 1581 de 2012, Decreto 1377 de 2013. Política de Tratamiento de Datos Personales almacenados en documentos físicos o digitales.

6. DÍAZ PAREDES, J.F.; DUQUE CEBALLOS, J.L. 2017. Análisis y Fortalecimiento de la Cultura Organizacional en una Institución de Educación Superior de la Ciudad de Cali. *Revista de Economía & Administración*. 14(2):31-46.
7. FEDERACION COLOMBIANA DE GANADEROS, FEDEGAN. 2019. Plan estratégico de la ganadería colombiana. Disponible desde Internet en: <https://www.fedegan.org.co/plan-estrategico-de-la-ganaderia-colombiana-2019> (con acceso el 07/03/2021)
8. GONZÁLEZ DÍAZ, F. 2017. Por qué medir el clima organizacional. *Revista de Negocios del IEEM*. 20(1):70-71.
9. GUERRA, G. 2002. El agronegocio y la empresa agropecuaria frente al siglo XXI. *Agroamerica*. 509p.
10. HAIR, J.; ANDERSON, R.; TATHAM, R.; BLACK, W. 1999. Análisis multivariante. 5o. Ed. Prentice Hall Iberia (Madrid). 79p.
11. LANGRAND, C.; PINZÓN, L.M. 2009. Análisis de datos. Métodos y ejemplos. Escuela Colombiana De Ingeniería. 388p.
12. MOLINO, H.; CORENA, P. 2014. Medición del clima organizacional del área Administrativa de la Universidad de Sucre y propuesta de mejoramiento. *Revista Pensamiento Gerencial*. 2:1-8. <https://doi.org/10.24188/rpg.v0i2.136>
13. NADER, M.; PEÑA BERNATE, S.P.; SANTA-BÁRBARA, E.S. 2014. Predicción de la satisfacción y el bienestar en el trabajo: hacia un modelo de organización saludable en Colombia. *Estudios Gerenciales*. 30(130):31-39. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.02.006>
14. PANIAGUA, S.R.E. 2015. Metodología para la validación de una escala o instrumento de medida. Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública. Medellín, (Colombia). 5p.
15. REINOSO, H.; ARANEDA, B. 2007. Diseño y validación de un modelo de medición del clima organizacional basado en percepciones y expectativas. *Revista Ingeniería Industrial*. 6(1):39-54.
16. ROBLES G.; ROJAS, M. 2015. La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada a la Enseñanza de las Lenguas*. 18.
17. SEGREDO PÉREZ, A.M. 2013. Clima organizacional en la gestión del cambio para el desarrollo de la organización. *Rev. Cubana de Salud Pública (Cuba)*. 39:385-393.
18. SUAREZ, A. 2018. Incidencia del clima organizacional en el desempeño laboral, el servicio al cliente: Corporación de Telecomunicaciones del Cantón La Libertad. *Revista Universidad y Sociedad (Ecuador)*. 10(1):180-186.
19. VEGA, J.; RODRIGUEZ, E.; MONTOYA, A. 2012. Metodología de evaluación del clima organizacional a través de un modelo de regresión logística para una universidad en Bogotá, Colombia. *Revista CIFE*. 14(21):247-272. <https://doi.org/10.15332/s2248-4914.2012.0021.03>



Anexo

Encuesta medición clima organizacional empresas ganaderas.

DIMENSIÓN	INDICADOR	No. ÍTEM	PREGUNTA	POSITIVA	NEGATIVA	No aplica	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA	Políticas y planes de gestión	1	Me informan con claridad cuáles son mis funciones.	X		6	5	4	3	2	1
		2	Me informan cuáles son las decisiones que puedo tomar en mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		3	Me explican claramente los resultados que debo lograr en mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		4	Me explican claramente la importancia de mi trabajo en la finca.	X		6	5	4	3	2	1
		5	Me explican claramente los objetivos de mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		6	Me informan claramente quien me puede orientar para hacer mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
	Reglas institucionales	7	Un jefe directo coordina funciones y responsabilidades de los empleados.	X		6	5	4	3	2	1
		8	En la empresa están definidos horarios de trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		9	La empresa suministra dotación para desarrollar el trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		10	En la empresa se tienen previstos los períodos de descanso, vacaciones y compensatorios.	X		6	5	4	3	2	1
		11	La empresa brinda Seguridad Social a sus empleados.	X		6	5	4	3	2	1
	Sistemas de contratación y despidos	12	En la empresa se contrata mediante contrato laboral firmado.	X		6	5	4	3	2	1
	Ausentismo	13	En la empresa se presenta ausentismo injustificado.		X	6	1	2	3	4	5
	Rotación de personal	14	En la finca donde trabajo hay cambios continuos de personal		X	6	1	2	3	4	5

Continuación Anexo.

DIMENSIÓN	INDICADOR	No. ÍTEM	PREGUNTA	POSITIVA	NEGATIVA	No aplica	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
2. DEMANDAS DEL TRABAJO	Demandas de carga mental	15	Mi trabajo me exige hacer mucho esfuerzo mental.		X	6	1	2	3	4	5
		16	En mi trabajo tengo que tomar decisiones difíciles muy rápido.		X	6	1	2	3	4	5
		17	Mi trabajo me exige atender a muchos asuntos al mismo tiempo.		X	6	1	2	3	4	5
	Responsabilidad del cargo	18	En mi trabajo respondo por maquinaria y equipos costosos.		X	6	1	2	3	4	5
		19	En mi trabajo respondo por dinero de la empresa.		X	6	1	2	3	4	5
		20	Respondo ante mi jefe por todos los resultados productivos de la finca.		X	6	1	2	3	4	5
		21	Si me debo ausentar de mi trabajo hay quien me reemplace en mis funciones.	X		6	5	4	3	2	1
		22	Respondo por personal a mi cargo.	X		6	5	4	3	2	1
		23	Por la cantidad de trabajo que tengo debo quedarme tiempo adicional.		X	6	1	2	3	4	5
		24	Me alcanza el tiempo de trabajo para tener al día mis deberes.	X		6	5	4	3	2	1
	Demandas ambientales y de esfuerzo físico	25	Por la cantidad de trabajo que tengo debo trabajar sin parar durante toda mi jornada laboral.		X	6	1	2	3	4	5
		26	Mi trabajo me exige hacer mucho esfuerzo físico.		X	6	1	2	3	4	5
		27	Las actividades que desarrollo me exponen a condiciones ambientales cambiantes como lluvia, sol, frío.		X	6	1	2	3	4	5
		28	Siento que las condiciones de mi sitio de trabajo son óptimas para desarrollar mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
	Demanda de la jornada de trabajo	29	Me afectan las condiciones climáticas para desarrollar mis labores.	X		6	5	4	3	2	1
30		En esta finca las jornadas de trabajo están establecidas y se cumplen.		X							
31		En mi trabajo es posible tomar pausas para descansar.	X		6	5	4	3	2	1	
32		En mi trabajo puedo tomar fines de semana o días de descanso al mes.	X		6	5	4	3	2	1	

Continuación Anexo

DIMENSIÓN	INDICADOR	No. ÍTEM	PREGUNTA	POSITIVA	NEGATIVA	No aplica	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
2. DEMANDAS DEL TRABAJO	Demanda de la jornada de trabajo	33	Cuando estoy en mi descanso fuera del trabajo sigo pensando en el trabajo.		X	6	1	2	3	4	5
		34	Por causa de mi trabajo, discuto con mi familia o amigos.		X	6	1	2	3	4	5
		35	Debo atender asuntos de trabajo fuera de mi jornada laboral.		X	6	1	2	3	4	5
		36	Por mi trabajo el tiempo que paso con mi familia y amigos es muy poco.		X	6	1	2	3	4	5
		37	Siento deseos de dejar mi trabajo por las estrictas jornadas que debo cumplir.		X	6	1	2	3	4	5
	Consistencia del rol	38	Me asignan el trabajo teniendo en cuenta mis capacidades.	X		6	5	4	3	2	1
		39	Desarrollo las funciones para las cuales fui contratado.	X		6	5	4	3	2	1
		40	Mi trabajo me permite aprender nuevas cosas.	X		6	5	4	3	2	1
		41	En el trabajo me dan órdenes contradictorias.		X	6	1	2	3	4	5
		42	En mi trabajo me piden hacer labores innecesarias.		X	6	1	2	3	4	5
	Grado de compromiso	43	En mi trabajo realizo actividades que se podrían hacer de una forma más práctica.		X	6	1	2	3	4	5
		44	Siento el deseo de permanecer vinculado a la empresa.	X		6	5	4	3	2	1
		45	Siento que solo estoy en esta empresa por mi necesidad de trabajo.		X	6	1	2	3	4	5
3. DESEMPEÑO	Control sobre el trabajo	46	Tengo sentimientos de gratitud por la oportunidad de trabajo que la empresa me brinda.	X		6	5	4	3	2	1
		47	Puedo decidir cuánto trabajo hago en el día.	X		6	5	4	3	2	1
		48	Puedo decidir la velocidad a la que trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
	Uso de habilidades, destrezas, conocimientos y experiencia	49	Puedo cambiar el orden de las actividades en mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		50	Mi trabajo me permite aplicar mis conocimientos.	X		6	5	4	3	2	1
		51	Mi trabajo me permite desarrollar mis habilidades y destrezas.	X		6	5	4	3	2	1
		52	Se me suministran los materiales y recursos necesarios para realizar mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1

Continuación Anexo

3. DESEMPEÑO	Participación y manejo del cambio	53	Los cambios en mi trabajo han sido beneficiosos.	X		6	5	4	3	2	1
		54	Me explican claramente los cambios que ocurren en mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		55	Puedo dar sugerencias sobre los cambios que ocurren en mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		56	Cuando se presentan cambios en mi trabajo se tienen en cuenta mis ideas y sugerencias.	X		6	5	4	3	2	1
		57	He sido preparado para aceptar y enfrentar los cambios que ocurran en la forma de trabajar.	X		6	5	4	3	2	1
	Capacitación y desarrollo para el trabajo	58	La empresa me permite asistir a capacitaciones relacionadas con mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
59		Considero que las capacitaciones son importantes y necesarias para mejorar mi desempeño en el trabajo.	X		6	5	4	3	2	1	
60		En mi empresa hay un programa de capacitación adecuado a lo que yo necesito saber para desarrollar mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1	
4. LIDERAZGO Y PARTICIPACIÓN	Autonomía	61	Mi jefe me permite tomar decisiones en el desarrollo de mi trabajo, para lograr los objetivos de la empresa.	X		6	5	4	3	2	1
	Consecución de resultados	62	Mi jefe promueve que se alcancen los resultados propuestos en la finca.	X		6	5	4	3	2	1
	Resolución de conflictos	63	Mi jefe contribuye a la solución de los conflictos que se presentan en la finca.	X		6	5	4	3	2	1
	Motivación	64	Mi jefe me motiva a desarrollar mi trabajo eficientemente.	X		6	5	4	3	2	1
	Interacción	65	Mi jefe tiene buena relación laboral conmigo y con mis compañeros en la finca.	X		6	5	4	3	2	1
	Comunicación con sus colaboradores	66	Mi jefe me informa de los objetivos que tenemos que lograr en la finca.	X		6	5	4	3	2	1
		67	Mi jefe se comunica y se relaciona respetuosa y eficientemente con sus empleados.	X		6	5	4	3	2	1
	Apoyo	68	Encuentro en mi jefe apoyo y confianza para el desarrollo de mis actividades.	X		6	5	4	3	2	1
	Participación	69	Mi jefe estimula y permite la participación de sus colaboradores.	X		6	5	4	3	2	1

Continuación Anexo

DIMENSIÓN	INDICADOR	No. ÍTEM	PREGUNTA	POSITIVA	NEGATIVA	No aplica	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
5. RELACIONES LABORALES	Relaciones sociales en el trabajo	70	Percibo compañerismo y apoyo entre todos los que trabajamos en la finca	X		6	5	4	3	2	1
		71	Acato y apoyo a mi jefe en sus decisiones, órdenes y orientaciones.	X		6	5	4	3	2	1
	Retroalimentación de desempeño	72	Mi jefe evalúa mi desempeño y me da la información respecto a mis fortalezas y debilidades para mejorar mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
	Conflicto	73	En mi empresa se presentan conflictos laborales que afectan mi tranquilidad en el trabajo.		X	6	1	2	3	4	
	Trabajo en equipo	74	En la finca se trabaja en equipo para alcanzar los resultados propuestos.	X		6	5	4	3	2	
6. REMUNERACIÓN	Salario y prestaciones sociales	75	En la finca se me paga el salario justo de acuerdo a mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	
		76	Mi remuneración cubre mis necesidades y las de mi familia.	X		6	5	4	3	2	
		77	Se me paga mi salario en las fechas acordadas.	X		6	5	4	3	2	
		78	Considero que debería ganar más dinero por mi trabajo.		X	6	1	2	3	4	
		79	Recibo oportunamente mis prestaciones salariales.	X		6	5	4	3	2	
7. RECOMPENSA	Reconocimiento y compensación	80	Considero el buen trato y el reconocimiento como una compensación a mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	
	Reconocimiento y compensación	81	La empresa considera mi desempeño para ofrecerme oportunidades de desarrollo.	X		6	5	4	3	2	1
	Programa de incentivos y bonificaciones	82	Se me otorgan incentivos y bonificaciones económicas por logro de metas propuestas.	X		6	5	4	3	2	1

Continuación Anexo

DIMENSIÓN	INDICADOR	No. ÍTEM	PREGUNTA	POSITIVA	NEGATIVA	No aplica	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
8. CONTEXTO SOCIAL, EXTRALABORAL Y FAMILIAR	Tiempo fuera del trabajo	83	En la finca donde laboro hay oportunidad de interactuar con vecinos y amigos.	X		6	5	4	3	2	1
		84	Me reúno con amigos del trabajo para realizar actividades de recreación y esparcimiento.	X		6	5	4	3	2	1
		85	En reuniones con mis amigos se presenta la oportunidad de tomar bebidas alcohólicas, ocasionando malestares posteriores que afectan mi trabajo en la finca.		X	6	1	2	3	4	5
		86	Tengo oportunidad de interactuar con trabajadores de otras fincas que desarrollan mi misma labor.	X		6	5	4	3	2	1
		87	Mi empresa programa eventos de integración familiar.	X		6	5	4	3	2	1
	Relaciones familiares	88	Mi familia participa del trabajo en la finca donde laboro.	X		6	5	4	3	2	1
		89	Mi familia me apoya para desarrollar mi trabajo.	X		6	5	4	3	2	1
		90	Los ingresos familiares son suficientes para costear las necesidades básicas del grupo familiar.	X		6	5	4	3	2	1
		91	Las situaciones de mi vida familiar o personal afectan mi rendimiento en el trabajo.		X	6	1	2	3	4	5
	9. SATISFACCIÓN LABORAL	Gusto por vivir y trabajar en el campo	92	Si tuviera una oportunidad de trabajo en la ciudad, desearía dejar este trabajo e irme con mi familia a vivir en el área urbana.		X	6	1	2	3	4
Gusto por el trabajo con ganadería		93	Me gusta trabajar con ganadería de leche.	X		6	5	4	3	2	1
Vivienda		94	Percibo que la vivienda que me proporcionan en la finca me da la comodidad para vivir con mi familia.	X		6	5	4	3	2	1
Vías de acceso al sitio de trabajo		95	Me parece fácil desplazarme a otros sitios para cumplir compromisos como: mercar, citas médicas, trámites personales.	X		6	5	4	3	2	1
Educación de los hijos		96	Me siento a gusto con las oportunidades y facilidades de estudio para mis hijos que se ofrecen en la región.	X		6	5	4	3	2	1
Percepción de bienestar		97	Percibo bienestar con mi trabajo, para mi familia y para mí	X		6	5	4	3	2	1



Identidades profesionales de extensionistas rurales en diferentes países de África, América Latina y Oceanía: un estudio comparativo

Professional identities of rural extension workers in different countries of Africa, Latin America and Australia: a comparative study

Fernando Landini¹; Sandra Hoffman-Martins²; Manuela Martinez³; Eduardo Tarantini⁴; Carlos Nische⁵; Haydelín Rodríguez-Chávez⁶

¹Lic. en Psicología, M.Sc., Ph.D. Universidad de la Cuenca del Plata, UCP; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET; Misiones, Argentina; e-mail: landini_fer@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5322-2921>

²Lic. en Psicología. Estudiante de doctorado. Universidad de la Cuenca del Plata, UCP; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET; Misiones, Argentina; e-mail: martinssand@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0853-6590>

³Lic. en Psicología. Estudiante de doctorado. Universidad de la Cuenca del Plata, UCP; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET; Misiones, Argentina; e-mail: manuelamartinez.r@outlook.com.ar; <https://orcid.org/0000-0002-4863-4411>

⁴Lic. en Psicología. Estudiante de doctorado. Universidad de la Cuenca del Plata, UCP; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET; Misiones, Argentina; e-mail: edu_tarantini@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0457-8419>

⁵Lic. en Psicología. Estudiante de doctorado. Universidad de la Cuenca del Plata, UCP; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET; Misiones, Argentina; e-mail: maurycmn@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5725-4202>

⁶Lic. en Psicología. Estudiante de doctorado. Universidad de la Cuenca del Plata, UCP; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET; Misiones, Argentina; e-mail: hrodchavez@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1747-5833>

Cómo citar: Landini, F.; Hoffman-Martins, S.; Martinez, M.; Tarantini, E.; Nische, C.; Rodríguez-Chávez, H. 2021. Identidades profesionales de extensionistas rurales en diferentes países de África, América Latina y Oceanía: un estudio comparativo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1914. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1914>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: mayo 1 de 2020 **Aceptado:** abril 9 de 2021 **Editado por:** Helber Adrián Arévalo-Maldonado

RESUMEN

La extensión rural es una profesión altamente compleja. Es claro que las prácticas más efectivas, se deben adaptar de manera flexible a los contextos y no se pueden pensar en términos de la aplicación tecnocrática de procedimientos. Las identidades profesionales organizan el modo en que los integrantes de diferentes profesiones

comprenden su rol y dan forma a sus prácticas laborales. En este trabajo, se estudian las identidades profesionales de los extensionistas, a fin de contribuir a la comprensión de sus prácticas. A partir de un cuestionario, se analizan las identidades profesionales de extensionistas rurales de Argentina, Australia, Brasil, Chile, México, Nueva Zelanda, Nigeria, Paraguay y Sudáfrica. Los datos fueron procesados con el apoyo del software SPSS. Partiendo de una

tipología teórica, se observa que la identidad más frecuente es la de un profesional orientado al apoyo productivo-empresarial, seguida por la de aquellos que piensan su rol en términos de mejora de la calidad de vida de los productores. Son pocos los que conciben su profesión en términos de impulsar procesos de cambio social y superación de situaciones de injusticia. Se diferencian dos tipos de países, aquellos donde predomina la identidad de profesionales que apoyan a los agricultores, a nivel productivo-empresarial y aquellos donde esta identidad posee un porcentaje similar a la centrada en la mejora de la calidad de vida. En Nigeria y Sudáfrica es más frecuente la presencia de extensionistas, que se conciben como impulsores de procesos de cambio social.

Palabras clave: Identidad profesional; Extensión rural; Productividad agrícola; Calidad de vida; Cambio social.

ABSTRACT

Rural extension is a highly complex profession. It is apparent that the most effective practices have to adapt flexibly to the contexts, and cannot be understood in terms of the application of technocratic procedures. Professional identities organize how practitioners understand their role and shape their job practices. In this article, the professional identities of extension workers are studied, with the aim to contribute to the understanding of their practices. Based on a questionnaire, the professional identities of extension workers from Argentina, Australia, Brazil, Chile, Mexico, New Zealand, Nigeria, Paraguay and South Africa were analyzed. Data was processed using SPSS software. Using a theoretical typology, results show that the most frequent identity is that of a professional aimed at supporting farmers at a productive or business level, followed by those who understand their role in terms of improving farmers' quality of life. Finally, only few respondents conceive their role as promoters of processes of social change and overcoming of injustice situations. Two types of countries were identified, one where the identity of supporting farmers at a productive or business level prevails, and other where this identity has similar support to that of helping farmers to improve their quality of life. In Nigeria and South Africa, it is more frequent to find extension workers who understand themselves as facilitators of processes of social change.

Keywords: Professional identity; Rural extension; Agricultural productivity; Quality of life; Social change.

INTRODUCCIÓN

Existe un creciente interés en la literatura académica por el estudio de las identidades de profesionales de diferentes áreas y disciplinas (Ruvalcaba-Coyaso *et al.* 2011). Balderas Gutiérrez (2013) conceptualiza a la identidad profesional como las representaciones que le permiten a un miembro de un grupo profesional describirse y compararse con otras profesiones. En este sentido, la identidad profesional hace referencia a los atributos, las características y las prácticas con las que un sujeto se identifica y vive como propias, como resultado de reconocerse como parte de un gremio o grupo profesional particular. Atendiendo a la relación existente entre

las identidades profesionales y las prácticas de las personas en el marco de su trabajo, se hace evidente el interés del estudio de las identidades profesionales de los extensionistas rurales, como vía para comprender su desempeño profesional.

Reconstruyendo antecedentes, se observa que algunos autores han analizado las identidades de los extensionistas rurales; para Martín (2010), la identidad profesional de los extensionistas se encuentra organizada a partir de los principios del paradigma de la modernización, particularmente, la premisa de difusión de una racionalidad moderna y occidental apoyada en el positivismo, opuesta a la racionalidad cultural, propia de las comunidades locales. Por otra parte, Méndez Sastoque (2015) destaca que la identidad profesional de los extensionistas se construye en torno a la experiencia de trabajo con los productores y se caracteriza por un sentimiento de satisfacción, a partir del apoyo brindado a poblaciones vulnerables, mientras que Albaladejo *et al.* (2007) estudiaron la identidad de extensionistas rurales en Francia, diferenciando entre una identidad laboral, vinculada con las obligaciones institucionales y con la cultura organizacional de las entidades que los contratan y una identidad propiamente profesional, relacionada con sus prácticas en las comunidades, que van más allá de su rol institucional y de sus conocimientos académicos.

Se pueden identificar tres modos generales de comprender a las prácticas de extensión rural, que van a dar forma a tres identidades profesionales diferenciadas. Una primera perspectiva piensa a la extensión rural como una profesión orientada a la mejora de las prácticas productivas, comerciales u organizacionales de los productores. Este enfoque, va en línea con el modelo de extensión rural tradicional, surgido en América Latina, a mediados del siglo XX, que se orientaba a la transferencia o difusión de tecnologías modernas a los agricultores (Otero & Selis, 2016). Si bien resulta discutible la persistencia de una extensión rural sostenida, estrictamente, en las mismas premisas, es claro la existencia de un enfoque que recorta el perfil del extensionista, como profesional focalizado en sus conocimientos técnico-productivos (Monsalvo Zamora *et al.* 2017). En esta línea, Landini (2016a), a partir de un estudio realizado en el noreste argentino, señala que los dos objetivos que se proponen los extensionistas rurales con mayor frecuencia son la mejora técnico-productiva de los agricultores y el fortalecimiento de sus organizaciones.

En paralelo, se puede observar una segunda forma de pensar a la extensión rural, que da forma a una identidad profesional, centrada en el aumento del bienestar y la calidad de vida de los productores. En esta línea, RELASER (2013) destaca la necesidad de una extensión rural que vaya más allá de las tecnologías agropecuarias y que contribuya a incrementar el capital social y disminuir los riesgos que enfrentan los pobres rurales. En particular, Méndez Sastoque (2006) señala que los extensionistas deben acompañar procesos de desarrollo, contribuyendo a la mejora de las condiciones de vida de los pobladores rurales.

Además, también se puede señalar una tercera identidad profesional, que delimita el rol del extensionista, como gestor de procesos de

cambio social, orientados a la superación de situaciones de injusticia y de opresión social. Esta visión de la extensión rural, se apoya en los trabajos de Freire (1973), quien desde un enfoque humanista crítico discute las prácticas tradicionales de extensión rural, a las que considera como formas de imposición cultural. En general, esta tercera forma de pensar la identidad de los extensionistas, se asocia a un análisis de las problemáticas enfrentadas por los pequeños agricultores, en términos de relaciones de poder. Así, por ejemplo, se suele hacer referencia a problemas, como la expansión del agronegocio y la concentración de la tierra (Catullo *et al.* 2014), la implementación de modelos productivos que generan dependencia de empresas proveedoras de semillas y agroquímicos (Altieri, 2009) y la imposición de bajos precios de venta a los productores por parte de intermediarios y comercializadores (Caicedo Díaz, 2013).

Atendiendo a que las identidades profesionales de los extensionistas y los modelos de extensión rural predominantes en instituciones e, incluso, en países determinados se articulan con procesos socio-histórico-institucionales más amplios, cabe presentar algunas reflexiones. En primer lugar, se debe tener en cuenta que en las décadas del 80 y 90, del siglo XX, existió una fuerte presión privatizadora de los servicios de extensión rural, tanto en América Latina como a nivel mundial, en el marco de políticas neoliberales; por ejemplo, en Nueva Zelanda, se encuentra privatizado desde la década del 80, en tanto que el sistema de extensión público de Australia, se encuentra en proceso de privatización (Diesel *et al.* 2008).

Por su parte, en la última década, se observan organizaciones internacionales que critican, tanto los modelos tradicionales difusionistas de extensión como la transferencia acrítica de esquemas privatizadores, a países con condiciones muy diferentes, a las de aquellos en los que estos modelos resultaron efectivos (Ardila, 2010). En esta línea, se destaca, cada vez más, la necesidad de esquemas de extensión pluralistas, que puedan dar una respuesta a las necesidades de diferentes tipos de productores, en el marco de procesos de articulación público-privados (Sulaiman & Davis, 2012).

Finalmente, también se debe reconocer que los enfoques de extensión imperantes, se encuentran enmarcados en la discusión en torno a la contraposición entre modelos productivos convencionales, centrados en el paradigma de la revolución verde y propuestas de carácter agroecológico, que ponen en cuestión los sistemas agroalimentarios dominantes. En este contexto, se observa que, si bien el desarrollo de la agroecología ha sido heterogéneo, a nivel global, posee una fuerte presencia en América Latina (Gliessman, 2017), mientras que su adopción es menor en países industrializados, como Australia y Nueva Zelanda (Altieri *et al.* 2017) y posee poca presencia en Nigeria y Sudáfrica (Ogbalubi & Wokocha, 2013).

En este marco, el presente artículo, se propone contribuir a la comprensión de las identidades profesionales de los extensionistas rurales en diversos países, a partir de la diferenciación entre tres identidades posibles, una centrada en el apoyo técnico-productivo, otra, orientada a la mejora de la calidad de vida de los productores y, otra, que piensa a la extensión rural en términos de lucha contra la desigualdad y la exclusión de los agricultores más pequeños.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este artículo, se presentan y se analizan resultados de un cuestionario realizado a extensionistas rurales, entre 2017 y 2019, en nueve países: Argentina (n=598), Australia (n=35), Brasil (n=265), Chile (n=188), México (n=1509), Nueva Zelanda (n=17), Nigeria (n=93), Paraguay (n=22) y Sudáfrica (n=43). Estos países fueron seleccionados por la existencia de apoyo de instituciones o investigadores locales, dispuestos a facilitar el acceso a las muestras de extensionistas y por el interés de incluir países de diferentes continentes y regiones, a fin de aumentar la diversidad de respuestas.

El cuestionario forma parte de un estudio internacional, que tuvo por objeto conocer las creencias y las perspectivas de los extensionistas respecto de diferentes aspectos de su práctica, por lo que abordó temáticas que exceden el presente artículo. Los temas incluidos en el cuestionario fueron ajustados con el apoyo de doce expertos internacionales de Australia, Brasil, Estados Unidos, Francia, India, Nicaragua, Nigeria, Países Bajos, Pakistán, Sudáfrica. Con el objetivo de chequear la comprensión de las consignas del cuestionario, se realizó una prueba piloto en Argentina.

Los tamaños de muestra indicados corresponden a la cantidad de participantes que respondieron a la pregunta referida a la identidad profesional. El muestreo fue intencional y por conveniencia. Los participantes fueron contactados, con el apoyo de diferentes tipos de instituciones, las cuales, fueron seleccionadas por su importancia en los países respectivos y por la existencia de contactos locales, que hicieran posible el acceso. En Argentina, los encuestados trabajaban mayormente en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y la Subsecretaría de Agricultura Familiar; en Brasil, en las Empresas Públicas de Asistencia Técnica y Extensión Rural (EMATER) de los estados de Amazonas, Pernambuco y Santa Catarina; en Chile, en el Instituto de Desarrollo Agropecuario y, en Paraguay, en la Dirección de Extensión Agraria. En Australia y Nueva Zelanda, los extensionistas fueron invitados por medio de la Red de Extensión de Australasia y el Pacífico (Australasia-Pacific Extension Network) y por medio del Instituto Neozelandés de Administración de la Industria Primaria (New Zealand Institute of Primary Industry Management). En México, se contactó con integrantes del listado público del Sistema de Extensionismo Rural Mexicano. Finalmente, en Nigeria y en Sudáfrica, los participantes fueron invitados por medio de dos organizaciones profesionales de nivel nacional, el Foro Nigeriano para los Servicios de Asesoramiento y la Extensión Agrícola (Nigerian Forum for Agricultural Extension and Advisory Services) y la Sociedad Sudafricana para la Extensión Agrícola (South African Society for Agricultural Extension). Las diferencias en los tamaños muestrales, se deben a las diferencias en las cantidades de extensionistas a los que se pudo acceder, a partir de las instituciones colaboradoras y del diferente grado de apoyo ofrecido por cada una de ellas.

En la mayor parte de los casos, el cuestionario fue enviado por correo electrónico y respondido en línea, por medio de la plataforma SurveyMonkey, con excepción de algunos casos en Sudáfrica, donde se recibieron algunas respuestas escaneadas. El cuestionario contenía

preguntas sociodemográficas, como edad, género, nivel educativo y experiencia como extensionista, así como preguntas relativas a creencias sobre extensión e innovación, metodologías de extensión y enfoque productivo. El tiempo promedio de respuesta se estimó en media hora. En este artículo, se destaca la pregunta relativa a la identidad de los extensionistas, según la siguiente consigna:

A continuación, se presentan tres frases. Por favor, ordénelas de aquella con la que se siente más identificado/a, a nivel personal, a aquella con la que se siente menos. Use el número 1, para indicar aquella con la que más se identifica; 2, para la siguiente y 3, para aquella con la que se identifica menos. Tenga en cuenta que preguntamos por su opinión personal, no por la de la institución o empresa en la que trabaja:

- El extensionista rural es un trabajador o un profesional que ayuda a mejorar las prácticas productivas, comerciales u organizativas de los productores.
- El extensionista rural ayuda a los productores a aumentar su bienestar y mejorar su calidad de vida.
- El extensionista rural apoya a los productores para que puedan superar situaciones de injusticia y opresión.

La consigna llevó a la construcción de tres variables ordinales. Una referida a cada identidad profesional posible; en ellas, el valor de la variable va de 1 a 3, según el orden de preferencia asignada a la alternativa. A la vez, estas tres variables fueron convertidas en una variable nominal, que indica cuál de las tres opciones fue elegida en primer lugar. Los resultados fueron procesados con el apoyo del software para análisis cuantitativo SPSS, atendiendo al nivel de medición de cada variable.

Junto a las tablas y figuras descriptivas, también se aprovechó la disponibilidad de información sociodemográfica y relativa a otras variables vinculadas con el trabajo de extensión para explorar la existencia de relaciones estadísticas entre ellas y la identidad con la que más se identifican los extensionistas. Atendiendo a que las relaciones podrían ser diferentes, según los países, se optó por trabajar de manera independiente, con las diferentes muestras nacionales.

Se incluyeron siete variables al análisis; cinco de ellas, variables sociodemográficas (edad, experiencia, género, nivel educativo y área de formación universitaria). Dada la existencia de diferencias en el modo de nombrar las carreras universitarias en los diferentes países, se optó por analizar esta variable solo en países latinoamericanos, ya que no se consideraron confiables los datos disponibles en idioma inglés. Adicionalmente, también se sumaron otras dos variables. Una de ellas, refiere al posicionamiento personal del extensionista, en una escala ordinal, en el marco del contraste 'agroecología' y 'agricultura convencional', siendo agroecología, 1 y agricultura convencional, 5.

Por último, también se incorporó la variable 'grado de difusionismo', que refiere a una de las dimensiones de la Escala de Creencias sobre Extensión e Innovación, incluida en el cuestionario (Landini & Beramendi, 2019). El 'grado de difusionismo' de un extensionista refiere al grado en que concibe a la extensión rural como

transferencia de tecnologías de expertos a productores. La variable va de 1 a 5, significando: 1, total desacuerdo; 3, ni de acuerdo ni en desacuerdo y 5, total acuerdo, es decir, cuanto más difusionista sea un extensionista, tendrá puntajes más cercanos a 5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identidades profesionales seleccionadas como primera opción.

Los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre los países, con relación a la identidad profesional ($\chi^2_{(12)} = 121; p < .001$).

Analizando la media de los nueve países indagados (Tabla 1), se observa que la identidad más frecuente es la de un profesional orientado a la mejora productivo-empresarial de los productores agropecuarios. Este resultado es consistente, tanto con los principios de la revolución verde, que dieron impulso a una extensión rural orientada a la transferencia de tecnologías (Rogers, 1962), como con el perfil formativo de los extensionistas rurales, generalmente profesionales de las ciencias agropecuarias (Landini & Bianqui, 2014). Al mismo tiempo, se debe tener presente que, hoy, el aumento de la producción, la productividad y las mejoras tecnológicas son objetivos centrales de numerosas iniciativas e instituciones de extensión rural (Méndez Sastoque, 2015; Landini, 2016a; Monsalvo Zamora *et al.* 2017).

En segundo lugar, se observa que poco más de un tercio de los extensionistas (en el promedio de los países), se identifica con un perfil profesional orientado al aumento del bienestar y la mejora de la calidad de vida de los productores. Si se piensa esta perspectiva identitaria desde las propuestas clásicas de difusión tecnológica, es esperable que, esta identidad profesional, se perciba como extraña; no obstante, resulta claramente consistente con los abordajes que conceptualizan a lo rural desde una perspectiva multidimensional y no solo agrícola (Méndez Sastoque, 2006) y aquellos que proponen pensar al extensionista no como un experto técnico sino como un agente de desarrollo rural (Ardila, 2010; Landini, 2016b).

Resulta interesante señalar que los países en los que se valoró más esta identidad (Argentina, Brasil, Chile y Paraguay) son latinoamericanos y se ubican geográficamente cercanos unos a otros, lo que podría hablar de la existencia de marcos institucionales compartidos y de experiencias formativas cruzadas entre ellos. En particular, se puede mencionar la creación en el 2004, de la Reunión Especializada sobre Agricultura Familiar del Mercado Común del Cono Sur (REAF MERCOSUR), iniciativa que focaliza en la agricultura familiar en el marco del bloque regional, conformado en el año de su creación, por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

Por otra parte, cabe destacar el pequeño porcentaje de extensionistas que escogió la identidad asociada a la contribución con procesos de cambio social, a partir de la toma de conciencia de las relaciones de desigualdad, incluso opresión, en que se encuentran muchos pequeños agricultores. Esto resulta hasta cierto punto llamativo, teniendo en cuenta distintos señalamientos, que destacan problemas estructurales que enfrenta la pequeña agricultura, como la expansión

Tabla 1. Identidades seleccionadas como primera opción según país.

Países	Id: Mejora productivo-empresarial	Id: Mejora calidad de vida	Id: Cambio social
Argentina	47,6% ^a	47,7% ^a	4,7% ^{ab}
Australia	91,4% ^c	8,6% ^c	0% ^{abc}
Brasil	50,9% ^a	44,5% ^a	4,5% ^{abc}
Chile	49,5% ^a	48,4% ^a	2,1% ^{bc}
México	67,0% ^b	30,1% ^b	2,9% ^c
Nigeria	65,6% ^b	25,8% ^b	8,6% ^a
Nueva Zelandia	64,7% ^{ab}	35,3% ^{ab}	0% ^{abc}
Paraguay	54,5% ^{ab}	45,5% ^{ab}	0% ^{abc}
Sudáfrica	58,1% ^{ab}	32,6% ^{ab}	9,3% ^a
Promedio	61%	35,4%	3,6%

Las letras en superíndice indican grupos de países, cuyos porcentajes referidos a cada columna no difieren significativamente entre ellos, a un nivel de $p < 0,05$ (se utilizó prueba Z sin Bonferroni).

del agronegocio, la concentración de la tierra, la implementación de modelos productivos que generan dependencia por parte de los agricultores y el rol dominante que ocupan los comercializadores en las cadenas agroindustriales (Altieri, 2009; Caicedo Díaz, 2013; Catullo *et al.* 2014); sin embargo, el resultado es consistente con un estudio empírico, efectuado en 10 países latinoamericanos, que muestra que, en general, los extensionistas rurales son poco críticos de los modelos de extensión y desarrollo rural que subyacen a sus prácticas (Landini, 2016c).

En este contexto, se observó que los dos países con un mayor porcentaje de extensionistas, con una identidad asociada a la idea de cambio social, son Nigeria, uno de los más pobres del mundo (Banco Mundial, 2020a) y Sudáfrica, uno de los más desiguales (Banco Mundial, 2020b). Esto podría sugerir que, las identidades asociadas a la superación de situaciones de injusticia y de opresión, podrían estar relacionadas con contextos nacionales, caracterizados por pobreza y por desigualdad extremas; no obstante, la realidad de desigualdad que vive gran parte de América Latina pone en cuestión esta posible interpretación.

A partir del análisis de la figura 1, se pueden identificar tres tipos de países. En el primer grupo, compuesto únicamente por Australia, predomina ampliamente una identidad profesional, asociada al apoyo productivo-empresarial a los agricultores; por su parte, también se observa un segundo grupo, conformado por México, Nigeria, Nueva Zelandia y Sudáfrica, donde se destaca una identidad profesional, centrada en el apoyo técnico-productivo, pero con presencia de extensionistas, quienes priorizan la mejora de la calidad de vida. Finalmente, existe un tercer grupo, donde la identidad profesional de apoyo productivo-empresarial cosecha, aproximadamente, el mismo nivel de preferencias, que la ayuda a mejorar la calidad de vida de los productores. Este grupo de países está compuesto por Argentina, Brasil, Chile y Paraguay, todos latinoamericanos.

Las razones de estas diferencias no son claras; sin embargo, tiene sentido el predominio de identidades asociadas al apoyo productivo-empresarial en Australia y Nueva Zelandia, países con agricultura casi exclusivamente empresarial y sistemas de extensión privatizados o en proceso de privatización. Igualmente, los resultados de Argentina, Brasil, Chile y Paraguay, donde tiene mayor presencia la búsqueda de mejora de la calidad de vida de los productores, son consistentes con el mayor valor, dado a la dimensión social de la agricultura, expresado en la mayor presencia del movimiento agroecológico en América Latina (Gliessman, 2017).

Identidades profesionales por orden de preferencia según país.

En el subtítulo anterior, se evaluaron las identidades profesionales seleccionadas, en primer lugar, en los diferentes países. En este apartado, se les analiza atendiendo el orden en que cada alternativa fue seleccionada por los extensionistas.

Utilizando el estadístico Kruskal Wallis, que permite comparar la distribución de variables ordinales en diferentes grupos, se observó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los países, en el orden en que las alternativas identitarias fueron seleccionadas (identidad profesional orientada a la mejora productivo-empresarial: $\chi^2_{(8)} = 103$, $p < .001$, identidad orientada a la mejora de la calidad de vida: $\chi^2_{(8)} = 85,5$, $p < .001$ e identidad centrada en la superación de situaciones de injusticia y opresión: $\chi^2_{(8)} = 35,3$, $p < .001$). Las distribuciones porcentuales de cada selección y las diferencias entre países son presentadas en las tablas 2, 3 y 4.

A partir del análisis de la tabla 2, se observa que los extensionistas australianos y mexicanos, se destacan por priorizar una identidad profesional asociada a la mejora productivo-empresarial de los productores, en contraste con Chile, Brasil y Argentina, donde la alternativa posee menor relevancia comparativa, aun siendo ubicada como primera opción, en casi el 50% de los casos. Estos resultados

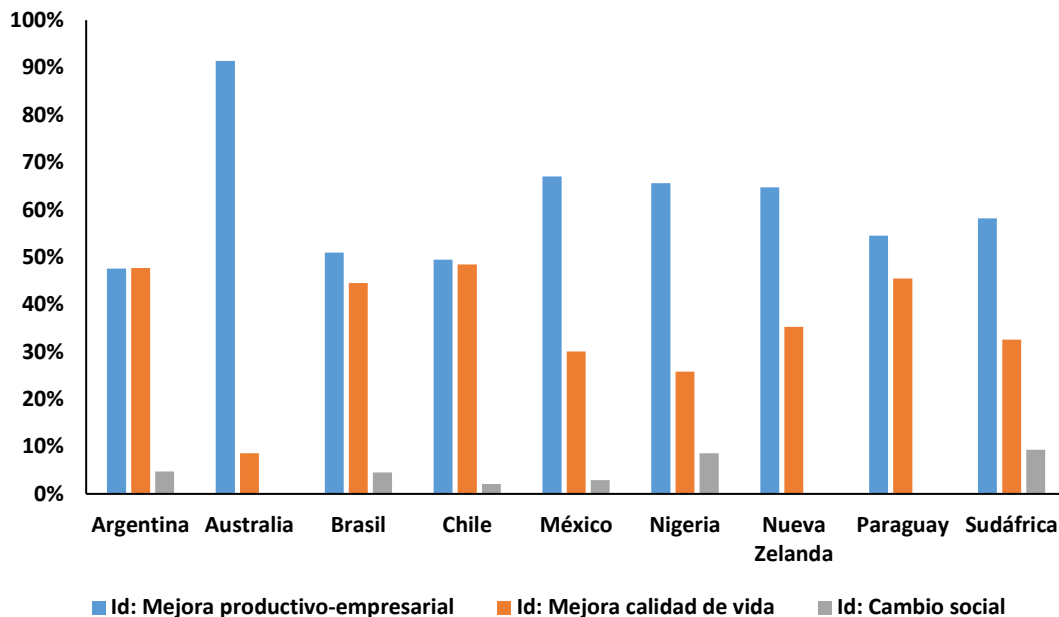


Figura 1. Identidades seleccionadas como primera opción según país.

son consistentes con los del análisis previo, aunque evidencian con más claridad el carácter discordante de los resultados de México, país donde se esperaría más cercanía a los resultados de otros países de América Latina. Posiblemente, esto se deba a que la muestra mexicana no corresponde, propiamente, a un sistema de extensión pública sino a un sistema de extensión tercerizado, financiado por el Estado, lo que se podría asociar a un perfil más cercano a la asistencia técnico-productiva, que a un apoyo más integral.

Por su parte, a partir de la tabla 3, se puede concluir que Chile, Argentina, Paraguay y Brasil, se caracterizan por un mayor porcentaje de extensionistas con identidades profesionales asociadas con la propuesta de apoyar a los productores, para que mejoren su calidad de vida. En contraste, se observa que en México, Nigeria y Australia esta identidad profesional es menos frecuente, todos resultados en línea, con los hallazgos analizados previamente.

Por último, la tabla 4, también permite reforzar conclusiones previas, observándose que, en Nigeria, Sudáfrica y Argentina, si bien es poco frecuente, los extensionistas adoptan más una identidad profesional asociada a la idea de cambio social, en contraste con lo que se observa en México, Australia, Chile y Paraguay. Este resultado es consistente con el estudio de Landini (2016c), sobre enfoques de extensión en América Latina, que muestra que, si bien de manera poco frecuente, en Argentina los extensionistas son más críticos de los modelos de desarrollo y extensión rural que en Brasil, Chile, México y Paraguay.

VARIABLES ASOCIADAS A LAS DISTINTAS IDENTIDADES PROFESIONALES. Se analizó la posible relación de diferentes variables con las identidades profesionales de los extensionistas. Como se observa en la tabla 5, los resultados muestran que ninguna de las variables estudiadas

se encuentra asociada de manera sistemática con las identidades profesionales de los extensionistas rurales, en los diferentes países.

Realizando un análisis más detallado, se observa que los resultados no evidencian relaciones estadísticamente significativas en el caso de la edad y el área de formación (título universitario), en ninguno de los países. Esto resulta llamativo, en tanto hubiera sido esperable que los extensionistas ingenieros agrónomos o veterinarios tuvieran, por ejemplo, una identidad más cercana al apoyo técnico productivo y aquellos formados en ciencias sociales, una identidad orientada a la mejora de la calidad de vida de los productores o, incluso, al impulso de procesos de cambio social.

En cuanto a las variables experiencia como extensionista y nivel educativo (variables potencialmente asociadas entre sí a partir de la edad), en México, se observó que, mientras que quienes poseen menos experiencia y formación, tienden a identificarse con la idea de contribuir a la mejora productivo-empresarial de los productores; quienes poseen más años en la profesión y mayor nivel educativo, se identifican con mayor frecuencia con la propuesta de mejora de la calidad de vida de los productores. A partir de estas relaciones, se podría pensar que, tanto la experiencia como la mayor formación, permiten a los extensionistas tomar conciencia que los productores no solo necesitan mejoras tecnológico-empresariales, sino también otros apoyos vinculados con la mejora de la calidad de vida.

Respecto de la variable género, los resultados obtenidos en Argentina sugieren que la idea de apoyar a los agricultores, a nivel productivo y empresarial, es más frecuente en los hombres, mientras que las mujeres suelen pensar a la extensión con más frecuencia, como una labor orientada a superar situaciones de injusticia y opresión. Si bien las razones de estos resultados no son claras, se podría pensar que

Tabla 2. Identidad extensionista orientada a la mejora productivo-empresarial según país.

Países	Rango medio	Orden de priorización		
		1	2	3
Australia ^a	958	91,4%	5,7%	2,9%
México ^b	1285	67%	28,1%	4,9%
Nueva Zelanda ^{bc}	1320	65,6%	24,7%	9,7%
Nigeria ^{bc}	1330	64,7%	29,4%	5,9%
Paraguay ^{bc}	1419	54,5%	45,5%	0%
Sudáfrica ^{bc}	1448	58,1%	27,9%	14%
Chile ^c	1508	49,5%	46,3%	4,3%
Brasil ^c	1493	50,9%	44,2%	4,9%
Argentina ^c	1573	47,6%	41,0%	11,5%
Promedio		61%	32,5%	6,5%

Las letras en superíndice indican grupos de países que difieren significativamente entre ellos, en términos de distribución de la variable, a un nivel de $p < 0,05$.

Tabla 3. Identidad extensionista orientada a la mejora de la calidad de vida según país.

Países	Rango medio	Orden de priorización		
		1	2	3
Chile ^a	1198	48,4%	48,9%	2,7%
Argentina ^a	1230	47,7%	47%	5,2%
Paraguay ^a	1253	45,5%	50%	4,5%
Brasil ^a	1279	44,5%	49,4%	6%
Nueva Zelanda ^{ab}	1398	35,3%	58,8%	5,9%
Sudáfrica ^{ab}	1422	32,6%	62,8%	4,7%
México ^b	1464	30,1%	64,2%	5,7%
Nigeria ^{bc}	1593	25,8%	60,2%	14%
Australia ^c	1745	8,6%	85,7%	5,7%
Promedio		35,4%	58,6%	6%

Las letras en superíndice indican grupos de países que difieren significativamente entre ellos, en términos de distribución de la variable, a un nivel de $p < 0,05$.

Tabla 4. Identidad extensionista orientada al cambio social según país.

Países	Rango medio	Orden de priorización		
		1	2	3
Nigeria ^a	1222	8,6%	15,1%	76,3%
South Africa ^{ab}	1288	9,3%	9,3%	81,4%
Argentina ^{ab}	1321	4,7%	12%	83,3%
New Zealanda ^{bc}	1395	0%	11,8%	88,2%
Brasil ^{bc}	1398	4,5%	6,4%	89,1%
Mexico ^c	1405	2,9%	7,7%	89,4%
Australia ^c	1437	0%	8,6%	91,4%
Chile ^c	1456	2,1%	4,8%	93,1%
Paraguay ^c	1491	0%	4,5%	95,5%
Promedio		3,6%	8,9%	87,5%

Las letras en superíndice indican grupos de países que difieren significativamente entre ellos, en términos de distribución de la variable, a un nivel de $p < 0,05$.

Tabla 5. Variables asociadas a las identidades profesionales en diferentes países.

	Edad	Experiencia (en años)	Sexo	Nivel educativo	Área de formación	Valoración agro- ecología	Grado de difu- sionismo
Argentina	$F_{(2,590)} = 1,09$	$F_{(2,590)} = 0,88$	$\chi^2_{(2)} = 7,68^*$ Id1 = H:70,2% Id2 = H:61,5% Id3 = H:50%	KW: $\chi^2_{(2)} = 2,13$	$\chi^2_{(10)} = 15,62$	KW: $\chi^2_{(2)} = 8,66^*$ RM Id1 = 303 ^a RM Id2 = 289 ^a RM Id3 = 209 ^b	$F_{(2,590)} = 23,8^{**}$ Id1 = 3,14 ^a Id2 = 2,87 ^b Id3 = 2,38 ^c
Australia	$t_{(33)} = -0,92$	$t_{(33)} = 0,10$	$\chi^2_{(1)} = 0,43$	MW: U = 67	Sin datos	MW: U = 33,5	$t_{(33)} = 0,32$
Brasil	$F_{(2,262)} = 1,06$	$F_{(2,262)} = 1,89$	$\chi^2_{(2)} = 0,58$	KW: $\chi^2_{(2)} = 2,80$	$\chi^2_{(10)} = 7,41$	KW: $\chi^2_{(2)} = 0,73$	$F_{(2,262)} = 1,87$
Chile	$F_{(2,185)} = 0,28$	$F_{(2,185)} = 0,65$	$\chi^2_{(2)} = 1,16$	KW: $\chi^2_{(2)} = 2,79$	$\chi^2_{(10)} = 15,21$	KW: $\chi^2_{(2)} = 0,50$	$F_{(2,185)} = 11,1^{**}$ Id1 = 3,43 ^a Id2 = 3,07 ^b Id3 = 4,17 ^a
México	$F_{(2,1505)} = 2,28$	$F_{(2,1505)} = 6,48^{**}$ Id1 = 8,20 ^a Id2 = 9,94 ^b Id3 = 8,23 ^{ab}	$\chi^2_{(2)} = 1,08$	KW: $\chi^2_{(2)} = 7,46^*$ RM Id1 = 731 ^a RM Id2 = 778 ^b RM Id3 = 735 ^{ab}	$\chi^2_{(10)} = 13,37$	KW: $\chi^2_{(2)} = 6,63^*$ RM Id1 = 761 ^a RM Id2 = 709 ^a RM Id3 = 661 ^a	$F_{(2,1505)} = 6,24^{**}$ Id1 = 3,75 ^a Id2 = 3,60 ^b Id3 = 3,64 ^{ab}
Nigeria	$F_{(2,90)} = 0,78$	$F_{(2,90)} = 1,20$	$\chi^2_{(2)} = 2,85$	KW: $\chi^2_{(2)} = 2,37$	Sin datos	KW: $\chi^2_{(2)} = 1,19$	$F_{(2,90)} = 0,83$
Nueva Ze- landia	MW: U = 43,5	MW: U = 48,5	$\chi^2_{(2)} = 1,99$	MW: U = 30	Sin datos	MW: U = 29,5	MW: U = 23
Paraguay	MW: U = 40	MW: U = 44	$\chi^2_{(1)} = 0,63$	MW: U = 50	$\chi^2_{(4)} = 4,34$	MW: U = 80,5	MW: U = 67,5
Sudáfrica	$F_{(2,40)} = 0,71$	$F_{(2,39)} = 2,52$	$\chi^2_{(2)} = 2,15$	KW: $\chi^2_{(2)} = 4,01$	Sin datos	KW: $\chi^2_{(2)} = 2,23$	$F_{(2,40)} = 1,07$

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$. Para nuestras menores se utilizan estadísticos no paramétricos. MW: U de Mann Whitney; KW: Kruskal Wallis; RM: Rango medio; Id1: Identidad 'Mejora productivo-empresarial'; Id2: Identidad de 'Mejora de calidad de vida'; Id3: Identidad 'Cambio social'. Cuando en un país no surgió la Id3, como primera alternativa, se utilizan los estadísticos correspondientes. Las letras en superíndice indican grupos que difieren significativamente entre ellos, a nivel estadístico $p < .05$.

los hombres tienen un perfil de extensión más tradicional, centrado en las mejoras productivas, en tanto que las mujeres presentan, con más frecuencia, una mirada alternativa que cuestiona miradas hegemónicas.

Por otra parte, tanto en el caso de Argentina como en el de México, se observó la existencia de relación entre las identidades profesionales de los extensionistas y su orientación productiva. En particular, se encontró que, en ambos países, los extensionistas que plantean su trabajo en términos de procesos de cambio social y apoyo a la superación de situaciones de injusticia, suelen tener una posición más agroecológica que el resto, lo que resulta razonable si se tiene en cuenta la crítica de la agroecología a las relaciones de poder que se establecen en el marco del sistema agroalimentario, en detrimento de los pequeños productores (Altieri, 2009); no obstante, la comparación entre pares de identidades solo es significativa en Argentina, no en México.

Por último, la tabla 5, también evidenció la existencia de relaciones entre la identidad profesional de los extensionistas y su grado de acuerdo con una extensión rural difusionista, en este caso, en tres países: Argentina, Chile y México. En general, estos resultados muestran que aquellos que plantean su identidad, en términos de apoyo productivo-empresarial, tienden a pensar su trabajo más en términos de difusión de tecnologías que aquellos que se identifican

con la idea de apoyo a calidad de vida de los productores. Esto parece resultar razonable, en tanto, son los primeros los más preocupados por la 'mejora tecnológica' de los productores, en tanto que los segundos, potencialmente, deben trabajar con relación a múltiples aspectos no técnico-productivos. Finalmente, llama la atención que, mientras que quienes construyen su identidad profesional como extensionistas en torno a la idea de superación de situaciones de desigualdad y opresión en Argentina son los menos difusionistas, mientras que, en Chile, son los que puntúan más alto en difusionismo, lo que invita a pensar en una relación compleja entre ambas variables. Así, en Argentina parecería pensarse al cambio social desde una perspectiva dialógica, participativa y construida horizontalmente, en tanto que, en Chile, desde una mirada más vertical, donde se ve necesario convencer a los productores de los determinantes sociales de las relaciones de desigualdad.

Limitaciones y recomendaciones para futuras investigaciones.

En cuanto a las limitaciones del estudio, se debe tener en cuenta la existencia de diferentes tamaños en las muestras utilizadas, lo que invita a tomar con cautela los resultados de aquellos países con muestras más pequeñas. Por otra parte, se reconoce el interés de llevar adelante estudios cualitativos, que permitan complementar los resultados del presente trabajo, a fin de generar descripciones identitarias, que recojan la diversidad de formas en que los extensionistas rurales se comprenden a sí mismos

y a sus prácticas profesionales. Incluso, en futuros trabajos, se podría pensar la integración de preguntas cerradas y abiertas, para permitir una expresión más flexible de los participantes. A la vez, en trabajos cualitativos futuros, también se podría indagar cuáles son las características identitarias más destacadas de un 'extensionista rural', desde la perspectiva de las personas entrevistadas y cómo se relacionan estas identidades con los conocimientos, afectos y valores de los extensionistas.

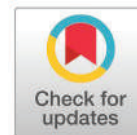
El presente trabajo, se propuso estudiar las identidades profesionales de los extensionistas rurales como forma de contribuir a la comprensión de sus prácticas. Los resultados obtenidos permiten concluir que la identidad profesional de los extensionistas rurales es diferente entre países e, incluso, al interior de estos según diferentes variables. La identidad más frecuente asocia la práctica de la extensión rural a la mejora productivo-empresarial de los productores, seguida por aquella que prioriza la búsqueda de una mejora en la calidad de vida. En tercer lugar y con mucha distancia, se observa un pequeño porcentaje de extensionistas que piensan su profesión en términos de impulsar procesos de cambio social a favor de los pequeños agricultores. A nivel general, se puede pensar en dos tipos de países: uno, donde la identidad orientada a la mejora técnico-productiva es mayoritaria y, otro, donde ambas identidades poseen porcentajes de adhesión similares.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Universidad de la Cuenca del Plata, Argentina y AgResearch, Nueva Zelanda.

REFERENCIAS

1. ALBALADEJO, C.; COUIX, N.; BARTHE, L. 2007. Learning in agriculture: rural development agents in France caught between a job identity and a professional identity. *Journal of Agricultural Education and Extension* (Holanda). 13(2):95-106.
<https://doi.org/10.1080/13892240701289361>
2. ALTIERI, M. 2009. Agroecología, pequeñas fincas y soberanía alimentaria. *Revista Ecología Política* (España). 38:25-35.
3. ALTIERI, M.; NICHOLLS, C.; MONTALBA, R. 2017. Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: An agroecological perspective. *Sustainability*. 9(3):349.
<https://doi.org/10.3390/su9030349>
4. ARDILA, J. 2010. La extensión rural para el desarrollo de la agricultura y la seguridad alimentaria. Aspectos conceptuales, situación y una visión de futuro. IICA. (Costa Rica). Disponible desde Internet en: <http://repiica.iica.int/docs/B1898e/B1898e.pdf> (con acceso 08/04/2021)
5. BALDERAS GUTIÉRREZ, K. 2013. Elementos que constituyen la identidad profesional de la enfermera. *Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo* (España). 37p.
6. BANCO MUNDIAL. 2020a. Poverty & Equity Brief Nigeria Sub-Saharan Africa, Banco Mundial. Disponible desde Internet en: https://databank.worldbank.org/data/download/poverty/33EF03BB-9722-4AE2-ABC7-AA2972D68AFE/Global_POVEQ_NGA.pdf (con acceso 30/04/2020).
7. BANCO MUNDIAL. 2020b. Índice de Gini (USA). Disponible desde Internet en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI> (con acceso 30/04/2020).
8. CAICEDO DÍAZ, J.F. 2013. La intermediación como un impedimento al desarrollo del pequeño productor de Medellín. *Corpoica* (Colombia). 14(1):27-32.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:264
9. CATULLO, J.; VARELA, H.; ALEMANY, C.; TORRES, G.; CHÁVEZ, F.; BRUNEL, L.; BALSADI, O. 2014. Rol de la extensión rural en la gestión de innovaciones (Uruguay). Documento de PROCISUR.
10. DIESEL, V.; FROEHLICH, J.; NEUMANN, P.; SILVEIRA, P. 2008. "Privatização dos serviços de extensão rural: uma discussão (des)necessária? *Revista de Economia e Sociologia Rural* (Brasil). 46(4):1155-1188.
<https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000400010>
11. FREIRE, P. 1973. ¿Extensión o comunicación? La concientización en el medio rural. Ed. Siglo XXI (Buenos Aires, Argentina) 53p.
12. GLIESSMAN, S. 2017. A brief history of agroecology in Spain and Latin America. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 41(3-4):229-230.
<https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1292390>
13. LANDINI, F. 2016a. Enfoques y prácticas de extensión rural públicas en el noreste argentino. *Revista de Economia e Sociologia Rural* (Brasil). 54(1):167-186.
<http://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005401009>
14. LANDINI, F. 2016b. How to be a good rural extensionist. Reflections and contributions of Argentine practitioners. *Journal of Rural Studies* (Reino Unido). 43(1):193-202.
<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.11.014>
15. LANDINI, F. 2016c. Concepción de extensión rural en 10 países latinoamericanos. *Andamios* (México). 13(30):211-236.

16. LANDINI, F.; BERAMENDI, M. 2019. Construction and validation of a psychometric scale to assess extension agents' beliefs about extension and innovation. *The Journal of Agricultural Education and Extension* (Países Bajos). 25(5):381-399.
<https://doi.org/10.1080/1389224X.2019.1643748>
17. LANDINI, F.; BIANQUI, V. 2014. Socio-demographic profile of different samples of Latin American rural extensionists. *Ciência Rural* (Brasil). 44(3):575-581.
<https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000300030>
18. MARTÍN, F. 2010. Ingenieros agrónomos, desarrollo rural y cultura política: reflexiones críticas en torno a la práctica de la (ex) tensión rural. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* (Argentina). 42(2):99-109.
19. MÉNDEZ SASOQUE, J.M. 2006. Los retos de la extensión ante una nueva y cambiante noción de lo rural. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* (Colombia). 59(2):3407-3423.
20. MÉNDEZ SASOQUE, M.J. 2015. Satisfacción con el empleo de extensionista rural: un estudio cualitativo en Caldas, Colombia. *Revista Ceres* (Brasil). 62(3):241-250.
<https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030003>
21. MONSALVO ZAMORA, A.; JIMÉNEZ VELÁZQUEZ, M.; GARCÍA CUÉ, J.; SANGERMAN-JARQUÍN, D.; MARTÍNEZ SALDAÑA, T.; PIMENTEL EQUIHUA, J. 2017. Caracterización del perfil del extensionista rural en la zona oriente del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(3):503-515.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.27>
22. OGBALUBI, L.; WOKOCHA, C. 2013. Agricultural development and employment generation: The Nigeria experience. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 2(2):60-69.
23. OTERO, J.; SELIS, D. 2016. La Revista "Extensión en las Américas". Influencia de los EEUU en los servicios de extensión rural latinoamericanos. *Extensão Rural* (Brasil). 23(1):42-57.
<http://dx.doi.org/10.5902/2318179617359>
24. RED LATINOAMERICANA PARA SERVICIOS DE EXTENSIÓN RURAL, RELASER. 2013. Extensión rural con enfoque para la inclusión y el desarrollo rural. *Revista Claridades Agropecuarias* (México). 243:42-48.
25. ROGERS, E. 1962. *Diffusion of innovations*. Ed. The Free Press (EEUU). 236p.
26. RUVALCABA-COYASO, J.; ALVARADO, I.; GARCÍA, R. 2011. Identidad e identidad profesional: Acercamiento conceptual e investigación contemporánea. *CES Psicología* (Colombia). 4(2):82-102.
<https://doi.org/10.21615/1254>
27. SULAIMAN, R.; DAVIS, K. 2012. The "new extensionist": Roles, strategies, and capacities to strengthen extension and advisory services. *GFRAS* (Suiza). Disponible desde Internet en:
<https://www.g-fras.org/es/conocimientos/publicaciones-del-gfras.html?download=126:the-new-extensionist-position-paper> (con acceso 08/04/2021).



Anexo

Agrobiodiversidad resguardo indígena de Puracé

Familia botánica	Especie	Nombre común	Especies considerada nativa	Uso local
Myrtaceae	<i>Acca sellowiana</i> (O. Berg) Burret	Feijoa		Alimenticio
Asteraceae	<i>Achyrocline lehmanna</i> Hieron.	Botón de oro		Medicinal
Amaryllidaceae	<i>Allium sativum</i> L.	Ajo blanco		Alimenticio/Medicinal
		Ajo morado		Alimenticio/Medicinal
Amaryllidaceae	<i>Allium cepa</i> L.	Cebolla “pati roja”		Alimenticio/ Medicinal
		Cebolleta		Alimenticio/ Medicinal
		Cebolleta blanca		Alimenticio/ Medicinal
		Cebolleta colorada		Alimenticio/ Medicinal
Amaryllidaceae	<i>Allium fistulosum</i> L.	Cebolla blanca		Alimenticio/ Medicinal
		Cebolla larga		Alimenticio
Amaryllidaceae	<i>Allium sativum</i> L.	Ajo		Alimenticio/Medicinal
Amaryllidaceae	<i>Allium schoenoprasum</i> L.	Cebollin		Alimenticio
Asphodelaceae	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f.	Sábila		Medicinal
		Sábila macho		Medicinal
Verbenaceae	<i>Aloysia citrodora</i> Paláu	Cidrón		Medicinal
Asteraceae	<i>Ambrosia cumanensis</i> Kunth	Artemisa		Medicinal
Apiaceae	<i>Apium graveolens</i> L.	Apio		Alimenticio
Apiaceae	<i>Apium petroselinum</i> L.	Perejil		Alimenticio
Apiaceae	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancr.	Arracacha		Alimenticio
		Arracacha amarilla		Alimenticio
		Arracacha del Ecuador		Alimenticio
		Arracacha morada		Alimenticio
Asteraceae	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Ajenjo		Medicinal
Asteraceae	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Chilco		Medicinal
Asteraceae	<i>Bellis perennis</i> L.	Margarita		Ornamental
Amaranthaceae	<i>Beta vulgaris</i> L.	Acelga		Alimenticio
Amaranthaceae	<i>Beta vulgaris</i> L.	Remolacha		Alimenticio

Familia botánica	Especie	Nombre común	Especies considerada nativa	Uso local
Boraginaceae	<i>Borago officinalis</i>	Borraja blanca		Medicinal
		Borraja		Medicinal
Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>	Coliflor		Alimenticio
Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i> L.	Col		Alimenticio
		Repollo		Alimenticio
		Repollo de monte	X	Alimenticio
		Repollo de peña	X	Alimenticio
Brassicaceae	<i>Brassica rapa</i> L.	Nabo		Alimenticio
Asteraceae	<i>Calendula officinalis</i> L.	Caléndula		Medicinal
Cannaceae	<i>Canna indica</i> L.	Achira		Medicinal
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i> L.	Ají		Alimenticio
Rutaceae	<i>Citrus × limonia</i> (L.) Osbeck	Limón		Alimenticio/Medicinal
Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i> L.	Café arábigo		Alimenticio
		Café castilla		Alimenticio
		Café caturra		Alimenticio
Apiaceae	<i>Coriandrum sativum</i> L.	Cilantro		Alimenticio
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne	Zapallo		Alimenticio
Asteraceae	<i>Cynara scolymus</i> L.	Alcachofa		Medicinal
Poaceae	<i>Cynodon plectostachyus</i> (K. Schum.) Pilg.	Pasto		Alimenticio
Asteraceae	<i>Dahlia</i> spp.	Dalia		Ornamental
		Dalia amarilla		Ornamental
Apiaceae	<i>Daucus carota</i> L.	Zanahoria		Alimenticio
		Zanahoria blanca		Alimenticio
Caryophyllaceae	<i>Dianthus caryophyllus</i> L.	Clavel		Ornamental
Poaceae	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Pasto blanco		Alimenticio
Amaranthaceae	<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants	Paico		Medicinal
Asteraceae	<i>Eupatorium acuminatum</i> Kunth	Frailejón cenizo		Medicinal
Moraceae	<i>Ficus carica</i> L.	Higo		Medicinal
Apiaceae	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Hinojo		Medicinal
Asparagaceae	<i>Furcraea andina</i> Trel.	Fique		Artesanal
Geraniaceae	<i>Geranium</i> spp.	Geranio		Ornamental
Iridaceae	<i>Gladiolus</i>	Gladiolos		Ornamental
Convolvulaceae	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Batata		Medicinal
Acanthaceae	<i>Justicia phytolaccoides</i> Leonard	Descansé		Medicinal
Asteraceae	<i>Lactuca sativa</i> L.	Lechuga		Alimenticio

Familia botánica	Especie	Nombre común	Especies considerada nativa	Uso local
Lamiaceae	<i>Lepechinia bullata</i> (Kunth) Epling	Salvia negra		Medicinal
Malvaceae	<i>Malva parviflora</i> L.	Malva		Ornamental/Medicinal
Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Yuca blanca		Alimenticio
Asteraceae	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Manzanilla		Medicinal
Lamiaceae	<i>Melissa officinalis</i> L.	Toronjil		Medicinal
Lamiaceae	<i>Mentha rotundifolia</i> L.	Menta		Medicinal
Lamiaceae	<i>Mentha sativa</i> L.	Herbabuena		Medicinal
Musaceae	<i>Musa × sapientum</i> L.	Plátano		Alimenticio
Solanaceae	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Tabaco		Medicinal
Lamiaceae	<i>Origanum majorana</i> L.	Mejorana		Medicinal
Lamiaceae	<i>Origanum vulgare</i> L.	Orégano		Alimenticio
Oxalidaceae	<i>Oxalis tuberosa</i> Molina	Oca	X	Alimenticio
Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i> Sims	Maracuya		Alimenticio
Passifloraceae	<i>Passiflora ligularis</i> Juss.	Granadilla		Alimenticio
Passifloraceae	<i>Passiflora tarminiana</i> Coppens & V.E. Barney	Curuba		Alimenticio
Poaceae	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex Chiov.	Kikuyo		Alimenticio
Piperaceae	<i>Peperomia garcia-barrigana</i> Trel. & Yunck.	Siempreviva		Medicinal
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate		Alimenticio
Fabaceae	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijol amarillo		Alimenticio
		Frijol cache	X	Alimenticio
		Frijol morado		Alimenticio
		Frijol ombligo rojo		Alimenticio
		Frijol plano	X	Alimenticio
		Frijol rayado		Alimenticio
		Frijol rojo		Alimenticio
		Frijol torta		Alimenticio
Solanaceae	<i>Physalis peruviana</i> L.	Uchuva		Medicinal
Fabaceae	<i>Pisum sativum</i> L.	Arveja		Alimenticio
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L.	Llantén		Medicinal
Poaceae	<i>Poa pratensis</i> proles <i>alpestris</i> Asch. & Graebn.	Pasto poa		Alimenticio
Polygonaceae	<i>Polygonum nepalense</i> Meisn.	Corazón herido – lengua de sapo		Medicinal
Rosaceae	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Durazno		Alimenticio
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba		Alimenticio/Medicinal
Brassicaceae	<i>Rapbanus sativus</i> L.	Rábano		Alimenticio
Rosaceae	<i>Rosa × gallica</i> L.	Rosa		Ornamental

Familia botánica	Especie	Nombre común	Especies considerada nativa	Uso local
Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Romero		Medicinal
Rosaceae	<i>Rubus glaucus</i> Benth.	Mora de castilla		Alimenticio
Rosaceae	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	Mora común		Alimenticio
Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i> L.	Barrabas		Medicinal
Rutaceae	<i>Ruta graveolens</i> L.	Ruda		Medicinal
Lamiaceae	<i>Salvia officinalis</i> L.	Salvia		Medicinal
Viburnaceae	<i>Sambucus nigra</i> L.	Sauco		Ornamental
Asteraceae	<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp.) H. Rob.	Yacón		Medicinal
Solanaceae	<i>Solanum betaceum</i> Cav.	Tomate de árbol		Medicinal
Solanaceae	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Tomate		Alimenticio
Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i> L.	Yerba mora		Medicinal
Solanaceae	<i>Solanum quitoense</i> Lam.	Lulo		Alimenticio/ Medicinal
Solanaceae	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Papa amarilla		Alimenticio
		Papa colorada careta	X	Alimenticio
		Papa común		Alimenticio
		Papa conga rosada	X	Alimenticio
		Papa guata		Alimenticio
		Papa huevo de indio	X	Alimenticio
		Papa huevo de toro	X	Alimenticio
		Papa manzana	X	Alimenticio
		Papa careta	X	Alimenticio
		Papa montañera	X	Alimenticio
		Papa parda		Alimenticio
		Papa parda blanca		Alimenticio
		Papa parda roja		Alimenticio
		Papa peruana		Alimenticio
		Papa sabanera blanca		Alimenticio
		Papa sabanera		Alimenticio
		Papa tornilla amarilla	X	Alimenticio
		Papa tornillera morada	X	Alimenticio
		Papa única		Alimenticio
Papa yema de huevo		Alimenticio		
Amaranthaceae	<i>Spinacia oleracea</i> L.	Espinaca		Alimenticio
		Espinaca de bejuco		Alimenticio
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	Diente de león		Alimenticio

Familia botánica	Especie	Nombre común	Especies considerada nativa	Uso local
Lamiaceae	<i>Thymus vulgaris</i> L.	Tomillo		Alimenticio/ Medicinal
		Tomillo crespo		Alimenticio/ Medicinal
		Tomillo gris		Alimenticio/ Medicinal
		Tomillo verde		Alimenticio/ Medicinal
Melastomataceae	<i>Tibouchina lepidota</i> (Bonpl.) Baill.	Siete cueros		Ornamental
Tropaeolaceae	<i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pav.	Majua	X	Alimenticio/Medicinal
Liliaceae	<i>Tulipa</i>	Tulipán		Ornamental
Basellaceae	<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas	Ulluco	X	Alimenticio
		Ulluco blanco		Alimenticio
		Ulluco rosado		Alimenticio
		Ulluco morado		Alimenticio
Fabaceae	<i>Vicia faba</i> L.	Haba		Alimenticio
		Haba de la rosada		Alimenticio
Violaceae	<i>Viola × wittrockiana</i> Gams	Pensamiento		Ornamental
Poaceae	<i>Zea mays</i> L.	Maíz		Alimenticio
		Maíz amarillo		Alimenticio
		Maíz amarillo criollo		Alimenticio
		Maíz capio blanco	X	Alimenticio
		Maíz criollo		Alimenticio
		Maíz espín		Alimenticio
		Maíz maní		Alimenticio
		Maíz negro		Alimenticio
		Maíz del Patía		Alimenticio
Zingiberaceae	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	Jengibre		Medicinal



Effect of the energy level of the diet of Holstein cows in early and mid-lactation on the sanitary and hygienic quality of milk

Efecto del nivel energético de la dieta de vacas Holstein en lactancia temprana y media sobre la calidad higiénica y sanitaria de la leche

Juan Esteban Gómez-Martínez¹; Albeiro López-Herrera²; José Julián Echeverri-Zuluaga³

¹Zoot, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Research Group on Biodiversity and Molecular Genetics – BIOGEM. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: juegomezma@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-7904-6057>

²Zoot, MV, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Research Group on Biodiversity and Molecular Genetics – BIOGEM. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: alherrera@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-1444-3470>

³Zoot, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Research Group on Biodiversity and Molecular Genetics – BIOGEM. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: jjecheve@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-9613-0621>

How to cite: Gómez-Martínez, J.E.; López-Herrera, A.; Echeverri-Zuluaga, J.J. 2021. Effect of the energy level of the diet of Holstein cows in early and mid-lactation on the sanitary and hygienic quality of milk. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1677. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1677>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education.

Received: August 13, 2020 **Accepted:** April 16, 2021 **Edited by:** Helber Adrian Arévalo Maldonado

ABSTRACT

During the first weeks of lactation, the energy balance of dairy cows is generally negative, allowing for decompensation in a variety of tissues and systems, especially the immune system. The energy levels of a cow's diet during the first third of lactation, in specialized dairying, will modulate the immune system functionality of the mammary glands. The aim of this study was to assess the sanitary quality of milk through the somatic cell score (SCS), the colony-forming units (CFU), and the isolated bacteria of Holstein cows with different energy levels in the diet. Thus, 24 Holstein cows were studied during their first third of lactation, after the lactation peak (50 to 100 lactation days). They were assigned into 4 treatments, taking into account the energy requirements of each animal: Isoenergetic (ISO), Hypoenergetic (HYPO), Hyper energetic (HYPER), and

Isoenergetic plus sunflower oil supplementation (OIL). Milk samples were taken for the somatic cell count (SCC) and CFUs, and isolated pathogens in milk were identified by microbiological culture. The diet had a significant effect on SCS with a value p of 0.0331, but not on the CFUs ($p < 0.5141$). 11 pathogens were identified and in 33.9% of samples, microorganisms were not isolated. The Isoenergetic diet favors the presence of some microorganisms and the increase of SCS.

Keywords: Antibiotics; Diet energy; Mastitis; Microorganisms; Milk.

RESUMEN

En las primeras semanas de lactancia, generalmente, el balance energético de la vaca lechera es negativo, determinando una

descompensación en diferentes tejidos y sistemas, en especial, el inmunológico. Los niveles de energía en la dieta de vacas, en primer tercio de lactancia en lechería especializada, modularán la funcionalidad del sistema inmune en glándula mamaria. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad sanitaria de la leche, a través de la medición de células somáticas (SCS), las unidades formadoras de colonias (UFC) y las bacterias aisladas de vacas Holstein, con diferentes niveles de energía en la dieta. Se usaron 24 vacas Holstein en el primer tercio de gestación, posterior al pico de lactancia (entre 50 y 100 días de lactancia), dispuestas en 4 tratamientos, de acuerdo con el cubrimiento de los requerimientos energéticos del animal: isoenergético (ISO), hipoenergético (HIPO), hiperenergético (HIPER) e isoenergético más suplementación con aceite de girasol (ACEITE). Se tomaron muestras de leche para el recuento de células somáticas (RCS) y UFC y se identificaron patógenos en leche, por cultivos microbiológicos. La dieta tuvo un efecto significativo sobre el SCS, con un valor p de 0.0331 y no sobre las UFC ($p < 0.5141$). Se identificaron 11 patógenos y en 33,96% de las muestras no se aislaron microorganismos. La dieta isoenergética favorece la presencia de algunos microorganismos y el aumento del SCS.

Palabras clave: Antibióticos; Energía dietaria; Mastitis; Microorganismo; Leche.

INTRODUCTION

In dairy cows, the transition period between the three weeks before parturition and the three weeks after it is characterized by dramatic modifications, especially in physiological, endocrinological, and nutritional aspects (Castro-Ruiz *et al.* 2017). At the beginning of the lactation, there is an energetic deficiency (Álvarez *et al.* 2006), since there is a sudden increase of the energy requirements because of the high demand for galactopoietic, which increases the mobilization of body reserves to keep the milk yield (Esposito *et al.* 2014).

There is evidence that energy restriction alters most of the immunologic mechanisms, including a delayed response in the production of antibodies, reduced proliferative capacity of lymphocytes and the interleukin activity, and reduced phagocytic capacity and viability of neutrophils (Tizard, 2009).

Mastitis is an inflammatory reaction of the mammary gland that causes physical and chemical alterations in the milk, increases the somatic cell count due to pathogens, and finally, produces loss of functionality of this tissue (Villa-Arcila *et al.* 2017). The mammary gland is at special high risk of infection in dairy herds (Reyes, 2015) during negative energy balance periods, because this tissue contains all the necessary components to sustain life, being thus highly attractive to invading microorganisms seeking to exploit such resources to their benefit (Tizard, 2009). These microorganisms could be frequently found in the animal itself or the surrounding environment (including the milkers). So, while microorganisms such as *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Corynebacterium bovis*, and *Mycoplasma* spp. can cause contagious mastitis, others like *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Serratia* spp., *Pseudomonas* spp.

and *Proteus* spp., and some gram-positive bacteria like *Streptococcus uberis* and *Streptococcus dysgalactiae* can produce environmental mastitis (Calderón & Rodríguez, 2008).

Immune components of bovine mammary glands act as a defense against pathogens, including innate and specific immunity (Sordillo & Streicher, 2002) and the proper functioning of these defense systems will rely, greatly, on the degree of infection and the mammary gland's physiological stage (Meglia & Mata, 2001) which can be measured through SCS. Furthermore, both the quantity and type of microorganisms found in milk is a kind of information reflecting sanitary conditions, at several levels, during milk yield in dairy farms, such aspects can be measured with the CFUs (Kunová *et al.* 2017). Nonetheless, it has a limited diagnostic value concerning the specific identification of the contaminant bacterium (Ruiz-Cortés *et al.* 2012), which could be solved through the identification of microorganisms in microbiological cultures.

There are also other mechanisms, apart from the biological, to control mammary gland infections, where antibiotics therapy plays a major role. Nevertheless, a significant disadvantage of this therapy is that, besides being used in the treatment of intramammary infections, it is also administered as a prophylactic to prevent diseases during the cow's dry period, between one lactation and the next, favoring thus the selection of resistant strains and the generation of residue in the dairy product (Pellegrino *et al.* 2011).

Nutrition is a key element in the proper functioning and development of the immune system during an animal's lifespan (Zapatera *et al.* 2015). The supplementation with fatty acids is sometimes used to increase both dietary energy and milk yield (He & Armentano, 2011) and, naturally, to favor the animal's immune system and to strengthen the milk's fatty acids profile.

The aim of this work was to evaluate if different levels of energy in the diet of Holstein cows in the first third of lactation modulate the functionality of the immune system in the mammary gland, reflected through the SCC, CFUs, and the identification of pathogens in milk.

MATERIALS AND METHODS

This research project was endorsed by the Universidad Nacional de Colombia ethics committee (CEMED 037), 2014.

Target population. 24 Holstein cows multiparous (2 to 6 parturition), during the second half of the first third of lactation (50 to 100 lactation days) were studied. They were selected to form a group as homogeneous as possible in live weight between 500 and 600kg, and milk yield 41 ± 7.6 L on average. The cows do not have health problems either mammary gland alterations. The study was carried out at the Paysandú farming station at the Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Santa Elena village), during the second semester of the year.

Treatments with different energy levels and sources in the diet. All 24 cows were assigned into 4 treatments, 6 cows each.

The diet was based on kikuyu grass *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. and a type of balanced feed ration considering the raw material described in table 1 and made at the San Pablo concentrated food processing farming station at the Universidad Nacional de Colombia.

The treatments assessed were treatment 1 (control) Isoenergetic diet (ISO) fulfilling 100% of cow's energy requirements, treatment 2 Hyper energetic diet (HYPER) 115%, 15% over the cow's energy requirements, treatment 3 Hypoenergetic diet (HYPO) fulfilled up to 85% of the cow's energy requirements and treatment 4, isoenergetic diet plus sunflower oil supplementation (OIL), 6% over the cow's energy requirements.

Animals were fed adding concentrated food to the estimated forage intake to reach 100% of the energy requirements. Besides, the concentrated food was added with 350g of sunflower oil to be administered during each of the two milkings, corresponding to 6% of additional energy requirements.

A pilot test was carried out aimed at estimating individual intake of kikuyu grass, using chromium oxide as an external marker and indigestible dry matter (DM) as an internal marker, following the described methodologies by Lippke (2002) and Mojica *et al.* (2009).

The calculation of Net energy of lactation (NEL) was carried out from Gross energy (GE) and Total Digestible Nutrients (TDN) using the NRC-2001 formulas for both the forage and the balanced

feed. Then, an evaluation of the NEL requirements was made for each of the cows under study using the NRC-2001 formulas, using the milk quality and yield milk daily of each one. From this energy, requirements were subtracted those contributed by the energy supplied from the forage according to the previous study, and the amount of missing energy (depending on the treatment the cow was in) was supplied increasing or decreasing the amounts of balanced feed distributed in the morning and afternoon milking.

Milk samples. The animals had 25 treatment days, where samples were taken the days 0, 5, 10, 15, 20, 23, 24 and 25. Milk samples were taken in the morning milking and the afternoon and they were sent in refrigeration at 4°C, before two hours, to the Milk Safety and Quality Laboratory of the University of Antioquia for the measure of CFUS (in preservative Azidiol®) and SCC (in Bronopol® preservative) counting. And for the microbiological culture samples were taken to the diagnostic unit of the veterinary microbiology laboratory.

Statistical analysis. A logarithmic transformation of the somatic cell count data was performed to be converted to somatic cell score (SCS) to obtain normality, according to the expression $\text{Log}_2(\text{SCC} / 100000) + 3$, as described by Dabdoub & Shook (1984) and for the CFUs analysis, a logarithmic transformation was performed, according to the expression $\text{Log}(\text{CFU})$ as described by Álvarez-Fuentes *et al.* (2012). Following this, a normality test was carried out for both variables and when this assumption was met, a repeated measures test was carried out for each one, using the proc mixed

Table 1. Raw material for the elaboration of balanced feed and bromatological analysis of balanced food and grass *Pennisetum clandestinum*.

RAW MATERIAL OF THE BALANCED FEED		BROMATOLOGICAL ANALYSIS		
Ingredients	Inclusion (%)	Analysis	Balanced Feed (%)	Grass (%)
CORN	56.4	CP ^a	16.5	23.5
MANDIOC	10	NDIP ^b	0.7	11
WHEAT BRAN	7.21	ADIP ^c	0.8	2.4
PALM OIL	2	NDF ^d	10.9	61.9
SOY FLOUR	18	EE ^e	5.01	3.1
CANE MOLASSES	4	Ash	6.2	10.2
CALCITE (CaCO ₃)	0.62	Lignin	2.1	4.6
MONO-DICALCIUM PHOSPHATE	0.99	NSC ^f	62.09	12.3
SODIUM CHLORIDE (MARINE)	0.3	NDF:NSC ^g	0.18	5.03
VITAMIN PREMIXING.	0.25	NEL(Mcal) ^h	1.9	1.1
MINERAL PREMIXING.	0.25			

^a Crude protein; ^b Neutral detergent insoluble protein; ^c Acid detergent insoluble protein; ^d Neutral detergent fibre; ^e Ethereal extract; ^f Non-structural carbohydrates; ^g Relationship between NDF and NSC; ^h Net energy of lactation (in mega-calories).

command from SAS® software version 9.2 (SAS Institute Inc., 2009). The models used to describe the SCS and CFUs variables were the next, respectively:

$$(SCS)Y_{ijklmnopqrs} = \mu + D_i + CN_j + DIM_k + TD_l + (Y P_m * MP_n) +$$

$$MY_o + CFU_p + P_q + MT_r + C_s(D_i) + \epsilon$$

$$(CFU)Y_{ijklmnopqrs} = \mu + D_i + CN_j + DIM_k + TD_l + (Y P_m * MP_n) + MY_o +$$

$$SCS_p + P_q + MT_r + C_s(D_i) + \epsilon$$

$Y_{ijklmnopqrs}$ = Dependent variable.

μ = Mean of the dependent variable.

D_i = Fixed effect of diet i ($i = 1, 2, 3$ and 4).

CN_j = Fixed effect of calving number j ($j = 2, 3, 4, 5$ and 6).

DIM_k = Fixed effect of days in milk k ($k = 50$ to 100 days).

TD_l = Fixed effect of test day l ($l = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ and 8).

$Y P_m * MP_n$ = Interaction effect of calving year m ($m = 1$ and 2) and calving month n ($n = 1$ to 12)

MY_o = Fixed effect of milk yield o ($o = 33$ Kg to 49 Kg).

CFU_p = Fixed effect of CFUs p ($p = 0$ to 2).

SCS_p = Fixed effect of SCS p ($p = 1$ to 13).

P_q = Fixed effect of the amount of isolated pathogens q ($q = 0, 1, 2$ and 3).

MT_r = Fixed effect of the mastitis type r ($r = 0, 1, 2$ and 3).

$C_s(D_i)$ = Random effect of the s -th diet nested cow.

ϵ = Error.

Then, a correlation was made with the Proccorr command of SAS® software version 9.2 (SAS Institute Inc., 2009), between the SCSs and the transformed CFUs. A histogram was made with each of the identified microorganisms and with all the cows under study (Figure 1). Two microorganisms' categorizations were carried out according to their relationship with either contagious

or environmental mastitis, to the number of pathogens isolated per sample for the diet's association with the type of pathogen isolated, and to the number of pathogens isolated per sample. This analysis was based on a 95% confidence interval and an OR (Odds Ratio) (Cerdeira *et al.* 2013).

RESULTS AND DISCUSSION

The milk production mean during the trial was 36.9L with a SE 7.8L for all treatments. The diets HYPER and OIL had the lowest mean for this variable, 34.8 and 34.9L, respectively, with a SE of 10.9 and 5L in the same sense. The HYPO diet had a mean and a SE of 36.9 and 8.3L, respectively. Lastly, the highest production milk mean was the diet ISO, 38.8L and its SE was 5.9L. The SCS mean in general was 8 and a SE 2.1 and for the treatments, HYPO, ISO, HYPER, and OIL was 8.9 ± 2.3 , 6.7 ± 1.7 , 7.9 ± 2.4 and 7.5 ± 1.9 , respectively, for the general trial time. For the CFUT variable, the general mean during the trial period was 1.43 with a SE of 0.22. The ISO diet had the lowest mean for the variable above, 1.17 ± 0.24 , and the highest mean was the diet HYPO with 1.9 ± 0.22 . The CFUT means for the diets HYPER and OIL, were 1.32 ± 0.4 and 1.66 ± 0.2 , respectively, according to the general trial.

In the model was observed that the diet had a significant effect on the SCS, with a p-value of 0.03, this parameter being the only significant parameter within the chosen model (Table 2).

The diet with the lowest mean for SCS was the Isoenergetic diet and, in contrast, the diet with the highest mean for this same parameter was the Hypoenergetic diet.

Table 2. Minimum mean-square for each diet and difference of minimum mean-squares between diets for SCS and CFUT variables.

DIET	SCS			CFUT		
	EM	SE		EM	SE	
HYPOENERGETIC	7.3301	0.7879		1.6029	0.2177	
ISOENERGETIC	4.1813	0.7624		1.1520	0.2356	
HYPERENERGETIC	6.7280	1.1845		1.2514	0.3257	
OIL	6.3354	1.0006		1.5680	0.2750	
CONTRAST	ED	SE	Pr > t	ED	SE	Pr > t
HYPO vs ISO	3.1487	0.9899	0.0087*	0.4509	0.3158	0.1811
HYPO vs HYPER	0.6021	1.3215	0.6575	0.3515	0.3573	0.3464
HYPO vs OIL	0.9947	1.2679	0.4493	0.03494	0.3361	0.9191
ISO vs HYPER	-2.5466	1.1299	0.0456*	-0.09942	0.3227	0.7637
ISO vs OIL	-2.1540	1.3027	0.1264	-0.4160	0.3580	0.2698
HYPER vs OIL	0.3926	1.4699	0.7943	-0.3165	0.3818	0.4247

* Statistically significant difference between the means; EM = Estimated mean; SE = Standard error; ED = Estimated difference; Pr > t = p- value.

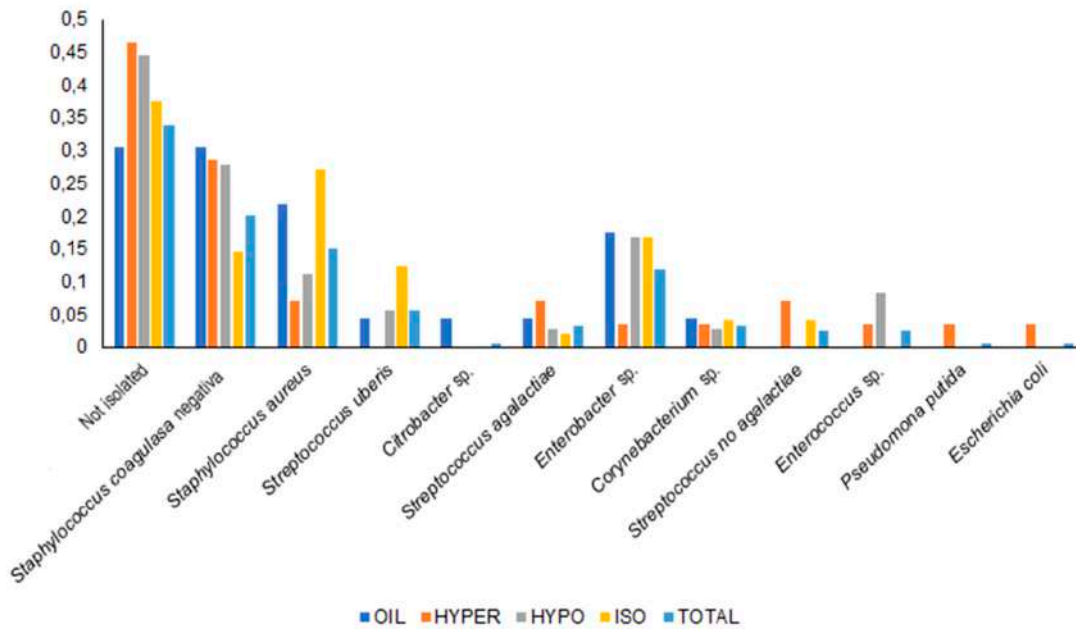


Figure 1. Frequency of eleven microorganisms isolated of milk of 24 multiparous cows in early and mid-lactation, in four treatments with different coverage of the required energy level and the general or total frequency for each isolation in the study.

Regarding the differences between minimum mean-squares, there was a significant difference between the means of the HYPO and the ISO diets, as well as a significant difference between the means of the ISO and the HYPER diets. The difference between means was not significant between the ISO and OIL diets, nor was the contrast significant between means of the HYPO, HYPER, and OIL diets, or the OIL and HYPER diets (Table 2).

The HYPO diet that obtained a higher SCS had an average higher than the one reported by Pinedo & Melendez (2010) in Chile since this was 4.77. However, the standardization used in the above-mentioned article enabled the low value for the SCS, since that value represents, for the article, 308,000 somatic cells per milliliter, which in this study would represent a score of 8.08.

No report on the effect of the energy level of the diet on the SCS count was found, which makes this study a pioneer in this kind of analysis. However, it was observed that there was indeed a significant effect of such parameter on the response variable, as reported by Tizard (2009), who states that the greatest influence on the health of the cow's mammary gland is the feeding (energy intake); therefore, deficiencies in the energy and protein contributions weaken the functioning of the immune system (increasing the SCC) and enabling pathogens invasion (increasing the CFUs).

The increase of the SCS in cows with food alterations is due to the fact that the small number of somatic cells, which are usually found in the mammary gland and belong to the innate immune system, are not able to resolve intramammary infections that are increasingly recurrent and require, therefore, a greater number of immune cells and the acquired immune system, bringing significant changes in the somatic cell count (Sordillo & Streicher, 2002).

In this model, no parameter had a significant effect on the CFUs response variable, including the diet that showed a p-value of 0.5141.

The estimated mean with the lowest value for the CFUs with logarithmic transformation was the ISO control diet, while, on the contrary, the HYPO diet obtained the highest average; the same was true for SCS. Therefore, there was no statistically significant difference between the various contrasts between the means of all the diets (Table 2).

The CFUs mean of this study was 149,000CFUs/mL, lower than the established within the hygienic quality standards proposed by Resolution 017 (MADR 2012), which is between 175,000 and 200,000CFUs/ml. The lowest mean of CFUs found in this study was observed in the ISO diet with an adjusted value of 1.1520, which represents a value of 25,000CFUs/ml, well below that reported by Vásquez *et al.* (2012), since in that study for Medellín the mean was 122,000 CFUs/ml. However, in this study, the diet with the highest CFUs average was the HYPO diet with a value of 256,000CFUs/ml, which is even much higher than that of Barranquilla, the region with the highest CFUs average in Colombia (Vásquez *et al.* 2012).

There were no statistical differences between the means of the variable of the different treatments, which can be understood from the factors that affect the variable that is largely environmental and, therefore, external to the animal, as mentioned by Ruiz-Cortés *et al.* (2012), where the CFUs are mostly affected by the type of milking (manual or mechanical), the region's altitude, and the time in the milk churn or the temperature at which milk is kept.

Also, the milk's hygienic quality is affected by microbiological factors influenced, in turn, by the practice of cleaning, disinfection, and

environmental hygiene at the time of milking (Hurtado-Lugo *et al.* 2005), so, possibly, the diet did not have a significant effect on the CFUs, since there are other factors that may alter this parameter to a greater extent, although it should be clarified that, in this study, the animals of the different treatments were subject to the same hygienic and sanitary practices.

The correlation obtained between the somatic cell score (SCS) and the colony-forming units with the logarithmic transformation (CFUT) was moderate to the low correlation of 35.6% with a p-value of 0.0001.

The SCC in milk can also be altered by CFUs, especially by some microorganisms-bacteria that are classified as contagious and environmental (Colorado *et al.* 2018), so a relationship between SCC and CFUs is to be expected. The correlation found in this work of 35.6% was higher than that reported by Cerón-Muñoz *et al.* (2016) which was 11%. In this sense, the moderate-high correlation observed in this work could be mainly due to two factors. The first factor is the logarithmic transformations made both to the SCC and to the CFUs, where the distant values may have more proximity after the transformation; and the second factor is that the minimum mean-squares for both SCC, represented in SCS, and for CFUs, represented in CFUT, keep a similar order from lowest to highest, where the lowest values apply for the ISO treatment and the highest for the HYPO.

In Colombia, the averages for SCC and CFUs in specialized dairying are 400,000-600,000cells/mL and 395,551CFUs/mL, respectively (Carulla & Ortega, 2016), which are averages higher than those found in this work, especially in the ISO treatment, in which the SCC was 22,852cells/ml, and the CFUs was 25,000 per mL. The higher values of SCS are undesirable because they represent a health problem for the mammary gland (Colorado *et al.* 2018), and the high values of CFUs, due to represent a lower bacteriological quality of the milk (Vásquez *et al.* 2012).

Regarding the microbiological analysis, the observed value for the frequency of non-isolations, of 33.9%, was higher than that described by Ramírez *et al.* (2011), which was 23.9%. It was also higher than the reported by Gasque & Blanco (2001) and Colorado *et al.* (2018), which for both was 29.86%. The explanation of the high prevalence of negative samples, or without isolation, is understood from a biological point of view, where bacteria are intermittently eliminated by the functioning of the immune system, according to Gasque & Blanco (2001). This could happen in the HYPO diet since it showed a high SCS, or as in the case of the ISO diet, where the pathogen displayed in low amount since this treatment had the lowest mean for CFUs.

Samples that did not show isolates were also included in this study (Figure 1). It was possible to identify 11 different microorganisms. The samples that did not show the isolation of microorganisms obtained the highest frequency in all the diets with a general frequency of 33.96%, followed by the coagulase-negative *Staphylococcus* microorganism, which obtained the highest frequency in most

treatments except for the ISO treatment, where the *Staphylococcus aureus* showed the highest frequency. Both with general frequencies of 20.13% and 15.09%, respectively. The microorganism associated with environmental mastitis that appeared with greater frequency was *Enterobacter* spp. with a frequency of 11.95%, whereas *Escherichia coli*, as well as *Pseudomona putida*, only appeared in the treatment HYPER.

The predominant microorganism in the study was coagulase-negative *Staphylococcus* with isolation in all samples in 33.96% -a bacterium classified as responsible for contagious mastitis, unlike the reported by Villa-Arcila *et al.* (2017), where such microorganism was the second most frequent, after the *Staphylococcus aureus*. Colorado *et al.* (2018) reported that *Arcanobacterium haemolyticum* was found to be the most frequently isolated pathogen in the specialized milking systems of northern Antioquia, with a presence in 20.84% of the total samples evaluated, being this value much higher than that found in this study for this microorganism, which was only 3.14% of the total of the isolated samples, while in the study by Colorado *et al.* (2018) the presence of coagulase-negative *Staphylococcus* was lower than that found here, since it had a value of 18.4%.

On the other hand, *S. uberis* had a total isolation frequency of 5.66%, like that reported by Villa-Arcila *et al.* (2017), which fluctuated between 11.4% from the dry period of the cows to 5.4% in the fourth week postpartum. Similar results were also reported by Calderón & Rodríguez (2008), with a 5.7% frequency. *Streptococcus agalactiae* had a lower frequency in this study, 3% than that reported by Colorado *et al.* (2018), which was 13.8%. This pathogen has been, for a long time, the most known causative agent of mastitis, and can cause severe septicemia and meningitis in neonates (Wolter *et al.* 2004) and its lowest percentage of isolation was shown in the ISO diet with 2%.

As for the pathogens *E. coli*, *Pseudomona putida* and *Citrobacter* spp., that can generate serious clinical mastitis (Klaas & Zadoks, 2017) as they are environmental agents, and their presence in this study was due, probably, to cross-contamination by the manipulation of the sample by the milkers. These agents showed up in 0.63% of the cases, which translates into a case for each of them, which is like the findings by Villa-Arcila *et al.* (2017).

Of the eleven microorganisms identified, five are related to contagious mastitis and six to environmental mastitis; but some of these microorganisms may present strains with both kinds, for instance, Leelahapongsathon *et al.* (2020) observed through molecular analysis that *Streptococcus uberis* can have contagious strains and environmental strains with spontaneous cure. The OR between the ISO control diet and the other diets and the presence or absence of microorganisms related to contagious mastitis or environmental mastitis were determined (Table 3). This allowed to determine that the ISO diet had a protective effect in comparison with the other diets regarding the presence of microorganisms associated with contagious mastitis, with a 95% confidence interval. No protective or risk effect of the ISO diet was found in comparison with the other diets regarding the presence of microorganisms associated

with environmental mastitis. No effect was observed either regarding the number of isolated microorganisms with a confidence interval of 95% (Table 3).

No studies were found related to the ORs which associate the diet's energy intake and the type of isolated microorganism (contagious or environmental), as was the case here. Despite this fact, results are encouraging, since in the case of contagious pathogens, the ISO diet with a 0.77OR, seems to have a protective effect, which suggests that the use of antibiotics for the control of causative pathogens of subclinical contagious mastitis can be diminished if the animal's energy requirements are considered and that higher or lower intakes may favor the environmental pathogens contamination of the bovine mammary gland, since, as mentioned by Wolter *et al.* (2004), the improvements in the milking processes and hygiene must

be accompanied by improvements in the feeding and management of the herd and the facilities. In this sense, the good functioning of the immune system linked to good nutritional conditions can keep the contagious microorganisms in balance, especially those in the skin of the mammary gland (Tizard, 2009).

In conclusion, the level of energy in the diet modulates the SCS but not the CFUs in Holstein dairy cows in the first third of lactation. Particularly the isoenergetic diet has the best benefits about those variables, and this diet could help to protect the dairy cows of pathogens related to contagious mastitis.

Acknowledgments. This work has been funded by the project "Modulating gene expression in the mammary glands of Holstein cows via nutritional factors", Contract 2015-021, Colciencias.

Table 3. Associations of the ISO diet with the type of microorganism isolated and the number of microorganisms isolated.

ASSOCIATIONS	OR	CONFIDENCE INTERVAL at 95%
CONTAGIOUS MASTITIS	0.777	0.185-0.857
ENVIRONMENTAL MASTITIS	0.454	0.457-2.290
NUMBER OF PATHOGENS	1.666	0.854-3.911

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests, or any economic, personal, or political relation affiliation, nor any financial or academic interest that may influence their judgment during this study.

REFERENCES

1. ÁLVAREZ-FUENTES, G.; HERRERA-HARO, J.G.; ALONSO-BASTIDA, G.; BARRERAS-SERRANO, Y A. 2012. Calidad de la leche cruda en unidades de producción familiar del sur de Ciudad de México. Arch. Med. Vet. 44:237-242. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2012000300005>
2. ÁLVAREZ, H.J.; BICHIO, L.; PESCE, M.A.; CANGIANO, C.A.; GALLI, J.R. 2006. Producción de leche bovina con distintos niveles de asignación de pastura y suplementación energética. IJANR (Chile). 33(2):99-107.
3. CALDERÓN, A.; RODRÍGUEZ, V.C. 2008. Prevalencia de mastitis bovina y su etiología infecciosa en sistemas especializados en producción de leche en el altiplano cundiboyacense (Colombia). Rev Colomb Cienc Pecu. 21(4):582-589.
4. CARULLA, J.E.; ORTEGA, E. 2016. Sistemas de Producción Lechera En Colombia: Retos y Oportunidades. Arch. latinoam. prod. anim. 24(2):83-87.
5. CASTRO-RUIZ, S.M.; GALVIS-GÓEZ, R.D.; LÓPEZ-HERRERA, A.; GIRALDO-GIRALDO, J.J. 2017. Efecto Del Nivel de Suplementación Con Propilenglicol Durante El Período de Transición a La Lactancia Sobre Actividad Ovárica Y Desempeño Reproductivo En Vacas Holstein. Revista Lasallista de Investigación (Colombia). 14(2):30-40. <https://doi.org/10.22507/rli.v14n2a3>.
6. CERDA, J.; VERA, C.; RADA, G. 2013. Odds ratio: Theoretical and practical issues. Rev. méd. Chile. 141(10):1329-1335 <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872013001000014>
7. CERÓN-MUÑOZ, M.F.; CHAVES-GALEANO, F.P.; PALACIO, L.G. 2016. Paradigma de la valoración de pago de la leche cruda: calidad composicional, higiénica y sanitaria en Colombia. Livest. Res. Rural. Dev. (Colombia). 28:202.
8. COLORADO, J.J.; ECHEVERRY-ZULUAGA, J.J.; OLIVERA-ANGEL, M.; LÓPEZ-HERRERA, A. 2018. Microorganismos aislados en cultivo bacteriológico de muestras de leche de vacas Holstein clínicamente sanas. Rev. CES Med. Zootec (Colombia).13(1):31-41. <http://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.13.1.3>
9. DABDOUB, S.M.; SHOOK, G.E. 1984. Phenotypic relations among milk yield, somatic cell count and clinical mastitis. J Dairy Sci (U.S.A). 67:163-164. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)72747-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)72747-8)

10. ESPOSITO, G.; PETE, C.I.; EDWARD, C.W.; ASPINAS, C. 2014. Interactions between Negative Energy Balance, Metabolic Diseases, Uterine Health and Immune Response in Transition Dairy Cows. *Animal Reproduction Science* (Netherlands). 144(3-4):60-97.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.11.007>
11. GASQUE, R.; BLANCO, M. 2001. *Zootecnia en bovinos productores de leche*, 1st edition, FMVZ-UNAM, Mexico. p.246.
12. HE, M.; ARMENTANO, L.E. 2011. Effect of fatty acid profile in vegetable oils and antioxidant supplementation on dairy cattle performance and milk fat depression. *J Dairy Sci* (U.S.A). 94(5):2481-2491.
<https://doi.org/10.3168/jds.2010-3755>
13. HURTADO-LUGO, N.; CERÓN-MUÑOZ, M.; TONHATI, H.; GUTIERREZ-VALENCIA, A.; HENAO, A. 2005. Producción de la leche en búfalas de la Costa Atlántica colombiana. *Livestock Research For Rural Development* (Colombia). 17(12).
14. KLAAS, I.C.; ZADOKS, R.N. 2017. An update on environmental mastitis: Challenging perceptions. *Transbound Emerg Dis* (United Kingdom). 65(1):166-185.
<https://doi.org/10.1111/tbed.12704>
15. KUNOVÁ, S.; GOLIAN, J.; ZELENÁKOVÁ, L.; LOPAŠOVSKÝ, L.; ČUBOŇ, J.; HAŠČÍK, P.; KAČÁNIOVÁ, M. 2017. Microbiological quality of fresh and heat treated cow's milk during storage. *Potr. S. J. F. Sci.* 11(1):652-657.
<https://doi.org/10.5219/799>
16. LEELAHAPONGSATHON, K.; SCHUKKEN, Y.H.; SRITHANASUWAN, A.; SURIYASATHAPORN, W. 2020. Molecular epidemiology of *Streptococcus uberis* intramammary infections: Persistent and transient patterns of infection in a dairy herd. *J. Dairy Sci.* 103(4):3565-3576.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17281>
17. LIPPKE, H. 2002. Estimation of forage intake by ruminants on pasture. *CROP SCI. (U.S.A)*. 42(3):869-872.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2002.0869>
18. MEGLIA, G.; MATA, H. 2001. Mecanismos específicos e inespecíficos de defensa, con referencia a la glándula mamaria de los bovinos productores de leche. *Ciencia Veterinaria* (Argentina). 3(1):29-40.
19. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL-MADR. 2012. Resolución número 017 de 2012 "Por el cual se establece el sistema de pago de la Leche Cruda al Proveedor". 18p.
20. MOJICA, J.E.; CASTRO, E.; LEÓN, J.; CÁRDENAS, E.A.; PABÓN, M.L.; CARULLA, J.E. 2009. Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. *Livestock Research for Rural Development* (Colombia). 21(1).
21. NATIONAL RESEARCH COUNCIL, NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci. (Washington, DC.). 65-67.
22. PELLEGRINO, M.S.; FROLA, I.D.; ODIERNO, L.M.; BOGNI, C.I. 2011. mastitis bovina: resistencia a antibióticos de cepas de *Staphylococcus aureus* aisladas de leche. *REDVET* (Argentina). 12(7):1-14.
23. PINEDO, P.; MELENDEZ, P. 2010. Patrones temporales de recuento de células somáticas, grasa, proteína y nitrógeno ureico en leche de estanque y su asociación con fertilidad en ganado lechero en la zona centro-sur de Chile. *Arch. med. vet. (Chile)*. 42(1):41-48.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2010000100006>
24. RAMÍREZ, V.; ARROYAVE, H.; CERÓN-MUÑOZ, M.; JARAMILLO, M.; CERÓN, J.; PALACIO, G. 2011. Factores asociados a mastitis en vacas de la microcuenca lechera del altiplano norte de Antioquia, Colombia. *Rev. Med. Vet. (Colombia)*. 22:31-42.
25. REYES, M.P. 2015. Principales vulnerabilidades en la mastitis bovina en una empresa pecuaria oriental de cuba (main vulnerabilities in bovine mastitis in eastern cattlecompany of Cuba). *REDVET* (Argentina). 16(5):1-9.
26. RUIZ-CORTÉS, T.; OROZCO, S.; RODRÍGUEZ, L.S.; IDÁRRAGA, J.; OLIVERA, M. 2012. Factores que afectan el recuento de UFC en la leche en tanque en hatos lecheros del norte de Antioquia-Colombia. *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 15(1):147-155.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.812>
27. SAS INSTITUTE INC. 2009. *SAS/STAT 9.2 User's Guide* Cary, NC, USA. Second edition. Available from Internet in: <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugmcmc/63125/PDF/default/statugmcmc.pdf>
28. SORDILLO, L.M.; STREICHER, K.L. 2002. Mammary gland immunity and mastitis susceptibility. *J Mammary Gland Biol Neoplasia* (U.S.A). 7(2):135-146.
<https://doi.org/10.1023/A:1020347818725>
29. TIZARD, I.R. 2009. *Introducción a la inmunología veterinaria*. Elsevier, 8th edition. Texas (U.S.A). p.591.
30. VÁSQUEZ, J.F.; LOAIZA, E.T.; OLIVERA, M. 2012. Calidad higiénica y sanitaria de leche cruda acopiada

- en diferentes regiones colombianas. *ORINOQUIA (Colombia)*.16(2):13-23.
31. VILLA-ARCILA, N.A.; DUQUE-MADRID, P.C.; LASSO-ROJAS, L.; SÁNCHEZ-ARIAS, S.; CEBALLOS-MÁRQUEZ, A. 2017. Etiología de las infecciones intramamarias subclínicas al secado y en el postparto en vacas lecheras en Caldas, Colombia. *Revista Científica (Venezuela)*. 27(4):227-334.
32. WOLTER, W.; CASTAÑEDA, H.; KÑOPPERS, B. 2004. La mastitis bovina. prevención, diagnóstico y tratamiento. Editorial Universitaria. México. p.146.
33. ZAPATERA, B.; PRADOS, A.; GÓMEZ-MARTÍNEZ, S.; ASCENSIÓN, M. 2015. Inmunonutrición: metodología y aplicaciones. *Rev Esp Nutr Comunitaria (Spain)*. 21(1):144-153.
<http://doi.org/10.14642/RENC.2015.21.sup1.5061>



Caracterización química, degradabilidad ruminal y aceptabilidad por bovinos, de un subproducto de la industria del papel

Chemical characterization, ruminal degradability and bovine acceptability of a byproduct of the paper industry

George Oneiber Jaime^{1*}; Juan Evangelista Carulla²; Gustavo Álvaro Wills-Franco³

¹Zootecnista, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Bogotá, Colombia; e-mail: gojaimet@unal.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0003-0020-978X>

²Zootecnista, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Bogotá, Colombia; e-mail: jecarullaf@unal.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0002-8854-1850>

³Zootecnista, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Bogotá, Colombia; e-mail: gawillsf@unal.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0003-1088-0817>

*autor de correspondencia: gojaimet@unal.edu.co

Cómo citar: Jaime, G.O.; Carulla, J.E.; Wills-Franco, G.A. 2021. Caracterización química, degradabilidad ruminal y aceptabilidad por bovinos, de un subproducto de la industria del papel. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1204. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1204>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: abril 22 de 2019 **Aceptado:** abril 19 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Las variaciones climáticas pueden limitar la disponibilidad y la calidad de los forrajes. Se estudió un subproducto del papel (SIP) como alternativa a los forrajes en la ración de los bovinos. Se analizaron 12 muestras de SIP, para determinar su composición nutricional y degradabilidad ruminal. La aceptabilidad (1,07kg MS) por los bovinos de los SIP solo o en mezcla, se evaluó en 12 novillas Holstein, asignadas a dos cuadratos latinos, cada uno con tres tratamientos y dos réplicas. En el primer cuadrado, los tratamientos fueron SIP solo (T1); SIP+glicerol (T2) y SIP+melaza (T3). En el segundo, los tratamientos fueron SIP+suplemento comercial (SC) (T4); SIP+SC+glicerol (T5) y SIP+SC+melaza (T6). Los SIP presentaron bajos contenidos de PC ($1,5 \pm 0,14\%$) y altos niveles de FDN ($56,9 \pm 6,17\%$) y cenizas ($53,3 \pm 1,98\%$) y una *DIVMO* ($47,7 \pm 5,8\%$) media. Las concentraciones de P ($0,045 \pm 0,006\%$) y K

($0,023 \pm 0,03\%$) fueron bajas, mientras que las de Ca ($13,5 \pm 0,8\%$), Cu ($63,9 \pm 11,5\%$) y Fe (1365 ± 189 ppm) fueron altas. La tasa de desaparición de la MS del SIP fue de $11,8\% \cdot h^{-1}$; la fracción soluble (**a**), 14% y la fracción potencialmente degradable y no soluble (**b**), 46,6%. La aceptabilidad del SIP fue mayor, cuando se ofreció en mezclas (T1 vs T2-T3; $p < 0,05$) y con concentrado y melaza (T4-T5 vs T6; $p < 0,05$). La variación en la calidad composicional del SIP fue menor para la mayoría de nutrientes y su calidad baja, debido a una digestibilidad media, una baja PC y altas cenizas. Además, su aceptabilidad fue pobre cuando se suministró sola, pero mejoró con el uso de palatabilizantes o SC.

Palabras clave: Aceptabilidad; Digestibilidad *in vitro*; Degradabilidad ruminal; Subproductos; Papel. AGROVOC Tesouro.

ABSTRACT

Climatic variations can limit the availability and quality forages. The use of byproducts of the paper industry (BPI) was studied as part of cattle rations. Twelve samples of BPI were analyzed to determine the nutritional composition and ruminal degradability. The acceptability (1.07 kg DM) of the BPI was evaluated in 12 Holstein heifers, assigned to two Latin squares with two replicates and three treatments each. The first square, the treatments were BPI alone (T1), BPI + glycerol (T2) and BPI + molasses (T3). In the second square, treatments were BPI + commercial supplement (CS) (T4), BPI + CS + glycerol (T5) and BPI + CS + molasses (T6). The BPI presented low CP ($1.5 \pm 0.14\%$), high levels of NDF ($59.6 \pm 6.17\%$) and ash ($53.3 \pm 1.98\%$) and médium *I/ODM* ($47.7 \pm 5.8\%$). Concentrations of P ($0.045 \pm 0.06\%$) and K ($0.023 \pm 0.03\%$) were low while Ca ($13.5 \pm 0.8\%$), Cu (63.9 ± 11.5 ppm) and Fe (1365 ± 189 ppm) high. Rate of DM disappearance for BPI was $11.8\% \cdot h^{-1}$, soluble fraction (a) 14% and a potentially degradable fraction but not soluble (b) 46.6%. The acceptability of BPI was higher when fed in mix (T1 vs T2-T3; $p < 0.05$) and with concentrate and molasses (T4-T5 vs T6; $p < 0.05$). Variation in nutritional composition of BPI was low for most and its nutritional quality low due to a moderate digestibility, a low CP and high ash. In addition, its acceptability was low but improved when supplied with the use of palatability agents and CS.

Keywords: Acceptability; *in vitro* digestibility; Ruminal degradability; Byproduct; Paper.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la actividad agroindustrial en los últimos años, ha tenido como consecuencia la acumulación de residuos lignocelulósicos en el mundo (Mahesh & Mohini, 2013), generados por prácticas forestales y agrícolas, industrias madereras, productoras de pulpa y papel, entre otras, los cuales son, a menudo, eliminados mediante la combustión de biomasa, que genera contaminación ambiental (Howard *et al.* 2003). Algunos residuos sólidos derivados de la industria de la pulpa y papel han tenido diferentes opciones de aprovechamiento, entre las cuales, están incineración, compostaje, vermicompostaje, producción de etanol, producción de ácido láctico, uso en la industria papel y cartón, productos minerales (cemento, cerámicas), pavimentos, productos absorbentes y alimentación animal (Bajpai, 2015). El uso de algunos tipos de residuos de la industria del papel en la alimentación de animales rumiantes se ha evaluado desde los años setenta, en donde autores, como Mertens *et al.* (1971) y Coombe & Briggs (1974), evaluaron la inclusión de papel en la dieta de bovinos y de ovinos y otros autores, como Croy & Rode (1988), Moss *et al.* (1990), Nishimura *et al.* (2019), Maeda *et al.* (2019) e Izumi *et al.* (2019), evaluaron la inclusión de pulpa de papel en la dieta de rumiantes.

Otros residuos generados durante el proceso de fabricación de papel, como los lodos de destintado (Subproductos de la Industria del Papel –SIP), no han sido evaluados en alimentación animal. Estos lodos de destintado o SIP, se generan en la producción de fibra, a partir de papel reciclado (Kujala, 2012); sus componentes principales

son fibras cortas de celulosa, carbonato de calcio, caolín, minerales y algunas partículas de tinta (Monte *et al.* 2009).

En Colombia, la producción de papel y cartón, para el 2017, fue 1.252.680 toneladas, donde el 60,81% de la fibra utilizada tuvo su origen a partir de fibra secundaria (papel reciclado) y se generaron alrededor de 611.245 toneladas de residuos no peligrosos (ANDI, 2019). La cantidad de SIP generados en la producción de papel, varía del 20 al 40%, dependiendo del tipo de papel producido (papel periódico o papel tissue) (Kujala, 2012). La empresa que suministró los SIP para esta investigación genera, aproximadamente, 200 toneladas diarias de este material (Productos Familia SAS, comunicación personal).

De acuerdo con los decretos 4741 de 2005 (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005) y 1287 de 2014 (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2014), los SIP se catalogan como “residuos industriales no peligrosos”, ya que para las características, como corrosividad (pH), toxicidad (contenidos mg/L de As, Ba, Cd, Cr, Hg, Ag, Pb y Se), metales totales y microbiológicas (fagos somáticos, *Sallmonella* sp. y huevos de helmintos), los SIP cumplen con los valores establecidos en estos decretos.

El uso de subproductos agroindustriales fibrosos puede constituir una fuente suplementaria de alimento para los rumiantes en épocas de baja oferta forrajera (Villas-Bôas *et al.* 2002). Esta especie animal, por medio de su sistema digestivo, tiene la capacidad de transformar materiales fibrosos en productos de alta calidad proteica, como son la leche y la carne (Gómez *et al.* 2014).

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) Caracterizar químicamente los SIP y determinar su variabilidad en muestras provenientes de diferentes lotes de producción y evaluar la degradabilidad ruminal (MS y FDA) y 2) Determinar la aceptación de los SIP en bovinos, usando glicerol y melaza, como productos palatabilizantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación temporal y espacial de la prueba. Los análisis químicos, digestibilidad *in vitro* de la materia seca y orgánica (*DIVMS*, *DIVMO*) y degradabilidad *in situ* de los SIP, se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal y Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, entre agosto y septiembre de 2017.

Caracterización química. Para la caracterización química de las muestras de SIP (lodos de destintado), se analizaron 12 muestras (muestras compuestas del lote de producción de 500gr/cada una), provenientes de diferentes días (lotes) de producción, de una empresa productora de papel (Productos Familia Cajicá S.A.S); los análisis realizados fueron: Materia seca (MS), Proteína cruda (PC), Lignina, Cenizas, Minerales: Ca, Cu, Zn, Mg, Fe, K, Na, Mn (espectrofotometría de absorción atómica), P (colorimetría) (AOAC, 2006), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.* 1991), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (*DIVMS*) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (*DIVMO*)

(Tilley & Terry, 1963).

Cinética de degradación ruminal. Para la degradabilidad *in situ* de la MS (*DISMS*) y FDA, se utilizó un bovino de la raza normando (peso 700kg), provisto de cánula ruminal permanente. El animal, se encontraba pastoreando Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), con suministro de agua a voluntad. Se siguió la técnica de bolsa de nylon (Ørskov, 2000), con 7 tiempos de incubación en el rumen: 0, 3, 6, 12, 24, 36, 48 horas (3 repeticiones por cada tiempo de incubación). En cada bolsa, se depositaron 3g de muestra de SIP (se colocó el material seco entero, con un tamaño de partícula de 0,5cm de diámetro, aproximadamente, ya que, por su alto contenido de minerales, se presentaron pérdidas de material, a través de la bolsa, cuando se molió), obteniendo una relación de 15mg de muestra, por cada cm² de bolsa (Nocek, 1988). Las muestras, se introdujeron de manera inversa, de acuerdo con el tiempo de incubación para ser retiradas al mismo tiempo. Las muestras del tiempo cero (0) fueron sumergidas y retiradas inmediatamente del rumen. Luego del periodo de incubación, las muestras fueron extraídas del rumen, se lavaron con agua corriente y se sometieron a secado, en una estufa de aire forzado, a 65°C /48h y luego se pesaron, para expresar los resultados, como *DISMS*. Para reportar la degradabilidad *in situ* de FDA, a los residuos de la degradación *in situ* se les realizó una extracción con detergente ácido (100°C /1h), usando un equipo analizador de fibra Ankom® 200 (ANKOM Technology Corp., Nueva York, EUA) (Van Soest, 1994). Los parámetros de la cinética de degradabilidad ruminal de los SIP, se estimaron para MS y FDA usando el modelo de Ørskov & McDonald (1979) y la degradabilidad efectiva (DE) fue determinada usando la ecuación propuesta por Bhargava & Ørskov (1987).

Prueba de aceptación. La prueba de aceptación (consumo) de los SIP por los bovinos, se llevó a cabo entre mayo y junio de 2017, en el municipio de Mosquera (Cundinamarca, Colombia), a una altitud 2.650m s.n.m., temperatura promedio anual de 13°C, humedad relativa de 80 a 85%. Este experimento tuvo una duración total de 30 días, divididos en 3 periodos (10 días cada periodo), en los cuales, 7 días correspondieron a la fase de acostumbramiento a los

tratamientos y 3 días, de evaluación de consumo. Para cada periodo, se registró la oferta y el rechazo de cada uno de los tratamientos y se tomó, como valor del consumo, el promedio de los tres días de evaluación (días 8, 9 y 10). Se utilizaron 12 novillas Holstein (23,8 +/- 3,6 meses y 407 +/- 49kg de peso), que se asignaron en 2 cuadrados latinos replicados, con 3 tratamientos a evaluar en cada uno (Tabla 1), con una distribución (3X3X3X2), que corresponde a los periodos, tratamientos, animales y cuadrados, respectivamente (Martínez *et al.* 2011).

La cantidad de SIP ofrecidos a los animales (1,07kg de MS/animal/día), correspondieron al 10% del consumo total de MS estimada (10,7kg de MS/animal/día, según NRC, 2001); el glicerol y la melaza adicionada (0,221 y 0,208kg de MS, respectivamente), al 20% del total de los SIP ofrecidos y el suplemento comercial 0,89kg de MS/animal/día (PC 16%, Grasa 2,5%, Fibra cruda 15%, Ceniza 10%). La cantidad de SIP suministrada, se determinó por la restricción que suponía la concentración de Cu en este material y los palatabilizantes por pruebas de campo, donde la cantidad del 20% estimuló el consumo por los animales. Las novillas, se encontraban pastoreando una pradera de Kikuyo (*C. clandestinus*), bajo el sistema de franjas. Los animales, se recogían y eran llevados a un establo (7:00a.m.), a un puesto individual, donde se les suministró, en un comedero, el respectivo tratamiento; adicionalmente, a cada animal, se le ofreció 80g/día de sal mineralizada en el potrero.

Análisis estadístico. Para los datos de composición química, *DIVMS* *DIVMO* de los SIP, se hizo un análisis de estadística descriptiva.

Para la prueba de aceptabilidad de los SIP, los datos de cada cuadrado latino, se sometieron a un análisis de varianza para un diseño de cuadrado latino replicado (3 X 3 X 3X 2), usando la función PROC GLM de SAS (Sistema de Análisis Estadístico), de acuerdo con el siguiente modelo: $Y_{ij(k)} = \mu + Y_i + \alpha(Y)_{ij} + \beta(Y)_{ij} + \tau_{(k)} + \epsilon_{ij(k)}$, donde: $Y_{ij(k)}$, valor observado en la i-ésima fila y j-ésima columna, para el tratamiento k-ésimo del l-ésimo cuadrado, μ = media general, Y_i = efecto del l-ésimo cuadrado (l= 1,2), $\alpha(Y)_{ij}$ = efecto de la

Tabla 1. Materia seca ofrecida y composición de los tratamientos (Cuadrado latino 1 y 2).

Cuadrado Latino	No. de animales	Tratamiento	SIP	Suplemento comercial	Glicerol	Melaza
1	6	T1	1,07	---	---	---
		T2	1,07	---	0,221	---
		T3	1,07	---	---	0,208
2	6	T4	1,07	0,89	---	---
		T5	1,07	0,89	0,221	---
		T6	1,07	0,89	---	0,208

SIP = Subproducto de la Industria del Papel.

i -ésima fila ($i= 1,2,3$) dentro del l -ésimo cuadrado, $\beta(Y)_{ij}$ = efecto de la j -ésima columna ($j= 1,2,3$), dentro del l -ésimo cuadrado, $\tau_{(k)}$ = efecto del k -ésimo tratamiento ($k= 1,2,3$) y $\epsilon_{jij(k)l}$ = error aleatorio. En el modelo, los animales fueron las columnas y los periodos las filas. Para los efectos principales, las diferencias significativas fueron consideradas ($p<0,05$). Se realizaron comparaciones de medias no planeadas (prueba de Tukey).

De acuerdo con el acta 06 del 2016, el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, se avalaron los procedimientos del presente trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química. En las muestras analizadas de los SIP (12), se encontró homogeneidad para parámetros, como MS, *DIVMS*, lignina y cenizas; las mayores variaciones, se encontraron para los contenidos de FDA (48,3% \pm 6,93), FDN (59,6% \pm 6,17), *DIVMO* (47,7% \pm 5,8), Fe (1365 ppm \pm 189), Zn (69,1 ppm \pm 16,1) y Cu (63,9 ppm \pm 11,5) (promedio \pm desviación estándar) (Tablas 2 y 3).

Los SIP son un recurso húmedo, alto en fibras y cenizas y bajo en proteína cruda, lo que coincide con reportes de Bajpai (2015) y Monte *et al.* (2009), quienes analizaron lodos residuales de la

fabricación de papel y Moss *et al.* (1990), cuando evaluaron pulpa de papel. La digestibilidad *in vitro* de la MS y MO encontradas en las muestras de SIP, en este trabajo, fueron medias y superiores a las encontradas por Moss *et al.* (1990), para pulpa de papel reciclado y Coombe & Briggs (1974), para papel periódico.

Los contenidos de FDN, FDA y lignina de las muestras de SIP, en este estudio, presentan valores inferiores a los reportados por Croy & Rode (1988), Coombe & Briggs (1974) y Moss *et al.* (1990), en diferentes muestras de residuos de pulpa de papel, mientras que Cavka *et al.* (2013), reportaron contenidos de lignina similares para lodos de fibras de papel. Los valores de FDN sumados a las cenizas superan el 100% en las muestras de los SIP analizadas en este estudio, debido a la alta concentración de minerales en el producto y que pueden quedar en el residuo del detergente neutro, incrementado los valores de FDN (Van Soest, 1994), por lo cual, se realizó un ajuste de los valores de FDN por el contenido de cenizas de las muestras de los SIP (cFDN) (Tabla 2).

Los contenidos de cenizas de las muestras de SIP fueron altos (53% \pm 1,9), consistente con lo descrito por Croy & Rode (1988) y Méndez *et al.* (2009), quienes reportan altos contenidos de cenizas en los residuos de la producción de papel. La composición mineral de las 12 muestras de SIP presentó altos niveles de Ca, niveles

Tabla 2. Análisis químico, *DIVMS* y *DIVMO* de SIP de 12 días de producción.

	MS	PC	DI-VMS	DIVMO	FDN	FDNc	FDA	Lignina	Cenizas
	%								
Promedio	53,7	1,5	68,4	47,7	59,6	36,9	48,3	4,9	53,3
Mínimo	50,7	1,3	63,6	33,7	47,6	33,4	35,2	3,4	50,8
Máximo	57,7	1,7	75,1	58,4	69,6	39,5	57,6	5,7	57,9
DS	2,19	0,14	3,14	5,8	6,17	1,90	6,93	0,72	1,98
EEM	0,63	0,04	0,09	1,69	1,78	0,55	2,00	0,2	0,57

FDNc = Fibra en Detergente Neutro corregido por cenizas; DS = Desviación estándar.

EEM = Error estándar de la media.

Tabla 3. Composición mineral de SIP de 12 días de producción.

	Ca	P	K	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn
	%				Ppm				
Promedio	13,5	0,045	0,023	0,25	0,08	63,9	69,1	1365	50,9
Mínimo	12,5	0,039	0,018	0,23	0,07	48,4	52,5	1144	45,4
Máximo	14,8	0,061	0,029	0,27	0,09	89,4	113,8	1898	64,3
DS	0,8	0,006	0,003	0,014	0,005	11,5	16,1	189	5,3
EEM	0,21	0,001	0,0009	0,0041	1,53	3,33	4,66	54,58	0,001

DS = Desviación estándar; EEM= Error estándar de la media.

medios de Mg, Na, Mn y bajos niveles P, K, al ser comparadas con el contenido de estos minerales en forrajes, como Kikuyo (*C. clandestinus*) (Bernal, 2003). Minerales, como el Zn, Fe, y Cu, presentan valores elevados, respecto a forrajes, como kikuyo o Raigrás (Bernal, 2003). Se encontró una diferencia entre la cantidad de cenizas presentes en las muestras de los SIP y la suma de los contenidos de los minerales analizados, ya que puede existir una gran cantidad de sílice en este material, debido al uso de arcillas en el procesamiento de este tipo de residuos. El alto contenido de Cu en los SIP plantea limitaciones en el nivel de incorporación en las raciones de los rumiantes, especialmente en los ovinos, debido a susceptibilidad a altos niveles de este mineral (máximo tolerable 15mg/kg de MS) (ARC, 1980), mientras que, para los bovinos, la ingesta recomendada varía entre 10-25mg/kg MS, dependiendo de la etapa de lactancia (Goselink & Jongbloed, 2012).

Cinética de degradación ruminal. La degradabilidad “*in situ*” de la MS y FDA para las 48 horas de incubación ruminal fue de 62,1% y 45,5%, respectivamente. La pérdida de MS de los SIP para las bolsas de incubación a la hora cero “0” fue baja (11,3%) y se incrementó durante las siguientes 36 horas, donde se estabilizó. La pérdida de FDA de las bolsas en el tiempo cero “0” fue 25,9%; posteriormente, se presentó un tiempo “lag” de 6 horas y luego inició su degradación, que se produjo a una mayor tasa en las primeras 24 horas, que en las siguientes 48 horas (Figura 1).

La desaparición de la MS y FDA de los SIP al inicio de la incubación ruminal (tiempo 0) es similar a los valores encontrados por Moss *et al.* (1990), para residuos de pulpa de papel y por Haile *et al.* (2017), para

diferentes residuos lignocelulósicos; no obstante, la degradabilidad *in situ* de los SIP fue mayor a las 48 horas de incubación ruminal, respecto a los residuos de la pulpa de papel y residuos de cosecha reportados por estos autores. Croy & Rode (1988) encontraron una amplia variabilidad en la degradabilidad *in sacco* de la MS de residuos de pulpa de papel en diferentes tiempos de incubación, dependiendo del origen de la muestra (molino). Espinoza *et al.* (2017) reportan valores superiores de degradabilidad en el tiempo 0 y 48 horas en residuos agroindustriales de maracuyá y plátano, asociado a los bajos niveles de fibra, de este tipo de residuo. Es deseable que los SIP se combinen con alimentos altamente digestibles, lo cual, estimularía una población microbiana ruminal más activa, se degradaría la fibra más rápido, aumentando la velocidad de paso y el consumo de materia seca por los animales.

Las diferentes fracciones de la MS de los SIP presentaron una baja fracción soluble “a” y una mayor fracción potencialmente degradable “b”, una alta velocidad de degradación ($kd\ %h^{-1}$) y alta degradabilidad efectiva (estimada con una tasa de paso de $5\% h^{-1}$), mientras que para el FDA, se encontró una alta fracción “a”, baja fracción “b”, una baja velocidad de degradación ($kd\ %h^{-1}$) y baja degradabilidad efectiva (Tabla 4).

La fracción “a” de la MS estimada para los SIP es similar a los reportes de Chumpawadee *et al.* (2006), Haile *et al.* (2017) y Bravo *et al.* (2008), para algunos residuos lignocelulósicos de cosecha y superior a los reportados por Contreras *et al.* (2019), para residuos de cosecha, como chala de maíz y paja de trigo. El alto valor obtenido

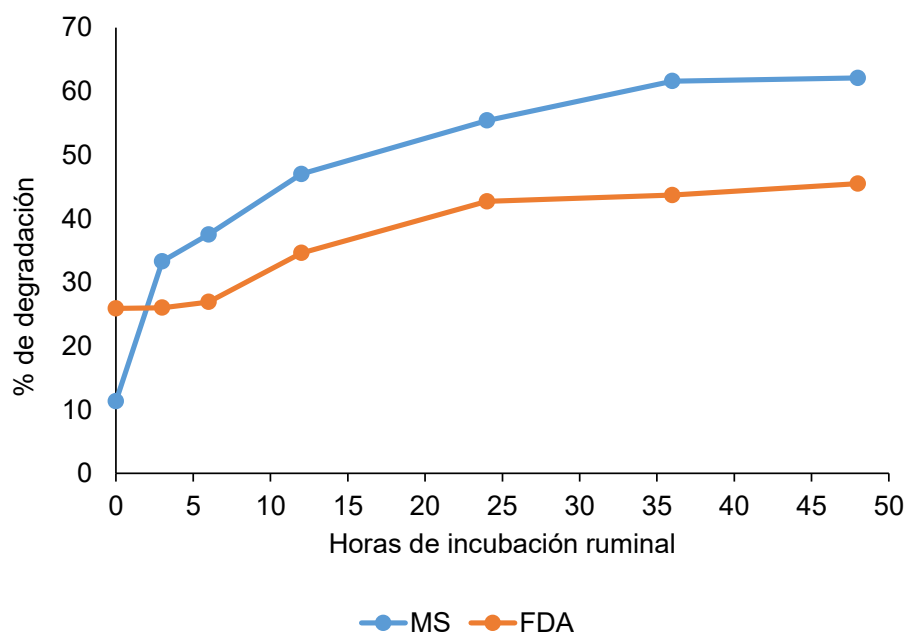


Figura 1. Patrón de degradabilidad “*In situ*” de la MS y FDA del SIP.

Tabla 4. Parámetros de la cinética ruminal “*In situ*” de la MS y FDA de una muestra de SIP.

	Fracción			<i>kd</i> (%h ⁻¹)	DE (5% h ⁻¹)
	<i>a</i> (%)	<i>b</i> (%)	<i>c</i> (%)		
Materia seca	14,0	46,6	39,2	11,8	46,9
FDA	23,8	25,5	50,6	4,3	35,7

a: Fracción soluble; *b*: Fracción potencialmente degradable; *c*: Fracción no degradable; *kd*: Tasa de degradación de la fracción *b* (% / hora), *DE*: Degradabilidad Efectiva.

para la fracción soluble “*a*” del FDA puede estar relacionado con una pérdida rápida de partículas muy pequeñas o fibrosas, a través de los poros de la bolsa, durante las primeras horas de la incubación (Ørskov *et al.* 1980; Nocek, 1988), también por el alto contenido de cenizas en los SIP, ya que según Gojón *et al.* (1988), los minerales en algunos materiales con altos contenidos de cenizas pueden desaparecer hasta el 81%, por difusión, a la hora cero de incubación ruminal. Espinoza *et al.* (2017) reportan degradabilidad superior al 78% en el tiempo 0 de incubación ruminal, en la fracción inorgánica de residuos agroindustriales.

La fracción “*b*” de la MS de los de SIP es similar a los reportados por Bravo *et al.* (2008), para residuos de cultivo de trigo y Contreras *et al.* (2019), para residuos de cosecha de maíz y superior a los valores registrados por Haile *et al.* (2017), para diferentes residuos de cultivos como maíz, cebada, sorgo, lentejas y trigo. Las características de degradabilidad para el FDA de los SIP muestran una mayor fracción “*a*”, una menor fracción “*b*” y una baja tasa de degradación (*kd* %h⁻¹).

La degradabilidad efectiva (DE) de la MS de los SIP, estimada con una tasa de pasaje de 5% h⁻¹, encontrada en este trabajo, fue superior a los valores reportados por Chumpawadee *et al.* (2006) y

Haile *et al.* (2017), para diferentes residuos de cosecha, incluyendo leguminosas, como lentejas y Contreras *et al.* (2019), para residuos de cosecha de maíz y trigo.

Prueba de aceptación por los bovinos. Las novillas del primer estudio de aceptabilidad (Cuadrado latino 1) tuvieron un bajo consumo de los SIP ofrecidos (2,8%); el consumo se incrementó al adicionar glicerol (41%) o melaza (33%) (Tabla 5).

Las novillas del segundo estudio de aceptabilidad (Cuadrado latino 2) consumieron cantidades similares del suplemento, cuando el SIP se mezcló con concentrado (75%), que cuando a esta mezcla se le adicionó glicerol (73%); sin embargo, estas novillas consumieron una mayor cantidad del suplemento (89%), cuando a la mezcla de concentrado con SIP se le añadió melaza (Tabla 5).

Los SIP presentaron un bajo consumo cuando se suministraron solos, indicando una baja palatabilidad de este subproducto; el consumo se incrementó con el uso de glicerol o melaza. Los mayores consumos de SIP, se encontraron cuando se ofrecieron mezclados con el suplemento comercial y los palatabilizantes; sin embargo, autores, como Croy & Rode (1988), reportaron que algunos

Tabla 5. Consumo de MS de los tratamientos utilizando SIP, suplemento comercial, glicerol y melaza, como parte de la ración de novillas Holstein (Cuadrados latinos).

Cuadrados latinos	Tratamiento	Oferta tratamiento kg MS/día	CMS tratamiento kg MS/día	% de CMS del tratamiento ofrecido
1	T1. SIP	1,07	0,030 ^b	2,8
	T2. SIP + G	1,28	0,53 ^a	41,4
	T3. SIP + M	1,28	0,42 ^a	32,8
2	T4. SIP + SC	1,96	1,48 ^b	75,5
	T5. SIP + SC + G	2,17	1,60 ^b	73,7
	T6. SIP + SC + M	2,19	1,96 ^a	89,4

SIP = Subproducto de la Industria del Papel; G = glicerol; M = Melaza; SP = suplemento comercial.

Promedio en la misma columna (para cada cuadrado latino) con letra distinta son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

materiales, como residuos de pulpa de papel, pueden sustituir hasta el 36% de una dieta a base de forraje, sin reducir el consumo, aunque encontraron un rechazo inicial en el consumo de los animales; después de 2 semanas la pulpa de papel fue consumida con facilidad. Coombe & Briggs (1974) incorporaron residuos de papel en la dieta de ovinos, encontrando el consumo máximo de la ración, cuando el papel fue el 49% de la dieta; no encontraron cambio en el consumo al reducir la melaza en la dieta, pero registraron rechazo de la dieta por los animales, cuando incorporaron 84% de residuos de papel periódico. Moss *et al.* (1990) ofrecieron 4kg de MS de pulpa de papel mezclada con heno de alfalfa en dietas para novillos, al tratar de incrementar en más de 6kg de MS la pulpa de papel; hubo un rechazo de la ración. Mertens *et al.* (1971) evaluaron el consumo de tres niveles de inclusión de papel en la dieta de novillos (0, 10 y 20% de la ración), reportando diferencias significativas ($p < 0,05$) y una respuesta inversa en el consumo (mayor consumo a menor inclusión de papel). Nishimura *et al.* (2019) evaluaron la inclusión de pulpa de papel (12%) en la dieta de vacas lecheras, como remplazo del 50% del maíz de la ración y no encontraron diferencias significativas en el Consumo de Materia seca (CMS) respecto al tratamiento control. Maeda *et al.* (2019) incluyeron 12% de pulpa de papel (Kraft) en dietas de novillos de engorde, sin evidenciar diferencias significativas en el CMS respecto al grupo control (concentrado y forraje), mientras que Izumi *et al.* (2019), al remplazar el ensilaje de maíz con la inclusión de pulpa de papel (Kraft) hasta un 57% en dietas en vacas lecheras, encontró una reducción en el CMS, indicando que la inclusión de altos niveles de este tipo de materiales en la ración de los rumiantes, afecta el CMS.

Los SIP, al ser considerados residuos industriales no peligrosos, no requieren de tratamientos extras para su manejo y disposición final. Los resultados de los análisis de laboratorio y de digestibilidad, sugieren que, aunque este material tiene una baja calidad nutricional, puede tener un valor potencial en la alimentación de los rumiantes, como un componente para proporcionar MS, fibra y algunos minerales en las raciones de los animales; sin embargo, los altos contenidos de cenizas y, en especial, su contenido de cobre, plantea algunas limitaciones en la alimentación de algunos de los rumiantes.

Este tipo de material (SIP) presenta una baja palatabilidad y bajo consumo, cuando es suministrado solo a los animales; su consumo se incrementa cuando se incorpora glicerol o melaza, como palatabilizantes; sin embargo, los mayores consumos se encontraron cuando los SIP se mezclaron con un suplemento comercial y los palatabilizantes, principalmente melaza (Tabla 5). El integrar en la dieta de rumiantes cantidades de SIP aboga por la recirculación de nutrientes, evitando que estos materiales se vuelvan contaminantes del medio ambiente.

Recomendaciones. Los subproductos de la industria de papel (SIP) son un recurso viable como alternativa para suplir una fracción de la materia seca en los bovinos, cuando se presenta escases de oferta de alimento; sin embargo, se recomienda el uso de palatabilizantes para incrementar su consumo, debido a su baja aceptación, cuando es ofrecido como tal. Se debe tener en cuenta que compuestos, como el Cu, que se encuentran en altos niveles en los SIP, pueden generar

restricciones en su nivel de inclusión en dietas de especies, como los ovinos, que son poco tolerantes a altos niveles de este mineral.

Agradecimientos. A la empresa “Productos Familia Cajicá S.A.S”, por el suministro de la materia prima, a la Gobernación de Cundinamarca, por incluir este trabajo en el proyecto de Innovación, Ciencia y Tecnología para productores de leche en la provincia de Ubaté Cundinamarca. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ANDI. 2019. Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón. Informe de Sostenibilidad 2017. Primera edición. Radiografía de un sector comprometido con la sostenibilidad. Disponible desde internet en: <http://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20pulpa%20papel%20y%20carton%20version2019> (con acceso 6/11/2019).
2. ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Slough, (England). 351p.
3. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, AOAC. 2006. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18 ed. Animal Feed. (USA).
4. BAJPAI, P. 2015. Management of Pulp and Paper Mill Waste. Springer International Publishing. (Switzerland). 191p.
5. BERNAL, J. 2003. Pastos y forrajes tropicales. Manejo y producción. Cuarta edición. Ed. Ángel agro-Ideagro. (Colombia). 702p.
6. BHARGAVA, P; ØRSKOV, E. 1987. Manual for the Use of Nylon Bag Technique in the Evaluation of Feedstuffs. Rowett Research Institute, Aberdeen. Scotland, (UK).
7. BRAVO, R.D.; ARELOVICH, H.M.; STORM, A.C.; MARTÍNEZ, M.F; AMELA, M.I. 2008. Evaluación de métodos de amonificación mediante hidrólisis de urea sobre el valor nutritivo de paja de trigo. Rev. Argentina Producción Animal. (Argentina). 28(3):179-191.
8. CAVKA, A.; GUO, X.; TANG, S.; WINESTRAND, S.; JONSON, L.; HONG, F. 2013. Production of bacterial cellulose and enzyme from waste fiber sludge. Biotechnol. Biofuels (United Kingdom). Biotechnology for Biofuels. 6(1):25. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-25>
9. CHUMPAWADEE, S.; SOMMART, K.; VONGPRALUB, T.; PATTARAJINDA, V. 2006. In Sacco degradation

- characteristics of crop residues and selected roughages in brahmanthai native crossbred steers. *Kasetsart J. (Nat. Sci.) (Thailand)*. 40(1):204-214.
10. CONTRERAS, J.; MATOZ, M.; FELIPE, P.; CORDERO, F.; ESPINOZA, Y. 2019. Degradabilidad ruminal de forrajes y residuos de cosecha en bovinos Brown Swiss. *Rev. Inv. Vet. Perú (Perú)*. 30(3):1117-1128.
 11. COOMBE, J.; BRIGGS, A. 1974. Use of waste paper as a feedstuff for ruminants. *Australian J. Experimental Agriculture and Animal Husbandry (Australia)*. 14:292-301.
 12. CROY, D.; RODE, L. 1988. Nutritive value of pulp mill fiber waste for ruminants. *Can. J. Anim. Sci. (Canadá)*. 68(2):461-470.
<https://doi.org/10.4141/cjas88-052>
 13. ESPINOZA, I.; MEDINA, M.; BARRERA, A.; MONTENÉGRO, L.; SÁNCHEZ, A.; ROMERO, M.; GARCÍA, A. 2017. Composición bromatológica y degradabilidad ruminal *in situ* de residuos agroindustriales de maracuyá (*Passiflora edulis*) y plátano (*Musa paradisiaca*). *Cienc Tecn UTEQ. (Ecuador)* 10(2):63-67.
 14. GOJÓN, B.; SIQUEIROS, D.; HERNÁNDEZ, H. 1988. *In situ* ruminal digestibility and degradability of *Macrocytis pyrifera* and *Sargassum* spp. in bovine livestock. *Cien. Mar. (México)*. 24:463-481.
 15. GÓMEZ, J.; CORREA, G.; BARAHONA, R. 2014. Evaluación del residuo del cultivo de *Agaricus bisporus* como alimento de vacas lecheras en lactancia media. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín (Colombia)*. 67(2):7331-7343.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44175>
 16. GOSELINK, R.; JONGBLOED, A. 2012. Zinc and copper in dairy cattle feeding. Wageningen UR livestock research partner in livestock innovations. report 519 (Netherlands). 31p.
 17. HAILE, E.; GICHEHA, M.; NJONGE, F.; ASGEDOM, G. 2017. Determining Nutritive Value of Cereal Crop Residues and Lentil (*Lens esculenta*) Straw for Ruminants. *Open J. Animal Sciences*. 7:19-29.
<https://doi.org/10.4236/ojas.2017.71003>
 18. HOWARD, R.; ABOTSI, E.; JANSSEN VAN RENSBURG, E.; HOWARD, S. 2003. Lignocellulose biotechnology: tissues of bioconversion and enzyme production. *African J. Biotechnology. (Nigeria)*. 2(12):602-619.
 19. IZUMI, K.; TAMURA, T.; FUJII, R.; NAKATSUJI, H.; MORITA, S. 2019. Effects of substituting kraft pulp with corn silage on dry matter intake, ruminal mat formation, rumen fermentation, and rumination activity in non-lactating cows. *Anim Sci J. (United Kingdom)*. 90 (2):205-2013.
<https://doi.org/10.1111/asj.13149>
 20. KUJALA, A. 2012. Papermaking sludge and possibilities of utilization as material. Bachelor Seminar of Environmental Technology. Lappeenranta University of Technology. Faculty of Technology. (Finland). 68p. Disponible desde internet en:
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/73980/Kujala%20Asta_Kandidaatinty%C3%B6.pdf?sequence=1 (con acceso 15/11/2016).
 21. MAEDA, Y.; NISHIMURA, K.; KUROSU, K.; MIZUGUCHI, H.; SATO, S.; TERADA, F.; KUSHIBIKI, S. 2019. Effect of feeding wood kraft pulp on the growth performance, feed digestibility, blood components, and rumen fermentation in Japanese Black fattening steers. *Anim Sci J. (United Kingdom)*. 90(4):523-532.
<https://doi.org/10.1111/asj.13182>
 22. MAHESH, M.; MOHINI, M. 2013. Biological treatment of crop residues for ruminant feeding: A review. *Afr. J. Biotechnol. (Nigeria)*. 12(27):4221-4231.
<https://doi.org/10.5897/AJB2012.2940>
 23. MARTÍNEZ, R.; MARTÍNEZ, N.; MARTÍNEZ, M. 2011. Diseño de experimentos en ciencias agropecuarias y biológicas con SAS, SPSS, R y Statistix. Tomo I. Primera edición. Fondo Nacional Universitario. (Colombia). 399p.
 24. MÉNDEZ, A.; FIDALGO, J.; GUERRERO, F.; GASCÓ, G. 2009. Characterization and pyrolysis behavior of different paper mill waste materials. *J. Anal. Appl. Pyrolysis (Netherlands)*. 86:66-73.
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2009.04.004>
 25. MERTENS, D.; CAMPBELL, J.; MARTZ, A. 1971. Lactational and ruminal response of dairy cows to ten and twenty percent dietary newspaper. *J. Dairy Science (USA)*. 54(5):667-672.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(71\)85904-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(71)85904-0)
 26. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2005. Decreto número (4741) 30 de diciembre de 2005. “Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral”. Disponible desde internet en:
https://diario-oficial.vlex.com/co/vid/decreto-4741-43232025?_ga=2.49572576.716973682.1573274357-1623162950.1573274357 (con acceso 05/11/2019).
 27. MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. 2014. Decreto número (1287) 10 de Julio de 2014. “Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos

- generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”. Disponible desde internet en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf> (con acceso 05/11/2019).
28. MONTE, M.; FUENTE, E.; BLANCO, A.; NEGRO, C. 2009. Waste management from pulp and paper production in the European Union. *Waste Manag. (United Kingdom)*. 29(1):293-308. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.002>
29. MOSS, J.; EHRLICH, E.; BUCHANAN, K.; MARTIN, P. 1990. Evaluation of recycled paper pulp residue as a feed of cattle. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. (Australia)*. 18:316:319.
30. NATIONAL RESEARCH COUNCIL, NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition. National Academy Press. Washington D.C.
31. NISHIMURA, K.; KUROSU, K.; TERADA, F.; MIZUGUCHI, H.; SATO, S.; KUSHIBIKI, S. 2019. Effect of wood kraft pulp feed on digestibility, ruminal characteristics, and milk production performance in lactating dairy cows. *Anim Sci J. (United Kingdom)*. 90(2):189-195. <https://doi.org/10.1111/asj.13131>
32. NOCEK, J. 1988. *In situ* and other methods to estimate Ruminant Protein and Energy Digestibility: a review. *J. Dairy Sci. (USA)* 71(8):2051-2069. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79781-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79781-7)
33. ØRSKOV, E. 2000. The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: GIVEN, D.I.; OWENS, E.; AXFORD, R.F.E. and Omed, H.D (Eds.). Forage evaluation in ruminant nutrition. Wallingford: CAB International. p.175-188.
34. ØRSKOV, E.; DEB HOVELL, F.; MOULD, F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod. (Netherlands)*. 5(3):195-213.
35. ØRSKOV, E.; MCDONALD, I. 1979. The estimation of protein degradation in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. Camb. (USA)*. 92:499-503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
36. TILLEY, J.; TERRY, R. 1963. A two stage technique for *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc. (Australia)*. 18:104-111
37. VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to Animal nutrition. *J. Dairy Sci. (USA)*. 74:3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
38. VAN SOEST, P.J. 1994 Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, NY. 476p.
39. VILLAS-BÔAS, S.G.; ESPOSITO, E.; MITCHELL, D. 2002. Microbial conversion of lignocellulosic residues for production of animal feeds. *Animal Feed Science and Technology (Netherlands)*. 98(1-2):1-12. [https://doi.org/10.1016/s0377-8401\(02\)00017-2](https://doi.org/10.1016/s0377-8401(02)00017-2)



Incidencia de hipotermia perioperatoria inadvertida, en perros sometidos a anestesia general inhalatoria

Incidence of inadvertent perioperative hypothermia, in dogs submitted to inhalation general anesthesia

Diego A Ospina-Argüelles¹; Edwin Buriticá-Gaviria²; Diego Echeverry-Bonilla³

¹MVZ, Esp., Pedagogía, M.Sc. Universidad del Tolima, Clínica Médica y Quirúrgica en Pequeños Animales, Grupo de Investigación en Medicina y Cirugía de Pequeños Animales. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: daospina@ut.edu.co; <http://orcid.org/0000-0003-1778-1504>

²Esp. M.Sc. Universidad del Tolima, Clínica Médica y Quirúrgica en Pequeños Animales, Grupo de Investigación en Medicina y Cirugía de Pequeños Animales. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: efburiticag@ut.edu.co; <http://orcid.org/0000-0002-7979-4135>

³MVZ, Esp. M.Sc., Ph.D. Universidad del Tolima, Grupo de Investigación en Medicina y Cirugía de Pequeños Animales. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: decheverry@ut.edu.co; <http://orcid.org/0000-0003-2005-5116>

Cómo citar: Ospina-Argüelles, D.A.; Buriticá-Gaviria, E.; Echeverry-Bonilla, D. 2021. Incidencia de hipotermia perioperatoria inadvertida, en perros sometidos a anestesia general inhalatoria. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1830. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1830>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: septiembre 13 de 2019 **Aceptado:** enero 26 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La incidencia de hipotermia perioperatoria inadvertida es una de las principales complicaciones perianestésicas en caninos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la incidencia de hipotermia perioperatoria inadvertida en 49 perros sometidos a anestesia general inhalatoria. Al finalizar el periodo preanestésico, transanestésico y postanestésico, se registró la temperatura corporal, de acuerdo con los siguientes rangos: hipertermia ($>39,5^{\circ}\text{C}$), normotermia ($38,5-39,5^{\circ}\text{C}$), hipotermia leve ($38,4-36,5^{\circ}\text{C}$), hipotermia moderada ($36,4-34,0^{\circ}\text{C}$), hipotermia severa ($<34^{\circ}\text{C}$). En preanestesia, el 65% de los animales mostraron hipotermia leve y 2% hipotermia moderada. En transanestesia, 55% de los animales tuvieron hipotermia leve, 37% hipotermia moderada y 6,1% hipotermia severa. En postanestesia, 59% de los animales tuvieron hipotermia leve, 29% hipotermia moderada y 6% hipotermia severa. Se encontraron diferencias

al comparar la temperatura basal, con la final transanestésica y postanestésica, respectivamente ($p<0,001$); del mismo modo, se obtuvieron diferencias al comparar la temperatura inicial, con la final del periodo transanestésico ($p<0,001$). Por otra parte, no hubo relación estadística entre las diferentes clasificaciones ASA, los procedimientos realizados, el sexo y los rangos etarios evaluados, así como tampoco hubo diferencia en el tiempo de extubación frente al tipo de procedimiento realizado. Los resultados de este estudio sugieren que, bajo las condiciones aquí planteadas, la incidencia de hipotermia preanestésica es mínima, mientras la aparición de hipotermia transanestésica y postanestésica de carácter leve, moderada y severa es mayor.

Palabras clave: Periodo postoperatorio; Periodo preoperatorio; Temperatura; Termorregulación.

ABSTRACT

The incidence of inadvertent perioperative hypothermia is one of the main perianesthetic complications in canines. The objective of the present study was to evaluate the incidence of inadvertent perioperative hypothermia in 49 dogs undergoing inhalation general anesthesia. At the end of the pre-anesthetic, trans-anesthetic, and post-anesthetic periods, body temperature was recorded, according to the following ranges: hyperthermia ($>39.5^{\circ}\text{C}$), normothermia ($38.5\text{-}39.5^{\circ}\text{C}$), mild hypothermia ($38,4\text{-}36,5^{\circ}\text{C}$), moderate hypothermia ($36,4\text{-}34,0^{\circ}\text{C}$), severe hypothermia ($<34^{\circ}\text{C}$). In pre-anesthesia, 65% of the animals showed mild hypothermia, and 2% moderate hypothermia. In transanesthesia, 55% of the animals had mild hypothermia, 37% moderate hypothermia, and 6% severe hypothermia. In post-anesthesia 59% of the animals had mild hypothermia, 29% moderate hypothermia, and 6% severe hypothermia. Differences were found when comparing the basal temperature with the final trans-anesthetic and post-anesthetic respectively ($p<0.001$); Similarly, differences were obtained when comparing the initial temperature with the end of the trans-anesthetic period ($p<0.001$). On the other hand, there was no statistical relationship between the different ASA classifications, the procedures performed, sex, and the evaluated age ranges; as well as there was no difference in the extubation time compared to the type of procedure performed. The results of this study suggest that, under the conditions outlined here, the incidence of pre-anesthetic hypothermia is minimal, while the appearance of mild, moderate, and severe trans-anesthetic and post-anesthetic hypothermia is higher.

Keywords: Post-operative period; Pre-operative period; Temperature; Thermoregulation.

INTRODUCCIÓN

La temperatura corporal hace parte de los parámetros a monitorizar en el periodo perianestésico en humanos y animales (Álvarez-Reséndiz *et al.* 2013; Grubb *et al.* 2020); no obstante, a pesar de estar estipulada en los estándares de registro anestésico, históricamente, ha sido el parámetro menos valorado en el hombre (Castillo *et al.* 2013; Bindu *et al.* 2017), por lo que su evaluación en medicina veterinaria podría ser aún menos estricta.

La hipotermia perioperatoria inadvertida (HPI) es definida como la temperatura corporal central $<36^{\circ}\text{C}$ (Riley & Andrzejowski, 2018). Su incidencia aumenta la morbimortalidad perioperatoria al susceptibilizar los pacientes a la diátesis hemorrágica, incrementar el riesgo de infección, retrasar la cicatrización de heridas, sensibilizar los cardiomiocitos a la aparición de arritmias y alterar la farmacocinética de los medicamentos, entre otros (Hart *et al.* 2011; Clarke-Price, 2015). Para evitar dichas complicaciones, la HPI puede ser evitada o controlada con estrategias de calentamiento activas o pasivas (Clarke-Price, 2015); sin embargo, es complejo controlar una complicación que no ha sido diagnosticada, previamente, en las condiciones medioambientales de Ibagué.

En medicina humana, la incidencia de HPI es del 25,7-44,3% (Yang *et al.* 2015; Yi *et al.* 2017). En el perro, el panorama no es distinto, encontrándose una incidencia de hipotermia postanestésica leve, moderada y severa, del 51,5, 29,3 y 2,8%, respectivamente (Redondo *et al.* 2012). Del conocimiento de los autores de este estudio, Redondo *et al.* (2012) son los únicos que han descrito, recientemente, la incidencia de esta complicación anestésica en el perro; no obstante, sus hallazgos fueron obtenidos en quirófanos con ambiente controlado, razón por la cual, no son 100% extrapolables al contexto colombiano, donde no, en todos los quirófanos, se tienen dichas condiciones medioambientales. Por otro lado, los hallazgos anteriormente descritos no esclarecen la incidencia de hipotermia inadvertida preoperatoria y transquirúrgica en el perro, siendo, hasta la fecha, una incógnita del conocimiento. Por tal razón, el objetivo de este estudio fue determinar la incidencia de HPI en perros sometidos a anestesia general inhalatoria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante junio de 2017 y junio de 2018, se realizó un estudio clínico prospectivo aleatorizado, avalado por el comité de Bioética de la de la Universidad del Tolima, elaborado bajo los lineamientos de las leyes 84 de 1989 y 1774 de 2016 de protección animal y desarrollado en la Clínica de Pequeños Animales de la Universidad del Tolima, localizada en Ibagué-Tolima, Colombia, a una altura de 1.527m s.n.m., presión barométrica de 657mmHg, temperatura ambiente promedio de $23,2^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa 65-84%.

Animales. 49 perros de diferentes razas (17 machos y 32 hembras), con un peso de 3,6-48,2kg y una edad de 0,58-17 años fueron incluidos en el estudio, tras diligenciar los dueños el respectivo consentimiento informado. Los pacientes fueron anestesiados por motivos diagnósticos o terapéuticos; solo aquellos con un registro anestésico completo de una duración mayor o igual a 30 minutos, se tuvieron en cuenta. No se emplearon medidas activas de calentamiento transanestésico; únicamente se empleó un aislante térmico para camping (Klimber[®], Colombia), en la mesa quirúrgica y en el canil de recuperación, al igual que una manta en el postoperatorio inmediato. Durante el estudio, se contó con una temperatura ambiental de $24,94\pm 2,89^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $41,71\pm 15,61\%$.

Protocolo anestésico. La fluidoterapia, medicación preanestésica, inducción anestésica y circuito anestésico, fueron seleccionados por un único anestésista, según las consideraciones propias de cada paciente. El mantenimiento anestésico, se realizó con isoflurano, en O_2 al 40-100%.

Variables de estudio. Los siguientes datos fueron considerados:

- Datos de identificación: sexo, edad (años), peso (kg).
- Motivo de la anestesia: procedimientos diagnósticos o quirúrgicos o terapéuticos que requirieran de celiotomía (pe. Laparotomía, ovariohisterectomía, enteroanastomosis, entre otros) y procedimientos diagnósticos o quirúrgicos o terapéuticos, que no requirieran de celiotomía (pe. Detartraje, endoscopia, osteosíntesis, entre otros).

- Clasificación, de acuerdo con la American Society of Anesthesiologists (ASA): se asignó una clasificación ASA de I-IV, según los hallazgos fisiopatológicos propios de cada paciente. Los pacientes ASA V y ASA E no fueron tenidos en cuenta en la investigación.
- Temperatura preanestésica, transanestésica y postanestésica: la temperatura preanestésica fue medida con un termómetro digital predictivo (Termómetro digital Funny Zoo-Renny[®], Biomateriales de Venezuela, Estado Miranda, Venezuela), cada 10 minutos hasta el momento de la intubación oro-traqueal. La temperatura transanestésica fue medida con un termómetro esofágico (IPM 12 VET[®], Mindray Medical international Limited, Shenzhen, China), cada 10 minutos hasta el momento de la extubación oro-traqueal. La temperatura postanestésica fue medida con un termómetro digital predictivo cada 15 minutos hasta completar una hora de registros.
- Temperatura ambiental y humedad relativa: fueron registrados cada 10 minutos, con un termohigrómetro digital (Higrómetro HTC-1[®], Daphne, USA), desde el inicio de los registros termométricos preanestésicos hasta el último registro postoperatorio.
- Temperatura final: Al terminar cada periodo anestésico, la temperatura final de cada paciente, se definió así: hipertermia (>39,5°C), normotermia (38,5-39,5°C), hipotermia leve (38,4-36,5°C), hipotermia moderada (36,4-34,0°C), hipotermia severa (<34°C) (Redondo *et al.* 2012).
- Duración del procedimiento: se registró en minutos el tiempo preanestésico (desde la aplicación del medicamento tranquilizante/sedante hasta el momento previo a la intubación oro-traqueal), tiempo transanestésico (desde el momento de la intubación oro-traqueal hasta el momento del cese del agente hipnótico) y tiempo de extubación oro-traqueal (desde el momento del cese del agente hipnótico hasta el momento de la extubación oro-traqueal).
- Mortalidad anestésica: se llevó registro de los pacientes que murieron en el tiempo comprendido entre la medicación preanestésica y 72 horas posteriores a la extubación.

Análisis estadístico. Los datos fueron tabulados y analizados mediante estadística descriptiva, expresada como la media \pm desviación estándar (DE). Para determinar la normalidad de los datos, se empleó el test de Kolmogorov-Smirnov. Los datos con distribución normal fueron analizados por medio de análisis de varianza de una

vía (ANOVA) y un posterior análisis de Tukey, mientras los no paramétricos fueron analizados, mediante prueba de Kruskal-Wallis, seguida del test exacto de Fisher. Los valores a lo largo del tiempo fueron evaluados, mediante prueba de comparaciones múltiples de Dunn's. Se realizaron correlaciones estadísticas, cumpliendo los supuestos de normalidad, para coeficiente ρ de Pearson y de no normalidad para Rho de Spearman ($p < 0,05$). Los datos, se analizaron con un nivel de confianza del 95%, en el paquete estadístico GraphPad Prism 6.0, California, USA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del conocimiento de los autores, este es el primer estudio que describe la incidencia de HPI en perros anestesiados. Los resultados de esta investigación evidencian una disminución significativa de la temperatura en el periodo transanestésico y postanestésico frente a sus valores basales y muestra una tendencia clínica hacia la hipotermia, en el periodo preanestésico (Tabla 1).

El estudio fue desarrollado sin complicaciones, a excepción de ocho perros, que fueron retirados de la investigación, por ser sometidos a procedimientos inferiores a treinta minutos, al igual que 5 animales anestesiados fuera del quirófano, que no tuvieron un registro anestésico completo. Ningún animal murió en el periodo perianestésico, ni en un lapso de hasta 72 horas, posteriores al procedimiento.

De los animales evaluados, 11 fueron ASA I, 23 ASA II, 13 ASA III, y 2 ASA IV. 22 animales (44,9%) fueron sometidos a procedimientos que requirieron celiotomía y 27 (55,1%), a procedimientos que no la requirieron (Tabla 2). La duración promedio del tiempo preanestésico, transanestésico y postanestésico fue $31,34 \pm 11,91$ min (1-75min), $55,77 \pm 32,56$ min (30-197min), y 60min, respectivamente. Los valores de humedad relativa y temperatura ambiental fueron $55,19 \pm 17,69\%$ y $24,29 \pm 1,13^\circ\text{C}$ (preanestesia), $37,43 \pm 10,49\%$ y $24,01 \pm 2,67^\circ\text{C}$ (transanestesia), y $36,24 \pm 13,06\%$ y $26,65 \pm 3,44^\circ\text{C}$ (postanestesia).

La temperatura corporal basal promedio fue $38,36 \pm 0,6^\circ\text{C}$, similar a lo reportado para la especie (Clarke *et al.* 2014; Thomas & Lerche, 2017). Los valores finales de temperatura corporal en los distintos periodos fueron $38,08 \pm 0,8^\circ\text{C}$ (preanestesia), $36,19 \pm 1,1^\circ\text{C}$ (transanestesia), y $36,66 \pm 1,2^\circ\text{C}$ (postanestesia). El valor final de temperatura

Tabla 1. Contrastes entre los valores de temperatura corporal basal, temperatura corporal preanestésica final, temperatura corporal transanestésica final y temperatura corporal postanestésica final, de 49 perros sometidos a anestesia general inhalatoria.

Contrastes	Significancia
T°C basal vs T° preanestésica final	0,09
T°C basal vs T° transanestésica final	<0,001
T°C basal vs T° postanestésica final	<0,001

T°C: Temperatura corporal

Tabla 2. Distribución de los animales sometidos a procedimientos que requirieron celiotomía y procedimientos que no requirieron celiotomía, en 49 perros sometidos a anestesia general inhalatoria.

Procedimientos que requirieron celiotomía		Procedimientos que no requirieron celiotomía	
Procedimiento	Nº de animales	Procedimiento	Nº de animales
Ovariohisterectomía electiva	13	Mastectomía	4
Ovariohisterectomía facultativa	6	Detartraje	5
Enteroanastomosis	2	Lumpectomía	1
Cistotomía	1	Biopsia excisional	1
		Orquiectomía	2
		Corrección de prolapso de tercer párpado	1
		Endoscopia	1
		Osteosíntesis con placa	4
		Ablación de cabeza y cuello femoral	5
		Amputación mediofemoral	3

corporal preanestésica, se encontró en el rango fisiológico (Clarke *et al.* 2014; Thomas & Lerche, 2017). Diferentemente, los valores finales de temperatura transanestésica y postanestésica fueron relacionados con cuadros de hipotermia inadvertida (Tabla 3), la cual, tradicionalmente, ha sido clasificada como hipotermia leve (37-32°C), hipotermia moderada (32-28°C), e hipotermia severa (<28°C) (Ortega, 2016). Dichos rangos no fueron contemplados fielmente en el presente estudio, ya que, de haberlo hecho los valores finales de temperatura transanestésica y postanestésica, habrían sido catalogados solo como eventos de hipotermia leve; por tal razón, para realizar el análisis de datos con un modelo más bondadoso, se implementaron los rangos de hipotermia, planteados por Redondo *et al.* (2012), permitiendo clasificar los valores finales de temperatura transanestésica en hipotermia moderada y los valores finales de temperatura postanestésica, en hipotermia leve (Tabla 3).

En la tabla 4 se observa el comportamiento preanestésico de la temperatura central en los animales evaluados. No se encontraron diferencias significativas entre la temperatura rectal basal frente a la temperatura final preanestésica ($p > 0,05$) (Tabla 1); sin embargo, se observó una tendencia clínica hacia la hipotermia en el periodo preanestésico evaluado (Tabla 3). Para simplificar el modelo, en el presente estudio, no se contempló la relación de los fármacos preanestésicos empleados sobre la temperatura corporal; sin embargo, se debe mencionar que un fármaco tranquilizante/sedante al disminuir los niveles de ansiedad, el estrés, el gasto energético, el gasto cardíaco, entre otros, puede afectar también el comportamiento de la temperatura corporal, haciéndola disminuir (Pottie *et al.* 2007; Pawson, 2008; Clarke *et al.* 2014), tal como lo describen los resultados obtenidos. Por otro lado, se debe resaltar que dichos cambios son dosis dependientes y que no siempre se suelen presentar de igual manera en todos los animales, ya que

influyen factores, como la idiosincrasia, peso corporal, superficie de área corporal, grasa corporal, condición corporal, edad, entre otros (Brodeur *et al.* 2017). Por otro lado, se ha descrito que factores, como la obesidad, disminuyen la incidencia de hipotermia, al minimizar la conductividad de calor del individuo al medio externo (Fernandes *et al.* 2012). Lo mencionado explica por qué un individuo presentó un cuadro de hipertermia en el periodo preanestésico evaluado, ya que tenía una condición corporal 5/5.

Se han descrito 3 fases en la aparición de HPI: la primera es la fase exponencial, donde se produce una rápida disminución inicial de la temperatura, producto de la redistribución calórica, con pérdida entre 1,0-1,5°C, durante la primera hora de anestesia. La segunda es la fase lineal, donde hay una disminución lenta de la temperatura central, producida entre 2-3 horas, lo cual, se debe a que la pérdida de calor excede la tasa de producción calórica metabólica. Por último, en la fase de meseta, se detiene la pérdida de calor después 3-5 horas de la aparición de la HPI, ya que la pérdida de calor es igual a la producción del mismo (Hart *et al.* 2011; Muir *et al.* 2013). Esto concuerda, con lo descrito en la literatura (Redondo *et al.* 2012; Grimm, 2015) y con lo observado en la figura 1, donde se evaluó el comportamiento de la temperatura corporal a lo largo de 200 minutos de monitorización anestésica.

Al correlacionar la temperatura transanestésica final con diferentes rangos de tiempo quirúrgico (<1 hora, 2-3 horas, >3 horas), no se encontraron diferencias significativas, contrario a lo que habría de esperarse ($p > 0,05$), ya que, como se observó en la figura 1, hay una relación inversa entre el tiempo anestésico y la temperatura corporal, es decir, que a mayor tiempo quirúrgico la temperatura corporal va a ser menor. Esto, se pudo deber al bajo número de animales, cuya anestesia superó las 2 horas de monitorización, ya

Tabla 3. Valores iniciales y finales de la temperatura en el periodo perianestésico, de perros anestesiados bajo anestesia general inhalatoria.

Grupos	Inicial	Final	Significancia
Basal	38,36±0,6 °C	(---)	(---)
Preanestésia	38,33±0,6 °C	38,08±0,8 °C	0,09
Transanestésia	37,54±0,7 °C	36,19±1,1 °C	<0,0001
Postanestésia	36,32±1,4 °C	36,66±1,2 °C	0,22

°C: Grados centígrados

Tabla 4. Incidencia de hipertermia, normotermia e hipotermia, en 49 perros sometidos a anestesia general inhalatoria.

	Hipertermia	Normotermia	Hipotermia
Preanestesia	1/49(2%)	15/49(31%)	33/49(67%) Lev 32/49(65%) Mod 1/49(2%) Sev (---)
Transanestesia	(---)	1/49(2%)	48/49(98%) Lev 27/49(55%) Mod 18/49(37%) Sev 3/49(6%)
Postanestesia	(---)	3/49(6%)	46/49(94%) Lev 29/49(59%) Mod 14/49(29%) Sev 3/49(6%)

Lev: Leve, Mod: Moderada, Sev: Severa

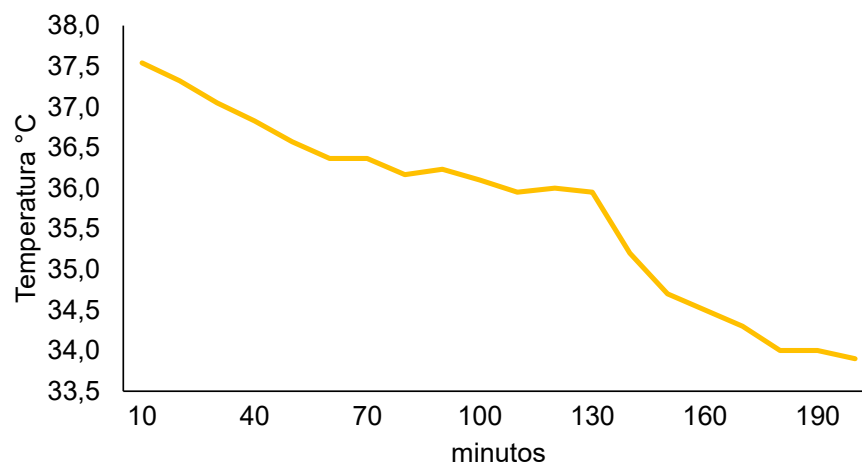


Figura 1. Disminución paulatina de la temperatura esofágica transanestésica a lo largo de 200 minutos de monitorización continua.

que solo un individuo superó los 180 minutos de anestesia, en el presente estudio.

En la tabla 4, se observa el comportamiento transanestésico de la temperatura en los animales evaluados. Asimismo, la tabla 3, evidencia las diferencias entre la temperatura basal y la de fin de anestesia ($p < 0,05$). En la tabla 1, se comparan los valores iniciales y finales de la temperatura perianestésica, encontrando una disminución significativa en el valor final de la temperatura transquirúrgica ($p < 0,001$).

La disminución de la temperatura perioperatoria observada, se conoce como hipotermia secundaria y es consecuencia directa del acto anestésico o quirúrgico *per se* (Ortega, 2016; Brodeur *et al.* 2017). Diversos trabajos han descrito esta misma complicación en el perro (Pottie *et al.* 2007; Stepaniuk & Brock, 2008; Redondo *et al.* 2012). La pérdida de calor perioperatoria, se produce por 4 métodos: radiación, convección, evaporación y conducción (Bindu *et al.* 2017), siendo la radiación el más relevante, ya que genera hasta el 60% de la pérdida de calor transanestésico (Duke, 2016); no obstante, anestésicos, como el isoflurano empleado en este estudio, también pueden jugar un rol importante en la pérdida de calor, debido a la vasodilatación periférica que ocasionan, alterando el gradiente de temperatura centro-periférico (Grimm, 2015; Buritica *et al.* 2019), lo cual, facilita la pérdida final de calor por convección y conducción (Clark-Price, 2015; Grimm, 2015; Duke, 2016). Por otro lado, hipnóticos, como el Propofol, al inhibir la termogénesis no tiritante, también pueden facilitar las pérdidas de calor, por los métodos anteriormente descritos, empeorando el cuadro clínico del paciente (Bindu *et al.* 2017).

No se encontraron diferencias significativas al comparar la temperatura final de los pacientes sometidos a procedimientos que requirieron celiotomía frente a la temperatura final, de los que no la requirieron ($35,95 \pm 1,0$ frente a $36,32 \pm 1,1$, $p = 0,238$); no obstante, se observó una tendencia clínica de mayor pérdida de calor en la realización de procedimientos quirúrgicos que impliquen una laparotomía, lo cual, concuerda con lo reportado en otras investigaciones (Stepaniuk & Brook, 2008; Redondo *et al.* 2012; Aarnes *et al.* 2017), lo cual, se debe a que las pérdidas de calor por evaporación y por radiación son mayores al exponer la cavidad abdominal (Duke, 2016; Thomas & Lerche, 2017).

En la tabla 4, se observa el comportamiento postanestésico de la temperatura en los animales evaluados. La tabla 3 muestra diferencias significativas entre la temperatura basal y final del periodo postanestésico ($p < 0,05$). En humanos, se demostró que una temperatura ambiente superior a 23°C , se puede considerar como un factor protector, al favorecer la ganancia de calor postanestésica (Biazotto *et al.* 2006). Contrariamente, en el perro, se describió que temperaturas del área de recuperación inferiores a 27°C , similar a la registrada en este estudio, favorecen la presencia de hipotermia postoperatoria (Dale *et al.* 1968); no obstante, se debe resaltar que incrementos en la temperatura perianestésicas aumentan el riesgo de infección perioperatoria, según la experiencia de los autores. Investigaciones recientes abren una nueva brecha de discusión,

al defender el uso de temperaturas ambientales transquirúrgicas de 24°C (como las obtenidas en el presente estudio), junto a estrategias de calentamiento activas, buscando minimizar la incidencia de hipotermia perioperatoria en perros y en gatos, sometidos a procedimientos quirúrgicos de cavidad abdominal abierta (Rodríguez-Díaz *et al.* 2019). Otro aspecto importante del área quirúrgica a considerar es la humedad relativa, ya que su disminución favorece la pérdida de calor por evaporación, razón por la cual, se recomiendan niveles de humedad relativa superiores a 45% (Castillo *et al.* 2013), similar a los valores registrados en este estudio.

Los contrastes realizados entre las distintas clasificaciones ASA y las temperaturas perianestésicas finales, no arrojaron diferencias significativas (clasificación ASA frente al valor final de temperatura preanestésica final $p = -0,380$; clasificación ASA frente al valor final de temperatura transanestésica final $p = 0,238$; clasificación ASA frente al valor final de temperatura postanestésica final $p = -0,132$); dichos hallazgos contrarían lo reportado en la literatura, ya que en perros anestesiados, se ha establecido una relación directa entre la clasificación ASA y el grado de hipotermia observada (Redondo *et al.* 2012; Portier & Ida, 2018). Si bien es cierto, la incidencia de hipotermia en perros aumenta 2,34 veces en pacientes con clasificación ASA $> \text{III}$ (Portier & Ida, 2018), la ausencia de variaciones significativas de temperatura en el presente estudio, se pudo deber al número reducido de individuos con clasificación ASA III y ASA IV analizados, ya que tan solo fueron estudiados 12 y 2 animales de cada grupo, respectivamente, representando tan solo 28,5% de la población evaluada. Por otro lado, los resultados obtenidos no mostraron cambios relevantes con respecto al género como predictor de hipotermia perioperatoria ($p > 0,05$), similar a lo reportado por Redondo *et al.* (2012).

Otro aspecto a tener en cuenta es la edad del paciente, ya que es considerada como un factor de riesgo para la aparición de HPI, debido a que los pacientes muy jóvenes o geriátricos tienen alterada su función termorreguladora (Thomas & Lerche, 2017); no obstante, a pesar de realizar comparaciones entre diferentes grupos etarios (< 1 año, 1-8 años, > 8 años), con las distintas temperaturas perianestésicas finales, no se encontraron diferencias importantes ($p > 0,05$), similar a lo reportado en otra investigación (Redondo *et al.* 2012), lo cual, descartó la influencia de la edad como posible factor predisponente de HPI; sin embargo, al correlacionar las distintas edades con los valores finales de temperatura transanestésica, se encontró una correlación positiva en los animales menores a 1 año (16,65%), al igual que para los animales entre 2 y 8 años (11,53%), lo que sugiere una correlación positiva con tendencia a disminuir conforme son mayores los grupos etarios, es decir, entre más joven es el animal mayor será la correlación con la temperatura; contrariamente, entre más viejo sea la correlación será menor (Hart *et al.* 2011; Sanjuán *et al.* 2011).

Para los individuos mayores a 8 años, la correlación también fue positiva (0,56%), aunque se redujo considerablemente, indicando que se debe tener especial precaución al anestesiarse este tipo de pacientes, ya que son más propensos a la HPI, por tener un menor metabolismo basal y una respuesta vasoconstrictora periférica menos

eficaz, comparada con la que tienen los individuos más jóvenes (Sanjuán *et al.* 2011).

Finalmente, el tiempo promedio de extubación fue $10,88 \pm 3,55$ min, similar a lo reportado por otros autores (Redondo *et al.* 2012; Aarnes *et al.* 2017). A pesar de no encontrar diferencias significativas entre los grupos ($p=0,14$), se observó una tendencia clínica de mayor tiempo de extubación en pacientes sometidos a procedimientos que requirieron laparotomía frente a los animales que no la requirieron ($11,77 \pm 3,02$ frente a $10,15 \pm 3,82$ min), lo cual, se debe a que, al tener una mayor pérdida de calor, los animales sometidos a celiotomía pudieron ser más susceptibles al efecto depresor del sistema nervioso central de los fármacos anestésicos (Hart *et al.* 2011; Clarke-Price, 2015), predisponiéndolos a tiempos de recuperación anestésica más prolongados (Pottie *et al.* 2007).

Se sugiere realizar estudios con un mayor número de animales en diferentes procedimientos, tanto anestésicos como quirúrgicos; asimismo, contemplar factores, como la superficie de área corporal, índice de masa corporal, índice de grasa corporal, junto a distintos rangos de temperatura ambiental. Por otra parte, se recomienda considerar el efecto de la medicación preanestésica, la fluidoterapia y los diferentes circuitos anestésicos empleados, sobre el comportamiento de la temperatura corporal perioperatoria. Por último, se recomienda realizar evaluaciones termográficas perianestésicas, que permitan esclarecer la dinámica de la HPI en el perro.

Los resultados del presente estudio sugieren que los perros anestesiados con protocolos de anestesia inhalada, bajo las condiciones aquí planteadas, tienen una tendencia clínica a la hipotermia leve en el periodo preanestésico, mientras que la incidencia de hipotermia leve, moderada y severa transanestésica y postanestésica, es alta. La importancia clínica del presente trabajo radica en establecer un punto de partida para afrontar una complicación real, sin previo diagnóstico en Ibagué, permitiendo una mejor toma de decisiones preventivas y correctivas, según fuera el caso.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad del Tolima.

REFERENCIAS

1. AARNES, T.K.; BEDNARSKI, R.M.; LERCHE, P.; HUBBELL, J.A.E. 2017. Effect of pre-warming on perioperative hypothermia and anesthetic recovery in small breed dogs undergoing ovari hysterectomy. *Can. Vet. J.* 58(2):175-179.
2. ÁLVAREZ-RESÉNDIZ, G.E.; OCHOA-GAITÁN, G.; VELAZCO-GONZÁLEZ, J.G.; GUTIÉRREZ-PORRAS, C.L.; MONARES-ZEPEDA, E. 2013. Monitoreo anestésico básico. *Rev. Mex. Anest.* 36(Supl 1):s95-s100.
3. BIAZZOTTO, C.B.; BRUDNIEWSKI, M.; SCHMIDT, A.P.; JUNIOR, J.O.C.A. 2006. Hipotermia no periodo perioperatório. *Rev. Bras. Anesthesiol.* 56(1):89-106. <http://doi.org/10.1590/S0034-70942006000100012>
4. BINDU, B.; BINDRA, A.; RATH, G. 2017. Temperature management under general anesthesia: Compulsion or option. *J. Anaesthesiol. Clin. Pharmacol. (India).* 33(3):306-316. https://doi.org/10.4103/joacp.JOACP_334_16
5. BRODEUR, A.; WRIGHT, A.; CORTES, Y. 2017. Hypothermia and targeted temperature management in cats and dogs. *J. Vet. Emerg. Crit. Care. (Reino Unido).* 27(2):151-163. <https://doi.org/10.1111/vec.12572>
6. BURITICÁ, E.; ECHEVERRY, D.; OSPINA-ARGÜELLES, D.A. 2019. Efecto de dos maniobras cíclicas de reclutamiento alveolar sobre diversos parámetros de monitoreo microcirculatorio no invasivo en perros. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia).* 22(1):e1150. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1150>
7. CASTILLO, C.G.; CANDIA, C.A.; MARROQUÍN, H.A.; AGUILAR, F.; BENAVIDES, J.J.; ÁLVAREZ, J.A. 2013. Manejo de la temperatura en el perioperatorio y frecuencia de hipotermia inadvertida en un hospital general. *Rev. Colomb. Anesthesiol.* 41(2):97-103. <https://doi.org/10.1016/j.rca.2013.03.002>
8. CLARK-PRICE, S. 2015. Inadvertent perianesthetic hypothermia in small animal patients. *Vet. Clin. North. Am. Small Anim. Pract. (Estados Unidos).* 45(5):983-994. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2015.04.005>
9. CLARKE, K.W.; TRIM, C.M.; HALL, L.W. 2014. *Veterinary anesthesia.* Ed. Saunders Elsevier (China). 694p.
10. DALE, H.E.; ELEFSON, E.E.; NIEMEYER, K.H. 1968. Influence of environmental temperature on recovery of dogs from pentobarbital anaesthesia. *Am. J. Vet. Res. (Estados Unidos).* 29(7):1339-1347.
11. DUKE, J.C. 2016. Temperature disturbances. En: Duke, J.C.; Keech, B.M. (Eds). *Duke's anesthesia secrets.* Ed. Saunders Elsevier (Estados Unidos). p.177-180.
12. FERNANDES, L.A.; BRAZ, L.G.; KOGA, F.A.; KAKUDA, C.M.; MÓDOLO, N.S.; DE CARVALHO, L.R.; VIANNA, P.T.; BRAZ, J.R. 2012. Comparison of peri-operative core temperature in obese and non-obese patients. *Anesthesia (Estados Unidos).* 67(12):1364-1369. <https://doi.org/10.1111/anae.12002.x>

13. GRIMM, K.A. 2015. Perioperative thermoregulation and heat balance. En: GRIMM, K.A.; LAMONT, L.A.; TRANQUILLI, W.J.; GREENE, S.A.; ROBERTSON, S.A. (Eds). *Veterinary anesthesia and analgesia -the fifth edition of Lumb and Jones*. Ed. Wiley BlackWell (Estados Unidos). p.372-379.
14. GRUBB, T.; SAGER, J.; GAYNOR, J.S.; MONTGOMERY, E.; PARKER, J.A.; SHAFFORD, H.; TEARNEY, C. 2020. 2020 AAHA Anesthesia and Monitoring Guidelines for Dogs and Cats. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 56(2):59-82. <https://doi.org/10.5326/JAAHA-MS-7055>
15. HART, S.R.; BORDES, B.; HART, J.; CORSINO, D.; HARMON, D. 2011. Unintended perioperative hypothermia. *Ochsner J.* (Estados Unidos). 11(3):259-270.
16. MUIR, W.W.; HUBBELL, J.A.E.; BEDNARSKI, R.M.; LERCHE, P. 2013. *Handbook of veterinary anesthesia*. Ed. Elsevier Mosby (Estados Unidos). 600p.
17. ORTEGA, R.M. 2016. Hipotermia perioperatoria y su riesgo en el paciente quirúrgico. *Vanguardia Veterinaria (México)*. 76:22-26.
18. PAWSON, P. 2008. Sedatives. En: Maddison, J.E.; Page, S.W.; Church, D.B. (eds). *Small animal clinical pharmacology*. Ed. Saunders Elsevier (China). p.113-125.
19. PORTIER, K.; IDA, K.K. 2018. The ASA physical status classification: what is the evidence for recommending its use in veterinary anesthesia?-A systematic review. *Front. Vet. Sci.* (Suiza). 5:204. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00204>
20. POTTIE, R.G.; DART, C.M.; PERKINS, N.R.; HODGSON, D.R. 2007. Effect of hypothermia on recovery from general anaesthesia in the dog. *Aust. Vet. J.* 85(4):158-162. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2007.00128.x>
21. RILEY, C.; ANDRZEJOWSKI, J. 2018. Inadvertent perioperative hypothermia. *BJA Educ.* (Reino Unido). 18(8):227-233. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2018.05.003>
22. REDONDO, J.I.; SUESTA, P.; SERRA, I.; SOLER, C.; SOLER, G.; GIL, L.; GÓMEZ-VILLAMANDOS, R.J. 2012. Retrospective study of the prevalence of postanaesthetic hypothermia in dogs. *Vet. Rec. (Reino Unido)*. 171(15):374. <http://doi.org/10.1136/vr.100476>
23. RODRIGUEZ-DIAZ, J.M.; HAYES, G.M.; BOESCH, J.; MARTIN-FLORES, M.; SUMNER, J.P.; HAYASHI, K.; MA, E.; TODHUNTER, R.J. 2019. Decreased incidence of perioperative inadvertent hypothermia and faster anesthesia recovery with increased environmental temperature: A nonrandomized controlled study. *Vet. Surg.* (Estados Unidos). 49(2):256-264. <http://doi.org/10.1111/vsu.13328>
24. SANJUÁN, M.; ABAD, E.M.; DE LA FLOR, M. 2011. Termorregulación y manejo perioperatorio. *Cir. May. Amb.* (España). 16(4):173-190.
25. STEPANIUK, K.; BROCK, N. 2008. Hypothermia and thermoregulation during anesthesia for the dental and oral surgery patient. *J. Vet. Dent.* (Estados Unidos). 25(4):279-83. <https://doi.org/10.1177/089875640802500413>
26. THOMAS, J.A.; LERCHE, P. 2017. *Anesthesia and analgesia for veterinary technicians*. Ed. Elsevier (Canadá). 445p.
27. YANG, L.; HUANG, C.Y.; ZHOU, Z.B.; WEN, Z.S.; ZHANG, G.R.; LIU, K.X.; HUANG, W.Q. 2015. Risk factors for hypothermia in patients under general anesthesia: Is there a drawback of laminar airflow operating rooms? A prospective cohort study. *Int. J. Surg.* (Holanda). 21:14-17. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2015.06.079>
28. YI, J.; LEI, Y.; XU, S.; SI, Y.; LI, S.; XIA, Z.; SHI, Y.; GU, X.; YU, J.; XU, G.; GU, E.; YU, Y.; CHEN, Y.; JIA, H.; WANG, Y.; WANG, X.; CHAI, X.; JIN, X.; CHEN, J.; XU, M.; XIONG, J.; WANG, G.; LU, K.; YU, W.; LEI, W.; QIN, Z.; XIANG, J.; LI, L.; XIANG, Z.; PAN, S.; ZHAN, L.; QIU, K.; YAO, M.; HUANG, Y. 2017. Intraoperative hypothermia and its clinical outcomes in patients undergoing general anesthesia: National study in China. *PloS One* (Estados Unidos). 12(6):1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177221>



Viabilidad de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado bajo condiciones gastrointestinales simuladas e inhibición sobre *Escherichia coli* O157:H7

Viability of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* under simulated gastrointestinal conditions and inhibition against *Escherichia coli* O157:H7

Catalina Fajardo-Argoti¹; Henry Jurado-Gómez²; Jaime Parra-Suescún³

¹Zootecnista, Estudiante Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Procesos Biotecnológicos Aplicados a la Producción Animal-Forrajes y Apicultura, PROBIOTEC-FORAPIS. Medellín - Antioquia, Colombia; email: ifajardo@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-1993-6573>

²Zoot, Esp., M.Sc., Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias, Grupo de Investigación Procesos Biotecnológicos Aplicados a la Producción Animal-Forrajes y Apicultura, PROBIOTEC-FORAPIS. Pasto - Nariño, Colombia; email: henryjugam@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2118-7997>

³Zoot, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Biodiversidad y Genética Molecular, BIOGEM. Medellín - Antioquia, Colombia; email: jeparrasu@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-4772-1326>

Cómo citar: Fajardo-Argoti, C.; Jurado-Gómez, H.; Parra-Suescún, J. 2021. Viabilidad de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado bajo condiciones gastrointestinales simuladas e inhibición sobre *Escherichia coli* O157:H7. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1733. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1733>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: agosto 8 de 2020 **Aceptado:** mayo 18 de 2021 **Editado por:** Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Los *Lactobacillus* inhiben múltiples agentes patógenos causales de toxiinfecciones alimentarias, relacionándose su mecanismo de acción con la modulación del sistema inmune. Por su parte, *E. coli* O157:H7 es considerado un microorganismo causal de alteraciones, principalmente, a nivel intestinal y renal y es encontrado, por lo general, en matrices alimentarias contaminadas o en mal estado. La incidencia de este tipo de problemática se ha relacionado a la resistencia a los antibióticos, que limita su control y mitigación de manera eficaz. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto inhibitorio de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado *in vitro* sobre *Escherichia coli* O157:H7, con el fin de encontrar estrategias

inocuas para el control de agentes patógenos. Se determinó la cinética de fermentación, evaluando variables, como consumo de azúcar, producción de proteínas, acidez, pH y fase logarítmica (UFC/mL). La microencapsulación, se realizó mediante la técnica de spray drying, utilizando inulina y maltodextrina, como materiales encapsulantes. Se determinó la viabilidad de *L. plantarum* bajo condiciones gastrointestinales simuladas. Además, se evaluaron las características físicas del microorganismo microencapsulado y el efecto inhibitorio de *L. plantarum* y su sobrenadante sobre *E. coli* O157:H7. Posteriormente, se valoró la susceptibilidad de ambas cepas a diferentes antibióticos. Como resultado, se encontró resistencia de ambas cepas a algunos antibióticos evaluados, como penicilina. La cepa láctica y el sobrenadante inhibieron el crecimiento de *E. coli*

O157:H7. *L. plantarum* presentó una viabilidad óptima a condiciones gastrointestinales simuladas después de 45 días de almacenamiento ($1,4 \times 10^7$ - $3,0 \times 10^{10}$ UFC/150 μ L). La microencapsulación incrementa su viabilidad y su establecimiento en el huésped.

Palabras clave: Sanidad animal; Probiótico; *Lactobacillus*; Patógeno.

ABSTRACT

Lactobacillus inhibit multiple pathogens that cause food poisoning, and their mechanism of action is related to the modulation of the immune system. *E. coli* O157:H7 is considered a causal microorganism of alterations, mainly at intestinal and renal level, and is generally found in contaminated or spoiled food matrices. The incidence of this type of problem has been related to antibiotic resistance, which limits its effective control and mitigation. Therefore, the objective of this work was to evaluate the inhibitory effect of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* in vitro on *Escherichia coli* O157:H7, in order to find innocuous strategies for the control of pathogens. Fermentation kinetics were determined by evaluating variables such as sugar consumption, protein production, acidity, pH and logarithmic phase (CFU/mL). Microencapsulation was performed by spray drying, using inulin and maltodextrin as encapsulating materials. The viability of *L. plantarum* was determined under simulated gastrointestinal conditions. In addition, the physical characteristics of the microencapsulated microorganism and the inhibitory effect of *L. plantarum* and its supernatant on *E. coli* O157:H7 were evaluated. Subsequently, the susceptibility of both strains to different antibiotics was evaluated. As a result, resistance of both strains to some of the antibiotics evaluated, such as penicillin, was found. The lactic strain and the supernatant inhibited the growth of *E. coli* O157:H7. *L. plantarum* showed optimal viability at simulated gastrointestinal conditions after 45 days of storage (1.4×10^7 - 3.0×10^{10} CFU/150 μ L). Microencapsulation increases its viability and establishment in the host.

Keywords: Animal health; Probiotic; *Lactobacillus*; Pathogen.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del 30% de las enfermedades infecciosas emergentes en los últimos 60 años son provocadas por microorganismos que se transmiten, a través de productos comestibles (McLinden *et al.* 2014). Un factor importante en la incidencia de las Toxiinfecciones Alimentarias (TIA) es la resistencia a los agentes antimicrobianos o antibióticos, por su uso indiscriminado en las producciones pecuarias (Jurado-Gómez & Zambrano-Mora, 2020). En este sentido, el Centro de Prevención y Control de Enfermedades de la Unión Europea (ECDC) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), alertan sobre el aumento de la resistencia a los antibióticos de cepas de *E. coli*, que es una de las bacterias más común en los alimentos contaminados (EFSA & ECDC, 2018).

Los microorganismos benéficos incrementan el valor nutricional y la supervivencia y disminuyen la incidencia de enfermedades causadas por bacterias patógenas (García *et al.* 2016). De acuerdo

con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) definen a los probióticos como microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped (FAO/WHO, 2002). En el área de sanidad y producción animal, Cossio *et al.* (2018) señalan que la aplicación de estos microorganismos se relaciona con la estabilización y la protección del ecosistema gastrointestinal, mejoras en los procesos metabólicos y digestivos, así como también en la modulación del sistema inmune. Dentro de la categoría de los probióticos, se encuentran las Bacterias Ácido Lácticas (BAL), consideradas seguras y utilizadas en muchos países en la producción de alimentos fermentados, controlando el crecimiento de patógenos. Por lo general, las cepas empleadas para el desarrollo de alimentos probióticos son aisladas de humanos, ya que poseen mayor posibilidad de adherirse y colonizar el epitelio intestinal; sin embargo, se ha demostrado que cepas de origen animal también poseen efectos favorables en el humano (Ruiz *et al.* 2017).

El género *Lactobacillus* comprende un gran grupo heterogéneo de bacterias anaerobias facultativas, no esporulantes, Gram positivas. Incluye especies, como *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *L. rhamnosus*, *L. bulgaricus*, *L. casei* y *L. reuteri* (Duar *et al.* 2017). Por su parte, *L. plantarum* es una especie bacteriana asociada a especies vegetales y al tracto gastrointestinal (TGI) de humanos, ratones y cerdos. Esta bacteria puede fermentar un amplio espectro de carbohidratos vegetales; es tolerante a las sales biliares y a un pH bajo y posee una producción de sustancias antimicrobianas y bacteriocinas contra los patógenos intestinales (Betancur *et al.* 2020). A pesar que se ha demostrado la capacidad de las BAL de sobrevivir en el tracto gastrointestinal (Montalban-Arques *et al.* 2015) es fundamental favorecer su supervivencia, lo cual, se puede obtener mediante la técnica de microencapsulación.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la viabilidad de *L. plantarum* microencapsulado bajo condiciones gastrointestinales simuladas y su actividad inhibitoria sobre *E. coli* O157:H7, cuyos hallazgos van en dirección a generar una potencial alternativa de control de agentes bacterianos importantes, en las infecciones de origen alimentario.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó en el Laboratorio de Microbiología del Grupo de Investigación PROBIOTEC-FORAPIS y en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño. Se utilizaron *L. plantarum* ATCC® 8014 y *E. coli* O157:H7 ATCC® 43888. La obtención y ajuste del inóculo, se realizó de acuerdo con lo descrito por Jurado *et al.* (2014).

Los parámetros cinéticos de *L. plantarum*, se evaluaron en medio MRS comercial; para esto, se tomaron muestras y mediciones cada 2:50h, de las siguientes variables: conteo de microorganismos viables en placa (UFC/mL) (Lanara, 1981), pH, consumo de azúcar (mg/L) (Dubois *et al.* 1956), producción de proteína (mg/L) (Lowry *et al.* 1951) y producción de ácido láctico (%). La biomasa, se determinó

a través del método propuesto por Crueger & Crueger (1993), así como otras variables cinéticas de crecimiento (velocidad específica de crecimiento, tiempo de duplicación celular, cosecha máxima y tiempo de generación). Finalmente, se tomó una muestra de sobrenadante de *L. plantarum* y, por HPLC-DAD, se determinó el contenido de péptidos y de aminoácidos; para lo anterior, se ajustó, por espectrofotometría, a una densidad óptica 0,125, en escala McFarland patrón 0,5 ($1,5 \times 10^8$ bacterias/mL). Luego, se transfirieron muestras en tubos Eppendorf y se centrifugaron a 18.000rpm, durante 30min, a 4°C. Por último, el sobrenadante se filtró, utilizando membranas PVDF de 0,2micras y se llevó a lectura.

Una vez obtenidos los datos cinéticos para el proceso de encapsulación, se realizó el ajuste del inóculo, en donde a *L. plantarum*, se llevó a incubación, a 37°C, por 24h, a una proporción, según Crueger & Crueger (1993), del 10% v/v, es decir, en 90mL de caldo MRS estéril, se añadió 10mL del inóculo bacteriano. Para el conteo, se tomó 1mL y se llevó a lectura directa en espectrofotómetro, a 625nm. El patrón en la escala de McFarland, a la cual, se ajustó la población bacteriana, fue de 4, equivalente a $1,2 \times 10^9$ UFC/mL. Posteriormente, de acuerdo con Rodríguez *et al.* (2012), se preparó para el microorganismo una suspensión, que consistió en la adición del 15% p/v, en relación 1:1p/p de los agentes microencapsulantes inulina y maltodextrina y, posteriormente, se inoculó con 10^9 UFC/g del microorganismo. Para esto, se utilizó el equipo de secado por aspersión Secador Spray Bilon 6000s®, con una temperatura de entrada de 170°C y una temperatura de salida de 66°C, con ciclo completo de 2h y 30min, para un flujo de alimentación de 400mL, del total de inóculo.

Se evaluó el rendimiento del microencapsulado después del secado por aspersión razón de BAL microencapsulado, respecto al adicionado en la solución, de acuerdo con Pulido & Beristain (2010). De igual manera, se determinaron las siguientes propiedades físicas del microencapsulado: actividad de agua, humedad relativa, solubilidad, humectabilidad, higroscopicidad y eficiencia de microencapsulación ($\%EE = (A-B/A) \times 100$; siendo A, la concentración bacteriana antes de la microencapsulación y B es la concentración de la bacteria después de microencapsular, encontrada en el sobrenadante), siguiendo las metodologías propuestas por Rodríguez-Barona *et al.* (2016) y González *et al.* (2015). Además, se determinó el tamaño y la morfología de las microcápsulas, utilizando un microscopio electrónico de barrido FEG (Field Emission Gun) - QUANTA 650 FEG. Dicho análisis fue realizado en el laboratorio del Centro de Microscopía y Microanálisis (Bogotá, Colombia). El material microencapsulado, se almacenó a temperatura ambiente del laboratorio de investigación, de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 45 días.

Después de realizada la microencapsulación, se determinó el crecimiento de *L. plantarum* microencapsulado en condiciones gastrointestinales simuladas, con concentraciones de sales biliares bovinas, de 0,3 y 1% y bilis bovina, de 0,3 y 0,5% y a niveles, de pH de 3,0 y 7,0. La incubación, se realizó en condiciones de aerobiosis en medio MRS comercial, a 37°C, durante 48h y el ajuste del pH, se realizó con ácido tartárico (Freudig *et al.* 1999). Adicionalmente, se evaluó la resistencia a lisozima, sometiendo la cepa láctica a

diferentes preparaciones de lisozima: (i) 0,6μL de cultivo y 0,60μg de lisozima, (ii) 0,6μL de cultivo y 120μg de lisozima, (iii) 0,6μL de cultivo y 180μg de lisozima. Se llevó a incubación, durante 24h, a 37°C.

Para evaluar el efecto inhibitorio de *L. plantarum*, de acuerdo con la metodología de Tagg & McGiven (1971), los volúmenes trabajados en los métodos discos de agar, doble capa y difusión en pozos fueron de 90,125 y 150μL y para el método discos modificado (PADS) fueron de 80, 90 y 100μL, respectivamente. Además, se verificó la producción de exopolisacáridos (EPS), de acuerdo con lo descrito por Elinalva Maciel *et al.* (2012), donde se utilizaron discos de papel de filtro estéril (5mm), impregnados con 5μL de cultivo láctico, en placas de Petri, con agar MRS, para observar la producción de EPS (Guimarães *et al.* 1999). El ensayo, se realizó bajo las siguientes condiciones: diferentes niveles de pH ($6,0 \pm 0,2$ y $7,5 \pm 0,2$), temperatura ($28 \pm 2^\circ\text{C}$, $35 \pm 2^\circ\text{C}$ y $42 \pm 2^\circ\text{C}$) y tiempos de incubación (24h, 48h y 7 días). Finalmente, se evaluó la susceptibilidad de *L. plantarum* y *E. coli* O157:H7 frente a los antibióticos penicilina (10UI), cefalotina (KF 30μg), ciprofloxacina (CIP 5μg), gentamicina (CN 10μg), dicloxacilina (DCX 1μg), ampicilina (AMP 10μg), cefatoxima (CTX 30μg) y florfenicol (FFC 30μg) (Bauer *et al.* 1966).

En este orden de ideas, los parámetros de la cinética de crecimiento se realizaron cada 2,5 horas, con 8 muestreos para cada variable; con la información recolectada, se obtuvo el promedio para cada punto y se realizaron las curvas de evolución en el tiempo para los parámetros. La evaluación de la microencapsulación, se realizó por triplicado para cada uno de los parámetros (rendimiento y propiedades físicas), obteniendo la media como resultado. Para la susceptibilidad de las cepas a los diferentes antibióticos, se usaron 8 repeticiones. El mismo número de réplicas se hicieron en las pruebas de inhibición. Los resultados fueron organizados en hoja de cálculo Excel® y los análisis se realizaron en el software estadístico R (4.0.0, 2018). Para todas las variables, se determinaron los parámetros descriptivos, como la media y la desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según la información obtenida en la cinética de fermentación, se encontró que *L. plantarum* alcanzó su fase exponencial a las 11:50 horas y los valores de consumo de azúcares, producción de proteínas, ácido láctico y pH, se muestran en la figura 1. Al respecto, Agudelo *et al.* (2010) mencionan que, hasta las 24 horas de fermentación, la bacteria se reproduce sin limitación de sustancias nutritivas a velocidad máxima. De acuerdo con lo anterior, se puede observar que la variable $\ln \text{UFC}/150\mu\text{L}$ de *L. plantarum* presentó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$), entre el tiempo 11:50, donde tuvo lugar el máximo crecimiento y los tiempos 0:0, 2:50, 14:50, 20:50 y 23:50, confirmando la tendencia del microorganismo observado en la cinética. En cuanto al consumo de azúcares y producción de proteínas, en la fase exponencial, fue de 6,98mg/L y de 4,88mg/L, respectivamente. En este sentido, la BAL en estudio puede ser utilizada en la industria alimentaria por su rendimiento, que se traduce en la obtención de productos en menor tiempo, generando menores costos de producción. Asimismo, *L. plantarum* obtuvo un

número de generaciones por hora de 4,62, una cosecha máxima de 10,3Ln UFC/150µl, así como también, una velocidad específica de crecimiento de 2,872 y un tiempo de duplicación celular de 14,47min, valores relativamente altos, en contraste con lo reportado por Agudelo *et al.* (2010), que fueron de 0,53 y 1,28, respectivamente; sin embargo, otros autores, como Jurado *et al.* (2015), reportaron valores de 0,98 y 42,42, respectivamente. Es de considerar que la velocidad y el tiempo de duplicación dependen de la concentración de nutrientes; así, a altas concentraciones, la velocidad específica alcanza valores máximos (Agudelo *et al.* 2010). En cuanto al pH y ácido láctico, los mismos autores señalan que, en los productos derivados de la fermentación, se encuentran altas concentraciones de ácido láctico y otros ácidos orgánicos, como productos finales del proceso catabólico de *Lactobacillus* y, en esta investigación, el descenso del pH para *L. plantarum*, en el medio MRS, pasó de 5,6 a 4,27 y que tiene un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de patógenos a estos pH alcanzados, por las BAL (Jurado Gómez *et al.* 2019). En cuanto a la identificación del perfil de péptidos para la cepa láctica, se detectaron 4 espectros UV, obtenidos a 214 y 280nm, correspondiente al péptido de composición VAL-TIR-VAL (PM = 379,5), con una concentración de 0,52mg/mL, similar a lo reportado por Jurado *et al.* (2015), en lo que respecta a valina y tirosina. En el perfil de aminoácidos en el sobrenadante de la BAL, se encontró lo siguiente: cantidad relativa porcentual %: A. aspártico: 5,1; Serina: 9,7; Arginina: 7,6; Tirosina: 4,5; Valina: 10,4. Y, 5 aminoácidos para la cepa patógena (A. aspártico: 4,0; Serina: 7,5; Arginina: 6,0; Tirosina: 43,5; Valina: 15,5). Este parámetro es importante por la actividad inhibitoria de las BAL en la producción de bacteriocinas de ser bactericidas o bacteriostáticos frente a microorganismos sensibles de la misma especie o estrechamente relacionados (Svetoslav *et al.* 2018). Egan *et al.* (2016) sostienen que las bacteriocinas son una defensa para las bacterias productoras, inhibiendo o destruyendo aquellas bacterias sensibles, que compiten por el mismo nicho ecológico. Por su parte, Castellano *et al.* (2017) mencionan que son inocuas para los consumidores y tampoco afectan la microbiota intestinal, ya que se inactivan en el sistema digestivo.

Se determinó la viabilidad de *L. plantarum* (UFC/g y %), antes ($6,0 \times 10^8$ UFC/g) y después ($3,2 \times 10^8$ UFC/g - 50% viabilidad) de la microencapsulación, después de 45 días de almacenamiento, a $20 \pm 2^\circ\text{C}$. En la viabilidad, bajo condiciones gastrointestinales simuladas, se observó un mejor crecimiento, con valores de $3,8 \times 10^9$ UFC/150µL, óptimo para el establecimiento, a nivel intestinal (Tabla 1). En complemento, la viabilidad de *L. plantarum*, en presencia de las diferentes preparaciones de lisozima, estuvo entre $2,0 \times 10^9$ y $3,0 \times 10^{12}$ UFC/150µL. Al respecto, Gutiérrez-Sarmiento *et al.* (2020) mencionan que la supervivencia de los microorganismos, a través del tracto gastrointestinal, es un criterio probiótico importante, ejerciendo un efecto benéfico en la salud del consumidor.

En la evaluación del material microencapsulado físicamente, se encontraron los siguientes valores: humedad (7,054%), Aw (0,400), higroscopicidad (7,01g humedad/100g de sólido seco), humectabilidad (1,56min), solubilidad (92%) y eficiencia (42%), estas determinaciones se realizaron cada 10 días. Adicionalmente,

el rendimiento del proceso de secado fue del 40% y su viabilidad fue superior al nivel mínimo de 6,0log UFC/g, recomendado por FAO/OMS (2002), como la cantidad requerida para producir beneficios terapéuticos y, ligeramente mayor, a la reportada por Rodríguez *et al.* (2012), la cual, fue de 46,53%, con una matriz de Inulina, a una temperatura de entrada de 150°C y de salida de 90°C, después de 21 días de almacenado. Estos resultados fueron más altos que los observados por Kingwatee *et al.* (2015), en el secado por atomización del jugo de lichi suplementado con *L. casei* 01, utilizando materiales de pared, como maltodextrina y goma arábiga, mezclados o no con inulina. Los polvos producidos a la temperatura de salida más alta mostraron una menor viabilidad y recuentos de células (2,46 y 4,73log UFC/g), en comparación con los producidos a 60°C (5,75 y 6,80log UFC/g). La alta viabilidad encontrada para la BAL, en este estudio, puede ser atribuida al efecto termoprotector de la inulina. Fritzen-Freire *et al.* (2012) estudiaron la microencapsulación de *Bifidobacterium* BB-12, mediante secado por aspersión, utilizando leche descremada reconstituida, como material de pared, en presencia de inulina y oligofruktosa. Los valores porcentuales para la eficiencia de microencapsulación son similares a los reportados por González *et al.* (2015); para esta última, fue 50% inferior en el presente estudio, debido, quizá, a que se evaluó una matriz de alginato (AS) y goma gelana de alto acilo (GAA).

La caracterización morfológica por microscopía electrónica de barrido reflejó que el microorganismo presentó una cápsula de forma simple y uniforme, sin grietas ni abultamientos (Figura 2), evidenciando la eficiencia de la matriz microencapsulante y una garantía para el correcto desempeño del microorganismo, en el lugar de adhesión. De esta manera, se obtuvieron tamaños con un rango entre 1,566 y 8,55µm, similares a los reportados por Rodríguez *et al.* (2012) y Paim *et al.* (2016), donde el tamaño osciló entre 6,23 y 9,13µm. El tamaño de las partículas es importante, ya que afecta el flujo del polvo, la capacidad de rehidratación, la solubilidad y la dispersabilidad, así como la compactación y la segregación de una mezcla de componentes. Según Schubert (1993), los polvos muy finos pueden tener una humectabilidad baja, debido a la alta tensión superficial, que conduce a la formación de una “capa viscosa” en la superficie del líquido, que dificulta el flujo de la capilaridad, a través de los poros intergranulares. El objetivo de la microencapsulación fue otorgar protección a *L. plantarum* frente a entornos que puedan afectar significativamente su desempeño y la expresión de su potencial probiótico, mantener su viabilidad durante el almacenamiento y asegurar su supervivencia frente a las enzimas digestivas y bilis del tracto gastrointestinal, permitiendo, en el intestino, conferir sus efectos beneficiosos al huésped. La resistencia a las condiciones gastrointestinales depende de las especies y de las cepas (Monteagudo-Mera *et al.* 2012) y la elección de la matriz del portador es decisiva para mejorar la supervivencia y la viabilidad en el colon. La incorporación de la matriz maltodextrina-inulina confirió una protección eficaz contra el jugo gástrico de bajo pH y la presencia de inulina mejoró aún más la recuperación de células viables, al final de la digestión simulada. Así, pues, las microcápsulas son vehículos valiosos para la liberación controlada de fármacos y de probióticos.

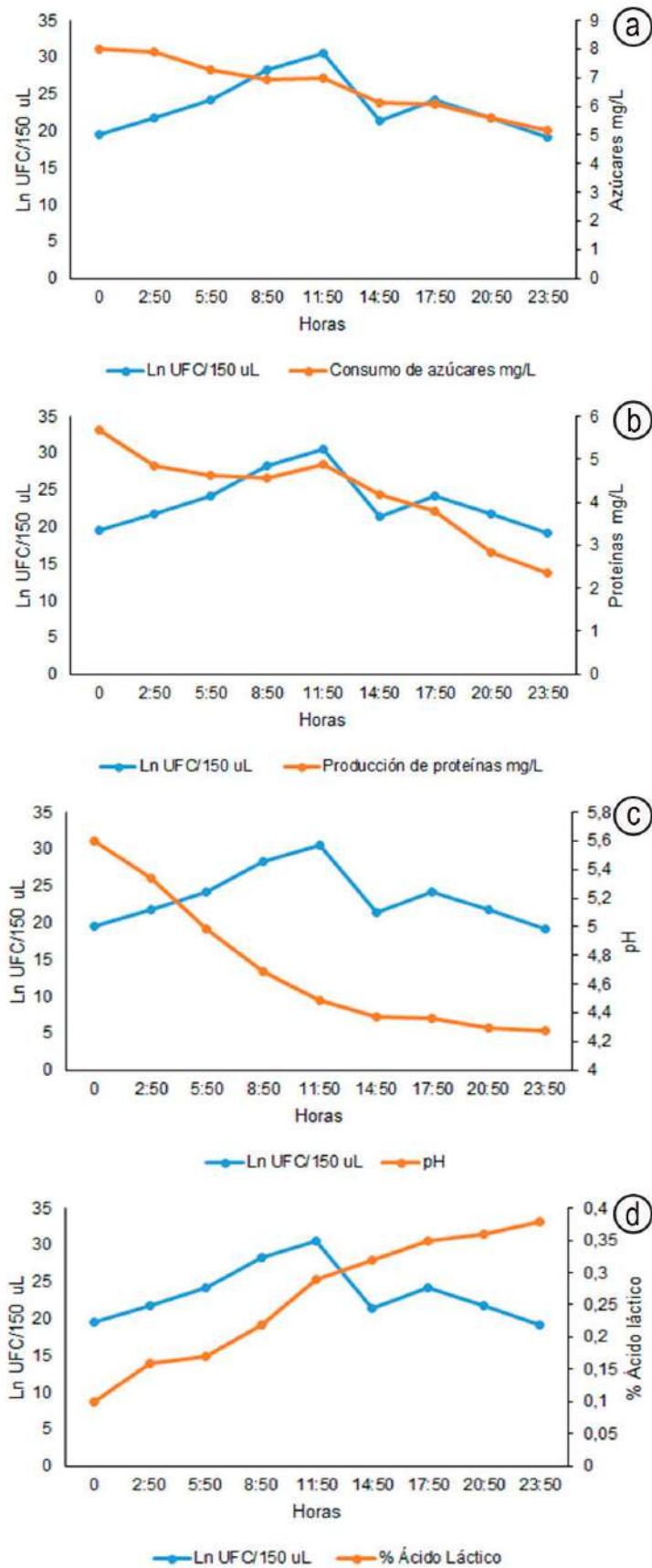
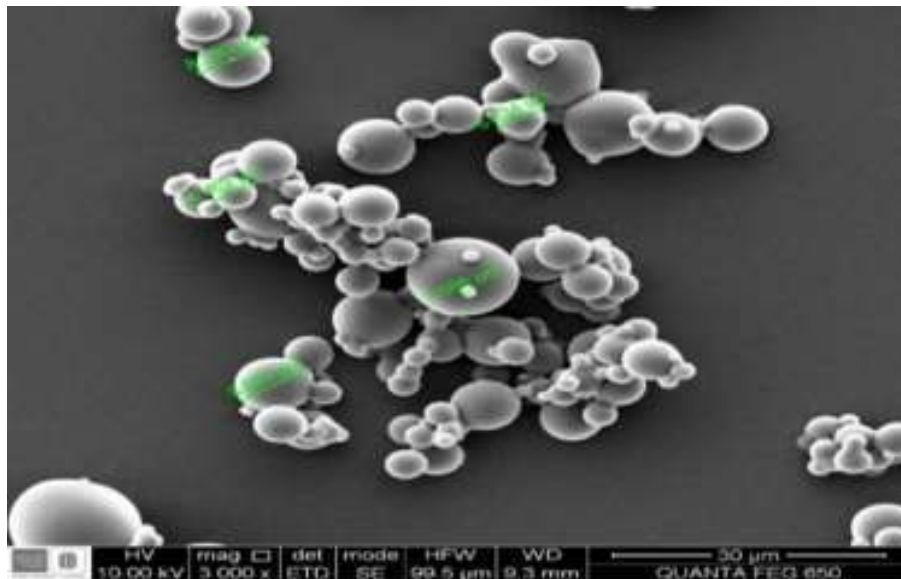


Figura 1. Crecimiento de *Lactobacillus plantarum* (Ln UFC/150µL) vs Variables evaluadas durante la cinética de fermentación. a. consumo de azúcares mg/L; b. producción de proteínas mg/L; c. pH; d. % ácido láctico.

Tabla 1. Valores de crecimiento de *L. plantarum* microencapsulado a 45 días y viabilidad, bajo condiciones gastrointestinales simuladas.

<i>L. plantarum</i> antes del proceso de microencapsulación			
Dilución sembrada	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
UFC/150 μ L	$6,0 \times 10^7$	$6,0 \times 10^8$	$6,0 \times 10^9$
Prueba de Viabilidad >45 días			
Dilución	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
UFC/150 μ L	$3,0 \times 10^7$	$2,7 \times 10^8$	$3,0 \times 10^9$
Viabilidad bajo condiciones gastrointestinales simuladas pH 3,0			
Dilución	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
UFC/150 μ L	$3,6 \times 10^7$	$4,0 \times 10^8$	$3,8 \times 10^9$
Viabilidad bajo condiciones gastrointestinales simuladas pH 6,5 (Sales biliares-SB)			
Concentración 0,3%(SB)			
Dilución	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
UFC/150 μ L	$2,0 \times 10^7$	$1,8 \times 10^5$	$3,1 \times 10^9$
Concentración 1%(SB)			
Dilución	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
UFC/150 μ L	$3,5 \times 10^7$	$6,3 \times 10^8$	$3,1 \times 10^9$
Viabilidad bajo condiciones gastrointestinales simuladas pH 6,5 (Bilis-B)			
Concentración 0,5%(B)			
Dilución	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
UFC/150 μ L	$3,1 \times 10^7$	$2,9 \times 10^8$	$3,0 \times 10^9$

Figura 2. Microfotografía de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado.

En la prueba de susceptibilidad frente a agentes antimicrobianos, *L. plantarum* y *E. coli* O157:H7 mostraron la mayor sensibilidad frente a CTX y CIP (Tabla 2). Sánchez de Ramos *et al.* (2011) reportaron una resistencia a los antibióticos gentamicina y ciprofloxacina en cepas de *Lactobacillus*. En cuanto a la sensibilidad/resistencia de *E. coli* O157:H7 fueron similares a los reportados por Toledo *et al.* (2015) en AMP y KF y sensibilidad a CIP y CN. Cueto-Vigil *et al.* (2010) afirman que las bacterias intestinales comensales, incluyendo a las BAL, actúan como reservorios de genes de resistencia a antibióticos similares a los encontrados en patógenos humanos, transfiriéndolos a bacterias patógenas, a través de plásmidos o transposones. Wendlandt *et al.* (2015) plantean que la diseminación de cepas resistentes son producto de infecciones alimentarias adquiridas por el contacto con productos contaminados, donde el hospedero es infectado o colonizado con el microorganismo resistente. Al respecto, Cueto & Aragón (2012) establecen que la estructura de la pared celular de las especies Gram positivas es gruesa (como en el caso de las BAL) y en las Gram negativas es muy delgada, lo cual, puede ser un factor que induzca a su sensibilidad a los antibióticos.

Los ensayos de inhibición *in vitro* de *L. plantarum* y su sobrenadante por el método de discos modificado (PADS) frente a *E. coli* O157:H7 mostraron la mayor susceptibilidad a una concentración de 90µL (Tabla 3). Esta acción inhibitoria, se atribuye a sustancias como ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno, bacteriocinas, entre otras, favoreciendo un ambiente favorable para la microbiota benéfica y

el huésped (Heredia-Castro *et al.* 2017). La respuesta antagónica e inocua en los halos de *L. plantarum* es similar a lo reportado por Vera-Mejía *et al.* (2018). Por su parte, Abramov *et al.* (2014) y Sánchez *et al.* (2015) mencionan que la producción del peróxido de hidrógeno y ácido láctico por *Lactobacillus* no permite la colonización por microorganismos patógenos, alterando su permeabilidad celular, así como descenso del pH intracelular. En la determinación de presencia de EPS, se encontró un material translúcido asociado a una colonia mucoide y precipitación de la muestra en alcohol absoluto, indicando la potencial producción de EPS (28 y 35°C). Náchter Vázquez *et al.* (2016) consideran que intervienen en: capacidad de adhesión bacteriana, formación de biopelículas, protección de la integridad celular en diferentes ambientes y en su adaptación para colonizar el tracto digestivo o la mucosa vaginal, asociado a su capacidad para ser organismos simbióticos.

Se concluye que *L. plantarum* expresó su potencial probiótico al inhibir a *E. coli* O157:H7; la microencapsulación permitió el almacenamiento de *L. plantarum*. A pesar que la temperatura del secado por aspersión afectó un porcentaje de viabilidad, este efecto se contrarrestó por la excelente estabilidad durante el almacenamiento a temperatura ambiente, que se mantuvo después de 6 semanas. La matriz maltodextrina-inulina mejoró las tasas de supervivencia en condiciones gastrointestinales simuladas; sin embargo, un nuevo reto es encontrar un material con mayor afinidad con el microorganismo, para superar más eficazmente los pasos desde la producción hasta el almacenamiento y la digestión.

Tabla 2. Prueba de susceptibilidad frente a agentes antimicrobianos en *L. plantarum* frente a *E. coli* O157:H7.

Antibiótico	Halo (mm)	<i>L. plantarum</i>	Halo (mm)	<i>E. coli</i>
CTX 30 µg	35	S ^{bc}	30	S ^a
KF 30 µg	13	R ^{bc}	11	R ^a
CIP 5 µg	12	R ^b	35	S ^a
CN 10 µg	13	R ^b	19	S ^a
DCX 1 µg	-	R ^b	-	R ^a
P 10 IU	20	S ^b	-	S ^a
AMP 10 µg	-	R ^{bc}	-	R ^a
FFC 30 µg	31	S ^b	28	S ^a

CTX: Cefatoxima, KF: Cefalotina, CIP: Ciprofloxacina, CN: Gentamicina, DCX: Dicloxacilina, P: Penicilina, AMP: Ampicilina, FFC: Florfenicol. a: Manual para antibiograma LABORCLIN, b: Sánchez de Ramos *et al.* (2011), c: Charteris *et al.* (1998).

Tabla 3. Concentraciones (μL) y halos de inhibición (mm) producidos por *L. plantarum* (discos de agar) y de su sobrenadante frente a *E. coli* O157:H7.

Método	Condición	Concentración (μL) y halo (mm)		
		90 μL	125 μL	150 μL
Discos de agar	-	9	5	4
Doble capa	A	4	5	6
	B	4	2	-
Difusión en pozos	A	4	3	5
	B	5	2	3
Método	Condición	80 μL	90 μL	100 μL
Discos modificados (Pads)	A	4	3	4
	B	8	4	6

A: Filtrado a pH 6; B: Sin filtrar a pH 6.

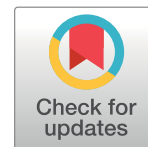
Agradecimientos. Los autores de la presente investigación agradecen al grupo de investigación PROBIOTEC-FORAPIS de la Universidad de Nariño, por permitir el desarrollo y la ejecución de este trabajo de investigación, a nivel de Maestría.

REFERENCIAS

- ABRAMOV, V.; KHLEBNIKOV, V.; KOSAREV, I.; BAIRAMOVA, G.; VASILENKO, R.; SUZINA, N.; MACHULIN, A.; SAKULIN, V.; KULIKOVA, N.; VASILENKO, N.; KARLYSHEV, A.; UVERSKY, V.; CHIKINDAS, M.; MELNIKOV, V. 2014. Probiotic Properties of *Lactobacillus crispatus* 2,029: Homeostatic Interaction with Cervicovaginal Epithelial Cells and Antagonistic Activity to Genitourinary Pathogens. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 6(3-4):165-176. <https://doi.org/10.1007/s12602-014-9164-4>
- AGUDELO, C.; ORTEGA, R.; HOYOS, J. 2010. Determination of kinetic parameters of two lactic inoculums: *Lactobacillus plantarum* A6 and Lactic Acid bacteria of yogurt. *Ciencias Agropecuarias*. 8(2):8-16.
- BAUER, A.W.; KIRBY, W.M.; SHERRIS, J.C.; TURCK, M. 1966. Antibiotic Susceptibility Testing by a Standardized Single Disk Method. *American Journal of Clinical Pathology*. 45(4):493-496.
- BETANCUR, H.C.; RODRÍGUEZ, B.R.; MARTÍNEZ, Y.; ROMERO C., O.; RUGELES, C.C. 2020. La administración oral de un biopreparado con *Lactobacillus plantarum* CAM-6 mejoró el comportamiento productivo y el rendimiento de la canal de cerdos en crecimiento. *Revista de Producción Animal*. 32(2):64-73.
- CASTELLANO, P.; PÉREZ IBARRECHE, M.; BLANCO MASSANI, M.; FONTANA, C.; VIGNOLO, G.M. 2017. Strategies for Pathogen Biocontrol Using Lactic Acid Bacteria and Their Metabolites: A Focus on Meat Ecosystems and Industrial Environments. *Microorganisms*. 38(5):1-25. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030038>
- CHARTERIS, W.P.; KELLY, P.M.; MORELLI, L.; COLLINS, K. 1998. Antibiotic susceptibility of potential probiotic *Lactobacillus* species. *J. Food Protect.* 61(12):1636-1643. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-61.12.1636>
- COSSIO, D.S.; HERNÁNDEZ, Y.G.; MENDOZA, J.D. 2018. Development of probiotics for animal production. Experiences in Cuba Desarrollo de probióticos destinados a la producción animal: experiencias en Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 52(4):1.
- CRUEGER, W.; CRUEGER, A. 1993. *Biotecnología: Manual de Microbiología Industrial*. 3ª ed. Ed. Acribia (España). 432p.
- CUETO, C.; ARAGÓN, S. 2012. Evaluación del potencial probiótico de bacterias ácido lácticas para reducir el colesterol in vitro. *Scientia Agropecuaria*. 3(1):45-50. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.01.06>
- CUETO-VIGIL, M.C.; ACUÑA-MONSALVE, Y.; VALENZUELA-RIANO, J. 2010. Evaluación in vitro del potencial probiótico de bacterias ácido lácticas aisladas de suero costeño. *Actualidades biológicas*. 32(93):129-138.
- DUAR, R.M.; LIN, X.B.; ZHENG, J.; MARTINO, M.E.; GRENIER, T.; PÉREZ-MUÑOZ, M.E.; LEULIER, F.; GÄNZLE, M.; WALTER, J. 2017. Estilos de vida en transición: evolución e historia natural del género *Lactobacillus*. *FEMS Microbiol. Rev.* 41(Supl. 1):S27-S48. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux030>

12. DUBOIS, M.; GILES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Anal Chem.* 28(3):350-356.
13. EGAN, K.; FIELD, D.; REA, M.C.; ROSS, R.P.; HILL, C.; COTTER, P.D. 2016. Bacteriocins: Novel Solutions to Age Old Spore Related Problems? *Frontiers in Microbiology.* 7(461):1-21.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00461>
14. ELINALVA MACIEL, P.; VASCONCELOS, M.P.; OLIVEIRA, I.S.; AFFE, H.M.D.J.; NASCIMENTO, R.; MELO, I.S.D.; ROQUE, M.R.A.; ASSIS, S.A.D. 2012. An alternative method for screening lactic acid bacteria for the production of exopolysaccharides with rapid confirmation. *Food Science and Technology.* 32(4):710-714.
<https://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612012005000094>
15. EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, EFSA; EUROPEAN CENTRE FOR DISEASE PREVENTION AND CONTROL, ECDC. 2018. The European Union summary report on antimicrobial resistance in zoonotic and indicator bacteria from humans, animals and food in 2016. *EFSA Journal.* 16(2):e05182.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5182>
16. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO; WORLD HEALTH ORGANIZATION- WHO. 2002. Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Available from Internet in: https://www.who.int/foodsafety/fs_management/en/probiotic_guidelines.pdf
17. FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. 1999. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. *Chemical Engineering and Processing.* 38:525-532.
18. FRITZEN-FREIRE, C.; PRUDÊNÇIO, E.S.; AMBONI, R.D.; PINTO, S.S.; NEGRÃO-MURAKAMI, A.N.; MURAKAMI, F.S. 2012. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. *Food Research International.* 45:306e312.
19. GARCÍA, Y.; PÉREZ, T.; BOUCOURT, R.; BALCÁZAR, J.L.; NICOLI, J.R.; MOREIRA, J.; RODRÍGUEZ, Z.; FUERTES, H.; NUÑEZ, O.; ALBELO, N.; HALAIHEL, N. 2016. Isolation, characterization and evaluation of probiotic lactic acid bacteria for potential use in animal production. *Research in Veterinary Science.* 108:125-132.
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2016.08.009>
20. GONZÁLEZ, R.E.; MENDOZA, J.; MORÓN, L.B. 2015. Efecto de la Microencapsulación sobre la Viabilidad de *Lactobacillus delbrueckii* sometido a Jugos Gástricos Simulados. *Inf Tecnol.* 26(5):11-16.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000500003>
21. GUIMARÃES, D.P.; COSTA, F.A.A.; RODRIGUES, M.I.; MAUGERI, F. 1999. Optimización de la síntesis de dextrano e hidrólisis ácida mediante análisis de respuesta de superficie. *Revista Brasileira de Ingeniería Química.* 16(2):129-139.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66321999000200004>
22. GUTIÉRREZ-SARMIENTO, W.; VENTURA-CANSECO, L.M.; GUTIÉRREZ-MICELI, F.A.; LUJÁN-HIDALGO, M.C.; ABUD-ARCHILA, M.; RUÍZ-VALDIVIEZO, V.M. 2020. Optimización de producción de biomasa, ácido láctico y supervivencia a simulación gastrointestinal de *Lactobacillus plantarum* BAL-03-ITTG cultivado en biorreactor de tanque agitado. *Agrociencia.* 54(2):147-162.
23. HEREDIA-CASTRO, P.; HÉRNÁNDEZ-MENDOZA, A.; GONZÁLEZ-CÓRDOVA, A.; VALLEJO-CORDOBA, B. 2017. Bacteriocinas de bacterias ácido lácticas: mecanismos de acción y actividad antimicrobiana contra patógenos en quesos. *Interciencia.* 42(6):340-346.
https://doi.org/10.1093/ajcp/45.4_ts.493
24. JURADO GÁMEZ, H.; SINSAJOA TEPUD, M.; NARVÁEZ RODRÍGUEZ, M. 2019. Evaluación de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado y su viabilidad bajo condiciones gastrointestinales simuladas e inhibición frente a *Escherichia coli* O157:H7. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.* 66(3):231-244.
<https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n3.84260>
25. JURADO, H.; CALPA, F.; CHASPUENGAL, A. 2014. Determinación in vitro de la acción probiótica de *Lactobacillus plantarum* sobre *Yersinia pseudotuberculosis* aislada de *Cavia porcellus*. *Rev Fac Med Vet Zoot.* 61(3):241-257.
<http://dx.doi.org/10.15446/rfmvz.v61n3.46872>
26. JURADO, H.; JARRÍN, V.; PARREÑO, J. 2015. Crecimiento de *L. plantarum* y efecto sobre *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus* y *C. perfringens*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 13(2):57-66.
27. JURADO-GÁMEZ, H.; ZAMBRANO-MORA, E. 2020. Efecto de *Lactobacillus casei* microencapsulado sobre la salud intestinal y parámetros bioquímicos y productivos en pollo de engorde. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica.* 23(2):e1480.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1480>
28. KINGWATEE, N.; APICHARTSRANGKON, A.; CHAIKHAM, P.; WORAMETRACHANON, S.; TECHARUNG, J.; PANKASEMSUK, T. 2015. Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. *LWT - Food Science and Technology.* 62:847-853.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.007>

29. LANARA, L. 1981. Métodos microbiológicos. 3ªed. Ministerio de Agricultura (Brasilia).
30. LOWRY, O.; ROSEBROUG, N.; FAR, A.; RANDALL, R. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol Chem.* 193(1):265-275.
31. MCLINDEN, T.; SARGEANT, J.M.; THOMAS, M.K.; PAPADOPOULOS, A.; FAZIL, A. 2014. Component costs of foodborne illness: a scoping review. *BMC Public Health.* 14:509. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-509>
32. MONTALBAN-ARQUES, A.; DE SCHRYVER, P.; BOSSIER, P.; GORKIEWICZ, G.; MULERO, V.; GATLIN, D.M.; GALDINO-VILLEGAS, J. 2015. Selective manipulation of the gut microbiota improves immune status in vertebrates. *Front. Immunol.* 6:512. <http://dx.doi.org/10.3389/fimmu.2015.00512>
33. MONTEAGUDO-MERA, A.; RODRÍGUEZ-APARICIO, L.; RÚA, J.; MARTÍNEZ-BLANCO, H.; NAVASA, N.; GARCÍA-ARMESTO, M.R.; FERRERO, M.Á. 2012. *In vitro* evaluation of physiological probiotic properties of different lactic acid bacteria strains of dairy and human origin. *J Funct Foods.* 4:531-541. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.02.014>
34. NÁCHER VÁZQUEZ, M.; LÓPEZ, I.I.; NOTARARIGO, S.; FERNÁNDEZ, P.; FERNÁNDEZ, P. DE P.D.; AZNAR NOVELLA, R.; DUEÑAS CHASCO, M.T.; LÓPEZ GARCIA, P. 2016. Aplicaciones de los exopolisacáridos producidos por bacterias lácticas en la calidad y funcionalidad de los alimentos. En: Drider, D.; Rivera, V. Bacterias ácido lácticas. Fundamentos y aplicaciones. Alfaomega México. p.295-310.
35. PAIM, D.; COSTA, S.D.; WALTER, E.H.; TONON, R.V. 2016. Microencapsulation of probiotic jussara (*Enterpe edulis* M.) juice by spray drying. *LWT.* 74:21-25. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.022>
36. PULIDO, A.; BERISTAIN, C.I. 2010. Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersión, utilizando quitosano como material de pared. *Revista Mexicana de Ingeniería Química.* 9(2):189-195.
37. RODRÍGUEZ, R.Y.A.; ROJAS, G.A.F.; RODRÍGUEZ, B.S. 2016. Encapsulación de probióticos para aplicaciones alimenticias. *Biosalud.* 15(2):106-115. <https://doi.org/10.17151/biosa.2016.15.2.10>
38. RODRÍGUEZ, S.; MONTES, L.; RAMÍREZ, D. 2012. Microencapsulación de probióticos mediante secado por aspersión en presencia de prebióticos. *VITAE.* 19(1):186-188.
39. RODRIGUEZ-BARONA, S.; GIRALDO, G.; MONTES, L. 2016. Encapsulación de Alimentos Probióticos mediante Liofilización en Presencia de Prebióticos. *Inf. tecnol. La Serena.* 27(6):135-144. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000600014>
40. RUIZ, M.; COLELLO, R.; PADOLA, N.; ETCHEVERRÍA, A. 2017. Efecto inhibitorio de *Lactobacillus* spp. sobre bacterias implicadas en enfermedades transmitidas por alimentos, *Revista Argentina de Microbiología.* 49(2):174-177. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.10.005>
41. SÁNCHEZ DE RAMOS, M.; DE DÍAZ, C.G.; MORÁN, A.E. 2011. Identificación de *Escherichia coli* O157: H7 en muestras de heces de pacientes con enfermedad diarreica aguda y en muestras de carne comercializadas en supermercados de San Salvador, El Salvador. *Minerva Revista en Línea CIC-UES.* 2(1):28-34.
42. SÁNCHEZ, L.; OMURA, M.; LUCAS, A.; PÉREZ, T.; LLANES, M.; FERREIRA, C.L. 2015. Cepas de *Lactobacillus* spp. con capacidades probióticas aisladas del tracto intestinal de terneros neonatos. *Rev Salud Anim.* 37(2):94-104.
43. SCHUBERT, H. 1993. Instantization of powdered food products. *Int Chemical Engineering.* 33:28-45.
44. SVETOSLAV, D.T.; OTÁVIO, A.L.; DE PAULA, A.C.; CAMARGO, D.A.; LOPES, L.A. 2018. Combined effect of bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* ST8SH and vancomycin, propolis or EDTA for controlling biofilm development by *Listeria monocytogenes*. *Revista Argentina de Microbiología.* 50(1):48-55. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.011>
45. TAGG, J.R.; MCGIVEN, A.R. 1971. Assay system for bacteriocins. *Appl Microb.* 21(5):943.
46. TOLEDO, E.; FALCON, N.; FLORES, C.; REBATTA, M.; GUEVARA, J.; RAMOS, D. 2015. Susceptibilidad antimicrobiana de cepas de *Escherichia coli* obtenidas de muestras de heces de cerdos destinados a Consumo Humano. *Salud y Tecnología Veterinaria.* 3(2):35-40. <https://doi.org/10.20453/stv.v3i1.2823>
47. VERA-MEJÍA, R.; ORMAZA-DONOSO, J.; MUÑOZ-CEDENO, J.; ARTEAGA-CHÁVEZ, F.; SÁNCHEZ-MIRANDA, L. 2018. Cepas de *Lactobacillus plantarum* con potencialidades probióticas aisladas de cerdos criollos. *Revista de Salud Animal.* 40(2):e04.
48. WENDLANDT, S.; SHEN, J.; KADLEC, K.; WANG, Y.; LI, B.; ZHANG, W.J.; SCHWARZ, S. 2015. Genes de resistencia a múltiples fármacos en estafilococos de animales que confieren resistencia a agentes antimicrobianos de gran importancia y crítica en la medicina humana. *Tendencias en microbiología.* 23(1):4.



Biopelículas activas de extracto acuoso de *Gliricidia sepium* y su influencia en la vida útil microbiológica del queso costeño

Active biofilms of aqueous extract of *Gliricidia sepium* and its influence on the microbiological shelf life of coastal cheese

Rafael González-Cuello¹; Fidel Guardo-Palomino²; Somaris Quintana-Martínez³

¹Microbiólogo, M.Sc., Ph.D. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación en Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos (IFCRA). Cartagena - Bolívar, Colombia; e-mail: rgonzalezc1@unicartagena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2674-2876>

²Ing. de Alimentos. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación en Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos (IFCRA). Cartagena - Bolívar, Colombia; e-mail: fguardop@unicartagena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1854-8598>

³M.Sc. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación en Ingeniería de Fluidos Complejos y Reología de Alimentos (IFCRA). Cartagena - Bolívar, Colombia; e-mail: squintanam@unicartagena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-4716-0354>

Cómo citar: González-Cuello, R.; Guardo-Palomino, F.; Quintana-Martínez, S. 2021. Biopelículas activas de extracto acuoso de *Gliricidia sepium* y su influencia en la vida útil microbiológica del queso costeño. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1467. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1467>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: febrero 10 de 2020 **Aceptado:** enero 27 de 2021 **Editado por:** Rita María Ávila G. de Hernández

RESUMEN

La elaboración de biopelículas con propiedades bioactivas es un área interesante en el campo de los empaques alimentarios. El objetivo de este estudio fue obtener biopelículas activas (BPA) a base de extracto acuoso de hojas de *Gliricidia sepium* y determinar su efecto en la vida útil microbiológica del queso costeño. Para la fabricación de las BPA, el extracto acuoso fue microencapsulado, mediante gelación iónica y, posteriormente, incorporado en las biopelículas. La determinación de la vida útil de muestras de queso costeño, se llevó a cabo mediante microbiología predictiva, utilizando el modelo de Monod Hinshelwood. Las microcápsulas utilizadas tuvieron un diámetro promedio de 273,786µm. Los resultados mostraron un aumento en la vida útil microbiológica de 26,7 días, en quesos con BPA, almacenado a 7°C, en comparación con una muestra control

(sin BPA), confirmando que las BPA investigadas ejercen un efecto inhibitorio sobre los microorganismos, causantes de deterioro en quesos. Por tal motivo, la metodología aquí planteada puede ser una alternativa en la conservación de un producto perecedero, como el queso costeño.

Palabras clave: Biopolímeros; Microencapsulación; Gelación iónica; Productos lácteos.

ABSTRACT

The elaboration of biofilms with bioactive properties is an interesting area in the field of food packaging. The aim of this study was to obtain active biofilms (AB) based on aqueous extract of *Gliricidia sepium* leaves and determine their effect on the microbiological

shelf life of coastal cheese. For the manufacture of the AB, the aqueous extract was microencapsulated by means of ionic gelation and later incorporated in the biofilms. The coastal cheese's shelf life was carried out by means of predictive microbiology using the Monod Hinshelwood model. The microcapsules had an average diameter of 273.786 μ m. The results showed an increase in the microbiological shelf life of 26.7 days in cheeses with AB stored at 7°C compared with control sample (without AB) confirming that the AB investigated exerts an inhibitory effect on the microorganisms causing deterioration in cheeses. For this reason, the methodology proposed here can be an alternative in the conservation of a perishable product such as coastal cheese.

Keywords: Biopolymers; Microencapsulation; Ionic gelation; Dairy products.

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes intereses por parte de la industria alimenticia es la prolongación de la vida útil de los alimentos, sin comprometer su estructura, conservando las características propias, como el color, el aroma, el sabor y la textura, así como sus componentes nutricionales. Las biopelículas (BP), se presentan como una interesante alternativa para la conservación de los alimentos y solución frente a la problemática medio ambiental que polímeros sintéticos causan, debido a su prolongado periodo de degradación y toxicidad (González *et al.* 2016).

Existe una variedad de materiales empleados para el diseño de BP; entre los principales, se encuentran proteínas, lípidos, polisacáridos y sus mezclas (Costa *et al.* 2018). Dentro de los polisacáridos, el carragenato es uno de los más utilizados para el diseño de BP. Es un biopolímero lineal aniónico soluble en agua, obtenido a partir de algas rojas, que promueven la formación de geles, a través de un proceso de secado moderado, en el que se evapora el disolvente, formando una red tridimensional, a partir de la liberación de dobles hélices, formando una película sólida con capacidad de retención de agua y una estructura superficial homogénea (Gie *et al.* 2018; Osorio *et al.* 2017).

Las biopelículas activas (BPA) son un segmento interesante en el área de empaques, que consiste en la adición de compuestos activos con propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Arnon & Poverenov, 2018). Estos compuestos activos pueden ser extraídos de plantas, como el matarratón (*Gliricidia sepium*), un árbol caducifolio, perteneciente a la familia de las leguminosas, nativo de Meso América, Centroamérica y del norte de Sudamérica, que logra alcanzar alturas de hasta 12 metros (Patil *et al.* 2015). Dentro de su composición, se ha reportado la presencia de pinitol, cumarinas, hidrocarburos, flavonas, isoflavonas, pterocarpanos y flavonoides glucosídicos, en hojas y raíces (Kabore *et al.* 2012; Von Son-de Fernex *et al.* 2017). Entre sus aplicaciones, se encuentran propiedades bioactivas, como antioxidante, antimicrobiano e insecticidas (Patil *et al.* 2015; Ríos- De Álvarez *et al.* 2012; Sinha, 2013).

La desventaja de las BPA, se presenta al momento de su elaboración, en el que parte del compuesto activo se pierde producto de la evaporación, limitando, de esta forma, la acción antimicrobiana de la BPA (Peralta *et al.* 2015), por lo que se plantea proteger el principio activo, mediante la microencapsulación, dado que esta técnica permite retenerlo dentro de una membrana fuerte, semipermeable y esférica, con diámetros que van desde micras hasta 1mm (Cano *et al.* 2016; Castro-Rosas *et al.* 2017). De esta forma, el principio activo, se contiene por más tiempo, evitando las pérdidas por procesamiento, para luego liberarse de forma gradual y controlada en un medio definido, mediante tecnologías emergentes, como el ultrasonido.

El ultrasonido (US) es el nombre que reciben las ondas sonoras con frecuencias mayores a aquellas que pueden ser detectadas por el oído humano. Es una forma de energía que viaja en ondas de sonido iguales o mayores a 20.000 vibraciones por segundo (Hoover, 2000; Bermúdez-Aguirre & Barbosa-Cánovas, 2008; Rezek *et al.* 2008; Arroyo *et al.* 2011). El US ha sido utilizado ampliamente en procesos de extracción de compuestos, a partir de material vegetal (De Sousa *et al.* 2020). El principal efecto del US en los procesos de extracción es el incremento de la permeabilidad del material, que contiene el compuesto a extraer. A medida que la temperatura aumenta, se forman burbujas de cavitación, que colapsan y aumentan la presión, conllevando a una ruptura del material, facilitando la penetración del disolvente en la matriz, por tanto, hay un mayor contacto del disolvente con el analito, promoviendo una mayor solubilidad (Huang *et al.* 2019).

Por otra parte, el queso costeño es un producto autóctono de la Costa Caribe Colombiana, región que se caracteriza por una alta producción de leche bovina (aproximadamente, el 60% de la producción total del país). Se caracteriza por ser una variedad de queso no madurado, es decir, fresco, elaborado con leche de vaca sin pasteurizar, con un sabor salado entre moderado y fuerte (Ruíz *et al.* 2017). Al tratarse de un producto con alto porcentaje en producción artesanal con técnicas rudimentarias, en las que predominan las malas condiciones higiénico sanitarias en su procesamiento, se convierte en un producto alimenticio con alto contenido de microorganismos patógenos, como *Salmonella*, *L. monocytogenes* y *S. aureus*, causantes de intoxicación alimentaria (Frazier *et al.* 2003; Ruíz *et al.* 2017).

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia del ultrasonido en el desarrollo de BPA, a base de matarratón (*Gliricidia sepium*) y su incidencia en la vida útil microbiológica del queso costeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de extracto acuoso. Se recolectaron hojas verdes de *G. sepium* en el cerro de la popa, ubicado en la ciudad de Cartagena, a 148m s.n.m., en árboles de edad madura (14 a 20 años). Se realizó una clasificación, selección, lavado y desinfección de las hojas, en una solución de hipoclorito, a 200ppm, durante 5min. Posteriormente, fueron secadas por 4 días, a 32°C. La extracción del principio activo, se llevó a cabo mediante hidrodestilación por arrastre con vapor,

siguiendo la metodología propuesta por González *et al.* (2018), utilizando un sistema de destilación compuesto.

Microencapsulación. Las microcápsulas fueron elaboradas utilizando metodología propuesta por González *et al.* (2013), usando dispersiones poliméricas de Goma Gelana de bajo acilo (0,75% p/v) (Modernist Panty Kitchen Alchemy) y carbonato de calcio (30mM) en agua, bajo agitación constante (300rpm), a 90°C, por 15min. Luego, se dejó enfriar la preparación, con el fin de incorporar el EA (40% v/v) y evitar así la volatilización de los compuestos presentes en el extracto. Posteriormente, el proceso de gelificación, se realizó mediante la incorporación de δ -gluconolactona hasta alcanzar un pH de 4,2. A la dispersión polimérica, se le agregó aceite de canola en una proporción (1:2 v/v) (dispersión: aceite), bajo agitación constante por 15min, aumentado las revoluciones, formando una emulsión. Finalmente, el aceite es removido por adsorción y las microcápsulas contenidas en la fase acuosa fueron centrifugadas (Hamilton Bell VanGuard V6000) dos veces, a 5000rpm, durante 10min, con solución salina (0,85% NaCl) y almacenadas a 4°C, hasta su uso.

Determinación del diámetro de las microcápsulas. 100 μ L de microcápsulas fue utilizado para determinar el diámetro de las microcápsulas. La muestra fue diluida en una solución salina estéril en un portaobjetos y analizado en un microscopio óptico (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Kongsalee 9 - 21), integrado a una cámara digital. Las microfotografías obtenidas fueron procesadas con ayuda del programa de cómputo Zen Image Pro-Plus versión 4.

Obtención de biopelículas. Las BPA fueron realizadas por método de Casting, siguiendo la metodología propuesta por

González *et al.* (2018), empleando Kappa Carrageenan 0,35% p/v, como biopolímero y carbonato de Calcio (CaCO₃) 30mM, como donador de cationes. Los reactivos fueron disueltos en agua destilada conteniendo glicerol al 12% v/v (plastificante). Posteriormente, la mezcla fue sometida a calentamiento bajo agitación constante, por un periodo de 15min, a 90°C. Una vez transcurrido el tiempo, se dejó enfriar hasta 40°C y se adicionaron las microcápsulas (100 μ L) y δ -Gluconolactona, con el fin de liberar los cationes presentes en el carbonato y facilitar la gelificación del polímero. Para la formación de las BPA, se adicionaron volúmenes específicos (10mL) de cada solución en cajas de Petri. Luego, se realizó el secado en una incubadora (memmert IN 160), a 40°C, durante 72 horas, aproximadamente, asegurando la uniformidad de las BPA.

Aplicación de ultrasonido. Las BPA con área conocida fueron sometidas a tratamiento ultrasónico 40KHz, 40°C, por 10min, en un baño ultrasónico (Labware Scientific Model KSL5120-5). Esta relación de potencia temperatura y tiempo seleccionada, se basó en estudios cinéticos de liberación principios activos, llevados a cabo en el grupo de investigación.

Estimación de la vida útil microbiológica. Para determinar la funcionalidad de las BPA sobre el queso costeño, se llevó a cabo la estimación de la vida útil microbiológica de esta matriz alimentaria. Tres cinéticas de crecimiento a distintas temperaturas (7 - 37°C) fueron construidas por triplicado, reportando el promedio aritmético de los 15 puntos utilizados. Las bacterias aerobias mesófilas fueron usadas como microorganismos indicadores. Es importante destacar que los datos de las cinéticas se modelaron matemáticamente, mediante la ecuación de Baranyi & Roberts (1994) (Ecuación 1), por medio del programa de cómputo DMFit 2.0:

$$y(t) = y_0 + \mu_{\max}t + \frac{1}{\mu_{\max}} \ln(e^{-vt} + e^{-h_0} - e^{-vt-h_0}) - \frac{1}{m} \ln \left[1 + \frac{e^{m\mu_{\max}t + \frac{1}{\mu_{\max}} \ln(e^{-vt} + e^{-h_0} - e^{-vt-h_0})} - 1}{e^{m(y_{\max} - y_0)}} \right] \quad \text{ecuación 1}$$

Donde, $y(t)$ es la concentración celular o el diámetro de las colonias, y_0 es la concentración o diámetro inicial, μ_{\max} es la velocidad específica de crecimiento (1/h), m es un parámetro de curvatura para caracterizar la transición de la fase exponencial, v es un parámetro de curvatura para caracterizar la transición a la fase exponencial y h_0 es un parámetro adimensional que cuantifica el estado fisiológico inicial de las células. Una vez obtenidos los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano, se procedió a estimar la vida útil microbiológica utilizando la ecuación de Monod-Hinshelwood (Ecuación 2) (González *et al.* 2016).

$$ts = \frac{\log N_s - \log N_0}{\log 2} \times T_d \quad \text{ecuación 2}$$

Donde, ts es el tiempo necesario para que se desarrolle la alteración en el alimento, N_s (ufc/g) es el valor correspondiente a la población de seguridad (valor máximo permisible antes de considerarse alterado el producto), N_0 (ufc/g) es el valor correspondiente a

la población inicial presente en el producto y T_d es el tiempo de duplicación de la población alterante específica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetro de las microcápsulas. La microscopía óptica reveló la forma de las microcápsulas obtenidas con gelana de bajo acilo. En la figura 1, se aprecian estructuras esféricas rígidas bien definidas después de los procesos de centrifugación, que tienen lugar en la etapa de separación de las microcápsulas; este tipo de estructuras son originadas por la reacción de los iones divalentes con los grupos carboxilo de las moléculas de gelana (Chandrasekaran & Thailambal, 1990; Sanderson, 1990).

En cuanto a los diámetros de las microcápsulas, se obtuvieron valores promedios de $273,768 \pm 0,564 \mu\text{m}$ y un área promedio de $60685,893 \mu\text{m}^2$. Es importante resaltar que estos valores fueron



Figura 1. Micrografías de microcápsulas con aumento de 100X.

calculados a partir de cinco repeticiones por microfotografía. El tamaño de las microcápsulas es un aspecto relevante cuando son incorporadas a matrices alimentarias, ya que el tamaño puede afectar las características sensoriales de los productos alimenticios (Tyle, 1993). Además, la adición de microcápsulas en biopelículas conlleva a una modificación de las propiedades mecánicas y reológicas de las mismas, como fue previamente reportado por González *et al.* (2018).

Microcápsulas con diámetros grandes ofrecen un mayor porcentaje de encapsulación y protección del compuesto activo, pero una pobre dispersión en el medio; por otro lado, diámetros muy pequeños, dan como resultado microcápsulas huecas y con baja eficiencia de encapsulación (Zhao *et al.* 2008). Un diámetro óptimo para las microencapsulaciones, se sitúa entre un máximo de 1mm y un mínimo de 80 μ m (Cano *et al.* 2016; Castro-Rosas *et al.* 2017).

Estimación de vida útil microbiológica. Este parámetro, se puede determinar mediante la estimación de los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano del microorganismo indicador, previo modelado de los datos, utilizando la ecuación de Baranyi & Roberts (1994). Los valores obtenidos en la estimación de la vida útil microbiológica, se presentan en la tabla 1, donde se puede apreciar que, el mayor tiempo de vida útil (42,8 días), se encontró en muestras de queso recubiertas con la BPA, mientras que las muestras de queso sin BPA mostraron una vida útil de 16,1 días. Este resultado puede ser atribuido a la presencia de compuestos con características antimicrobianas presentes en el extracto acuoso

de *G. sepium*. Es notable destacar que la bioactividad (antioxidante, antimicrobiana, antifúngica e insecticida) de esta legumbre ha sido reportada previamente (Nazli *et al.* 2011; Sinha, 2013). En la figura 2, se observa la velocidad de cinética de crecimiento microbiano en queso costeño en un rango de temperaturas de 7 a 37°C, demostrando que la aplicación de la BPA es capaz de incrementar el tiempo de duplicación en las temperaturas evaluadas, conllevando al mencionado aumento en la vida útil microbiológica, debido a una disminución en los tiempos de duplicación celular.

De acuerdo con la resolución 02310 de 1986, capítulo XVIII, artículo 129 del Ministerio de Salud de la República de Colombia, el queso fresco refrigerado en empaque hermético tiene una duración sanitaria aproximada de 18 días y refrigerado empacado al vacío, de 30 días. Considerando los resultados obtenidos en la presente investigación, la aplicación de BPA, a base de goma gelana y conteniendo microcápsulas cagadas con extracto acuoso, logra incrementar la vida útil del queso 26,7 días, aproximadamente. Estos resultados son similares a los publicados por Gorrasi *et al.* (2016), quienes reportaron un incremento de 20 días en la vida útil microbiológica en queso mozzarella, empacados en un recubrimiento activo, diseñado a partir de tereftalato de polietileno (PET) e hidróxido doble en capas (LDH), intercalado con aniones de salicilato y carbonato dispersos en un sellado térmico, a base de solvente.

En términos generales, la aplicación de BPA conteniendo extracto acuoso de *G. sepium* logra incrementar la vida útil microbiológica

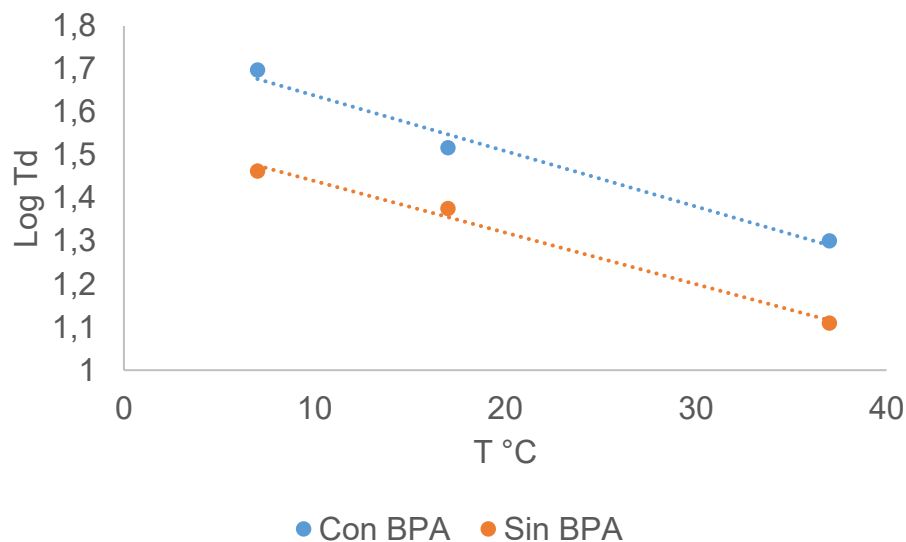


Figura 2. Velocidad de cinética de crecimiento microbiano en queso costeño a diferentes temperaturas, sin biopelícula y con biopelícula activa.

Tabla 1. Valores de estimación de vida útil en queso costeño, sin biopelícula y con biopelícula activa.

	Ecuación	R ²	Días
Sin BPA	$\text{Log}_{10} \text{Td} = -0,012x + 1,5596$	0,991	16,1
Con BPA	$\text{Log}_{10} \text{Td} = -0,0129x + 1,7671$	0,980	42,8

del queso costeño. Cabe mencionar que no existen muchas investigaciones relacionadas con queso costeño y la determinación de su vida útil microbiológica. En investigaciones futuras, se considera pertinente determinar los compuestos responsables de la mencionada actividad antimicrobiana, así como realizar estudios sobre la aceptación sensorial de los quesos recubiertos y evaluar la influencia de otros tipos métodos de extracción de compuestos bioactivos, así como otras fuentes vegetales.

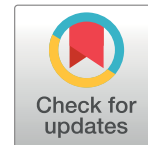
Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue llevada a cabo en la Universidad de Cartagena.

REFERENCIAS

- ARNON, R.; POVERENOV, E. 2018. Improving food products' quality and storability by using Layer-by-Layer edible coatings. *Trends in Food Science & Technology*. 75:81-92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.003>
- ARROYO, C.; CEBRIÁN, G.; PAGÁN, R.; CONDÓN, S. 2011. Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by ultrasonic waves under pressure in buffer and foods. *Internal J. Food Microbiology*. 144(3):446-454. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.10.033>
- BARANYI, J.; ROBERTS, T. 1994. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *Internal J. Food Microbiol.* 23(3-4):277-294.
- BERMÚDEZ-AGUIRRE, D.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. 2008. Study of butter fat content in milk on the inactivation of *Listeria innocua* ATCC 51742 by thermo-sonication. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9(2):176-185. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.07.008>
- CANO, E.; CHÁFER, N.; CHIRALT, B.; MOLINA, P.; BORRÁS, L.; BELTRÁN, M.; GONZÁLEZ, M. 2016. Quality of goat's milk cheese as affected by coating with edible chitosan essential oil films. *International J. Dairy Technology*. 70(1):68-76. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12306>

6. CASTRO-ROSAS, J.; FERREIRA-GROSSO, C.R.; GÓMEZ-ALDAPA, C.A.; RANGEL VARGAS, E.; RODRÍGUEZ-MARIN, M.L.; GUZMÁN-ORTIZ, F.A.; FALFAN-CORTES, R.N. 2017. Recent advances in microencapsulation of natural sources of antimicrobial compounds used in food - A review. *Food Research Internal*. 102:575-587.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.054>
7. CHANDRASEKARAN, R.; THAILAMBAL, V.G. 1990. The influence of calcium ions, acetate and L-glycerate groups on the gellan double-helix. *Carbohydrate Polymers*. 12:431-442.
[https://doi.org/10.1016/0144-8617\(90\)90092-7](https://doi.org/10.1016/0144-8617(90)90092-7)
8. COSTA, M.L.; MACIEL, L.C.; TEIXEIRA, J.A.; VICENTE, A.A.; CERQUEIRA, M.A. 2018. Use of edible films and coatings in cheese preservation: Opportunities and challenges. *Food Research Internal*. 107:84-92.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.013>
9. DE SOUSA, C.; DOS ANJOS, G.; NOBREGA, R.; MAGATON, A.; MIRANDA, F.; DIAS, F. 2020. Greener ultrasound-assisted extraction of bioactive phenolic compounds in *Croton heliotropiifolius* Kunth leaves. *Microchemical Journal*. 159:105-525.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105525>
10. FRAZIER, W.; WESTHOFF, D. 2003. *Microbiología de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. p.371-401.
11. GIE, L.; OLA, L.; NAZAMID, S.; KHAIRUNNIZA, B. 2018. Effect of chitosan and carrageenan-based edible coatings on post-harvested longan (*Dimocarpus longan*) fruits. *J. Food*. 16(1):490-497.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1414078>
12. GONZÁLEZ, C.; CERVANTES, Y.; CARABALLO, L. 2016. Conservación de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en postcosecha mediante un recubrimiento comestible binario. *Temas Agrarios*. 21(1):54-64.
13. GONZÁLEZ, C.; GUARDO, P.; SÁNCHEZ, C.; ALVEAR, P.; GARCÍA, Z. 2018. Effect of *Schinopsis balansae*, *Gliricidia sepium*, aqueous extract and ultrasound on viscoelastic behavior of edible film. *Contemporary Engineering Sciences*. 11(47):2307-2315.
<https://doi.org/10.12988/ces.2018.85216>
14. GONZÁLEZ, R.; SALAZAR, J.; PÉREZ, J. 2013. Obtaining size-controlled microcapsules by ionic gelation with high and low acyl gellans containing *Lactococcus lactis*. *Rev. Col. Biotecnología*. 15(2):82-97.
<http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v15n2.35808>
15. GORRASI, G.; BUGATTI, V.; TAMMARO, L.; VERTUCCIO, L.; VIGLIOTTA, G.; VITTORIA, V. 2016. Active coating for storage of Mozzarella cheese packaged under. *Food Control*. 64:10-16.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.12.002>
16. HOOVER, G. 2000. Ultrasound. *J. Food Sci. Supplement Kinetics of microbial inactivation for alternative. Food processing technologies*. 65(8):93-95.
17. HUANG, H.; XU, Q.; BELWAL, T.; LI, L.; AALIM, H.; WU, Q.; DUAM, Z.; ZHANG, X.; LUO, Z. 2019. Ultrasonic impact on viscosity and extraction efficiency of polyethylene glycol: a greener approach for anthocyanins recovery from purple sweet potato. *Food Chem*. 283:59-67.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.017>
18. KABORE, A.; TRAORE, A.; NIGNAN, M.; GNANDA, B.I.; BAMOGO, V.; TAMBOURA, H.H.; BELE, M.A.M.G. 2012. In vitro anthelmintic activity of *Leuceana leucocephala* (Lam.) De Wit. (Mimosaceae) and *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud (Fabaceae) leave extracts on *Haemonchus contortus* ova and larvae. *J. Chem. Pharma*. 4(1):303-309.
19. MINISTERIO DE LA SALUD, MINSALUD. 1986. Resolución número 02310 de 1986 del 24 febrero 1986 "Por la cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979, en lo referente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los derivados lácteos.
20. NAZLI, R.; SOHAIL, T.; NAWAB, B.; YAQREEN, Z. 2011. Antimicrobial property of *Gliricidia sepium* plant extract Pakistan. *Journal of Agricultura Res*. 24(1-4):51-55.
21. OSORIO, E.; GÓMEZ, V.; OSORIO, E.; OSSA, O. 2017. Preparation of carrageenan biofilms mixed with silver nanoparticles by biological synthesis method. *Dyna*. 84(201):82-87.
<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55702>
22. PATIL, S.A.; PRABHAKARA, C.; HALASANGI, B.; TORAGALMATH, S.; BADAMI, S. 2015. DNA cleavage, antibacterial, antifungal and anthelmintic studies of Co (II), Ni(II) and Cu(II) complexes of coumarin Schiff bases: synthesis and spectral approach. *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spec*. 137:641-651.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.08.028>
23. PERALTA, M.; ODILIA, A.; HIGUERA, B.; SOTO, V.; ACEDO, F. 2015. Fabrication of an antimicrobial active packaging and its effect on the growth of pseudomonas and aerobic mesophilic bacteria in chicken. *Vitae*. 22(2):111-120.
<https://dx.doi.org/10.17533/udea.vitae.v22n2a05>

24. REZEK, J.; MASON, J.; VESNA, L.; ZORAN, H.; LJUBIĆ, H. 2008. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *J. Food Engineering*. 86(2):281-287.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.004>
25. RÍOS- DE ÁLVAREZ, L.; JACKSON, F.; GREER, A.; BARTLEY, Y.; BARTLEY, D.J.; GRANT, G.; HUNTLEY, J.F. 2012. In vitro screening of plant lectins and tropical plant extracts for anthelmintic properties. *Veterinary Parasitology*. 186(3-4):390-398.
<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.11.004>
26. RUÍZ, P.; Menco, M.; CHAMS, C. 2017. Microbiological evaluation of artisan coastal cheese and hygieniclocative evaluation of small shops in Córdoba, Colombia. *Rev. Salud Pública*. 19(3):311-317.
<http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v19n3.54853>
27. SANDERSON, G.R. 1990. Gellan gum. In: Harris, P. (Ed). *Food gels*. Elsevier Applied Science (New York). p.201-231.
28. SINHA, S.N. 2013. Phytochemical profiles and antioxidant activities of the leaf extracts of *Gliricidia sepium*. *Internal J. Innovations in Bio-Sciences*. 3(3):87-91.
29. TYLE, P. 1993. Effect of size, shape and hardness of particles in suspension on oral texture and palatability. *Acta Psychologica*. 83:111-118.
30. VON SON-DE FERNEX, E.; ALONSO DÍAZ, M.A.; VALLES DE LA MORA, B.; MENDOZA DE GIVES, P.; GONZALEZ CORTAZAR, M.; ZAMILPA A. 2017. Anthelmintic effect of 2H-chromen-2-one isolated from *Gliricidia sepium* against *Cooperia punctata*. *Experimental Parasitology*. 178:1-6.
<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2017.04.013>
31. ZHAO, R.; SUN, J.; TORLEY, P.; WANG, D.; NIU, S. 2008. Measurement of particle diameter of *Lactobacillus acidophilus* microcapsule by spray drying and analysis on its microstructure. *World Journal of Microbiology Biotechnology and Biotechnology*. 24:1349-1354.
<https://doi.org/10.1007/s11274-007-9615-0>



Effect of process variables on the physicochemical and rheological properties of yogurt

Efecto de las variables de proceso sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas de yogur

Héctor J. Paz-Díaz¹; Lia Z. Mora-Vergara²; Cristian E. Navarro-Arana³; Alba Sofia Navarro⁴; Mónica María Pacheco-Valderrama⁵

¹Agroindustrial Engineer, Spc. Workplace Health and Safety, Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ. Barrancabermeja - Santander, Colombia; e-mail: hector.paz@unipaz.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3278-7667>

²Biological Engineer, Spc. Environmental Sanitation Engineering, Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ. Barrancabermeja - Santander, Colombia; e-mail: lia.mora@unipaz.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-0300-2813>

³B.A. in English Language Teaching, Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ. Barrancabermeja - Santander, Colombia; e-mail: edgardo.navarro@unipaz.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1090-2839>

⁴Chemist, Ph.D. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos, CIDCA, Universidad Nacional de La Plata, Argentina; e-mail: albanavarro@conicet.gov.ar; <http://orcid.org/0000-0002-7180-3551>

⁵Food Engineer, M.Sc. Food Science and Technology, Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ. Barrancabermeja - Santander, Colombia; e-mail: monica.pacheco@unipaz.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-2051-4589>

How to cite: Paz-Díaz, H.J.; Mora-Vergara, L.Z.; Navarro-Arana, C.E.; Navarro, A.S.; Pacheco-Valderrama, M.M. 2021. Effect of process variables on the physicochemical and rheological properties of yogurt. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1922. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1922>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education.

Received: May 18, 2020 **Accepted:** April 16, 2021 **Edited by:** Rita María Ávila G. de Hernández

ABSTRACT

In this research, the effect of the lactic starter culture, the fermentation time, the incubation temperature and the percentage of fat on the firmness and consistency of a fermented milk drink was evaluated through physicochemical characteristics of total acidity, pH, syneresis and flow behavior. The purpose was to find the best formulation that extends the shelf life of yogurt, leading to an improvement in the manufacturing process of a local dairy company in Barrancabermeja (Santander, Colombia). Quality criteria were evaluated by means of the percentage of acidity and pH of the yogurt, as well as its syneresis and rheological parameters during a storage time of 24 hours and 7 days in refrigeration. Acceptable

quality parameters were obtained for the yogurt prepared with an inoculum concentration of 2%, an incubation temperature of 40°C and an incubation time of 150 minutes. In addition, better properties of firmness and consistency were found, with absence of syneresis and viscosity in the accepted range, for this dairy product.

Keywords: Acidity; Lactic culture; Syneresis; Viscosity; Yogurt.

RESUMEN

En esta investigación, se evaluó el efecto del cultivo iniciador láctico, el tiempo de fermentación, la temperatura de incubación y el porcentaje de grasa en la firmeza y consistencia de una bebida

de leche fermentada, a través de las características fisicoquímicas de acidez total, pH, sinéresis y comportamiento de flujo. El propósito fue encontrar la mejor formulación que extienda la vida útil del yogur, lo que lleva a un perfeccionamiento del proceso de fabricación de una empresa local de productos lácteos en Barrancabermeja (Santander, Colombia). Se evaluaron criterios de calidad por medio del porcentaje de acidez y pH del yogur, así como su sinéresis y parámetros reológicos, durante un tiempo de almacenamiento de 24 horas y de 7 días en refrigeración. Se obtuvieron parámetros de calidad aceptables para el yogur, preparado con una concentración del inóculo de 2%, una temperatura de incubación de 40°C y un tiempo de incubación de 150 minutos. Además, se encontraron mejores propiedades de firmeza y de consistencia, con ausencia de sinéresis y viscosidad en el rango aceptado, para este producto lácteo.

Palabras clave: Acidez; Cultivo láctico; Sinéresis; Viscosidad; Yogur.

INTRODUCTION

Milk and dairy products have an important role in the human diet due to their many beneficial nutrients such as proteins, sugars, minerals, and water-soluble vitamins (Barkallah *et al.* 2017). Besides, dairy products, mainly fermented milk, are the most popular vehicles for supplementation and probiotics delivery in the human body due to their good compatibility, their pleasant and attractive sensory profile, and their high consumption worldwide (Heydari *et al.* 2018). Furthermore, in all its derivatives presentations that include low-fat yogurts, probiotics, smoothies, firm, ice cream, yogurt mousse (Casarotti *et al.* 2014; Ramírez & Ruiz, 2014), several health benefits such as anticarcinogenic and anti-infection effects are offered, improving immune system, cholesterol reduction, relief of lactose intolerance and/or reduction of antibiotic side effects in the consumer (Heydari *et al.* 2018). The essential microorganisms used in the production of yogurt are *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* (Pancar *et al.* 2016) as well as bifidobacteria which are bacterial species considered as possible probiotics (Panesar & Shinde, 2012; Kailasapathy, 2006). The latter are live microorganisms that if they are administered in adequate amounts, they provide health benefit on the host (Hill *et al.* 2014).

The traditional yogurt manufacturing process is mainly based on the microbial acidification of milk, due to lactic acid bacteria, which feed on milk lactose, generating lactic acid. Consequently, they reduce the pH of the milk to 4.5, reaching the isoelectric point of the protein (casein), which coagulates, and yogurt is obtained (Vera & Rodríguez, 2013) with its lactic flavor and typical aroma (Andrade *et al.* 2010). The acidification stage is the one that demands more time; therefore, accelerating the fermentation process would allow increasing the production capacity (Sahan *et al.* 2008; Vera & Rodríguez, 2013). However, there are other factors that influence on this such as milk composition, dry matter, heating, homogenization, type of initial culture, incubation temperature, final fermentation pH, cooling, storage time, among others (Kücükçetin, 2008). One of the most important attributes in yogurt is texture or firmness because it determines the quality and approval of the product. Thus, proper firmness without syneresis is essential to obtain a higher

quality yogurt (Joon *et al.* 2017). Likewise, yogurt can have two main defects: variation in viscosity and spontaneous separation of whey that appears on the surface of yogurt (syneresis) (Hematiyar *et al.* 2012); the latter situation is associated with the manufacture of industrial yogurt causing the loss of water from the yogurt gel (Pancar *et al.* 2016).

One of the most important aspects of this study is the use of lactic acid bacteria, which plays an essential role in yogurt manufacture. Therefore, if the inoculum level is increased in the presence of enough substrate, acidification occurs in less time (Vera & Rodríguez, 2013). For this investigation semi-skimmed (2.6%) and fat-free (0%) milk are used for the yogurt process considering that several studies indicate that the fat content of yogurt alters its rheological and sensory characteristics (Sandoval-Castilla *et al.* 2004). This fact is due to that in the structuring process, fatty globules interact with the protein network that acts as protein binding agents (Sandoval-Castilla *et al.* 2004). Hence, low-fat and fat-free dairy products exhibit a weak body, poor texture and therefore whey separation as the total fat and solid contents are reduced (Delikanli & Özcan, 2014). In the same way, different levels of inoculum are established to evaluate the reduction of the fermentation time. Thus, the temperature, which is a very important factor, must be considered. The genus *Streptococcus* has an optimal growth between 42 and 45°C and *Lactobacillus* between 40 and 43°C, considering that they act in symbiosis and both stimulate each other. Investigations on the effect of different incubation temperatures (37, 40, 43 and 45°C) stated that it is possible to significantly reduce the fermentation time by increasing the temperature, taking into account that at temperatures greater than 45°C the lactic acid bacteria decrease their acidification power (Vera & Rodríguez, 2013).

The purpose of this study was to evaluate and to compare the effect of the type of milk, lactic culture, fermentation time and incubation temperature on pH, acidity, syneresis, viscosity and general acceptability in beaten yogurt under refrigerated storage conditions.

MATERIALS AND METHODS

Materials. skim milk with 0% fat and semi-skim milk with 2.6% fat were used. The stock solution used for the preparation of yogurt contained the microorganisms *L. bulgaricus*, *S. thermophilus*, and probiotic culture *L. casei* and *L. acidophilus*.

Yogurt preparation. fresh and pasteurized milk (fat percentages of 0 and 2.6) were subjected to a thermal process to reach 30°C and then, sugar (10% w/w) was added. Subsequently, the mixture was homogenized at higher temperature (36 and 40°C for each combination) and inoculated with stock culture (2 and 2.5%). At the end of the inoculation the samples were incubated for a period of 120 min and 150 min (at temperatures of 36 and 40°C). At the end of the incubation, the yogurt was stored at 4°C for 7 days. The analyses were performed at the end of the incubation, at 24h and 7 days after cooling (at 4°C) in the Laboratory of Agroindustrial Biotechnology of the Instituto Universitario de la Paz, UNIPAZ.

Physicochemical analysis. the pH values of the samples were measured using a pH meter (HACH HQ11d, Loveland, Colorado, U.S.A.) previously calibrated. The titratable acidity of yogurt was determined by taking a 10 mL sample of yogurt and holder with 0.1 N of NaOH using 1% phenolphthalein as an indicator until a weak pink color is obtained. Titratable acidity was calculated as % lactic acid (% w/v) (Horwitz, 2000) using equation 1.

$$\% \text{ Lactic Acid} = \left(\frac{V * N * 0,09}{m_s} \right) * 100 \quad \text{equation 1}$$

Where V is the volume of NaOH spent, N is the normal concentration of NaOH used (0.01 N) and m_s is the mass of the yogurt sample used.

The density was determined by a gravimetric method using glass pycnometers where the empty pycnometer, pycnometer with distilled water and the pycnometer with yogurt are weighed, and the density value is obtained with equation 2:

$$\rho_{\text{yogurt}} = \frac{\text{Weight}_{\text{pic+yogurt}} - \text{Weight}_{\text{empty pic}}}{\text{Weight}_{\text{pic+water}} - \text{Weight}_{\text{empty pic}}} \quad \text{equation 2}$$

Total soluble solids were found using a manual refractometer (BRIXCO INSTRUMENTS, 0-90%) (AOAC, 1998).

Syneresis assay: the syneresis was determined at 120 and 150 min of incubation and at 24 h and 7 days of yogurt incubation through the method of Cárdenas *et al.* (2013): 10 g of sample were put in a

centrifuge tube that was centrifuged at 5000 rpm for 20 min. The supernatant weight was used to calculate the percentage of syneresis employing equation 3:

$$\text{Syneresis} = \frac{\text{supernatant weight}}{\text{Sample weight}} * 100 \quad \text{equation 3}$$

Flow behavior. the Brookfield DV-I digital viscosimeter (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Massachusetts, U.S.A.) was used to determine the rheological parameters. Measurements were made at different shear rates of 50 to 100 rpm using 350 mL of the product stored at different storage times (24 h and 7 days) and incubation times (120, 150 min). The samples were placed in 400 mL glasses, and the HA / HB-2 needle was used in all systems.

Experimental design. the experimental design was established to analyze the interactions between the dependent variables and to understand the phenomenon under study. In this way, a multivariate arrangement was made $2^k = \text{treatments } (2^4)$ using two levels (minimum and maximum) and four factors (k) corresponding to % fat (A), % starter culture (B), incubation temperature (C), incubation time (D) (Table 1). Statistical analysis was performed using Minitab software version 17 (State College, Pennsylvania, U.S.A), using a level of significance of $P < 0.05$ for the analysis of variance (ANOVA). All physicochemical analyzes were performed in triplicate and the results were expressed as the average of the data. The entire methodological procedure was carried out under a strict sterilization protocol to avoid possible cross contamination and unwanted microbiological growths.

Table 1. Experimental design.

Factors	Levels		Variable response	
A) Fat content	0 % (-)		pH of the final product - fermented milk beverage - Yogurt	
	2.6 % (+)			
B) Inoculum concentration	2 % (-)			
	2.5 % (+)			
C) Incubation Temperature	36 °C (-)			
	40 °C (+)			
D) Incubation Time	120 min (-)			
	150 min (+)			
Treatment	Factor			
	A	B	C	D
T1	-	-	-	-
T2	+	-	-	-
T3	-	+	-	-
T4	+	+	-	-

Continuación Tabla 1

T5	-	-	+	-
T6	+	-	+	-
T7	-	+	+	-
T8	+	+	+	-
T9	-	-	-	+
T10	+	-	-	+
T11	-	+	-	+
T12	+	+	-	+
T13	-	-	+	+
T14	+	-	+	+
T15	-	+	+	+
T16	+	+	+	+

The significant effects are A:% Fat; C: T°C Incubation; AxC:% Fat Vs. T°C Incubation; CxD: T°C Incubation Vs. Incubation Time; AxBxD: % Fat Vs.% Culture Vs. T°C Incubation; AxBxCxD: % Fat Vs.% Culture Vs. T°C Incubation Vs. Incubation Time.

RESULTS AND DISCUSSION

Physicochemical analysis. Figure 1 and 2 show the variation in pH and acidity from the end of the incubation period and during the storage period (24 h and 7 days), for each fat content of the milk.

The behavior of pH and acidity of the yogurt measured 24 h after stored at 4°C (Figure 1) does not follow a clear tendency, which

determines that there must be a different factor than those studied which directly affects this variation in pH.

On the other hand, the acidity maintains an increasing behavior except for the case of skim milk with an incubation time of 120 min, due to the lower conversion of lactose, possibly time was not enough for the proper fermentation process. In comparison with the data obtained just at the end of the incubation, there is no definite

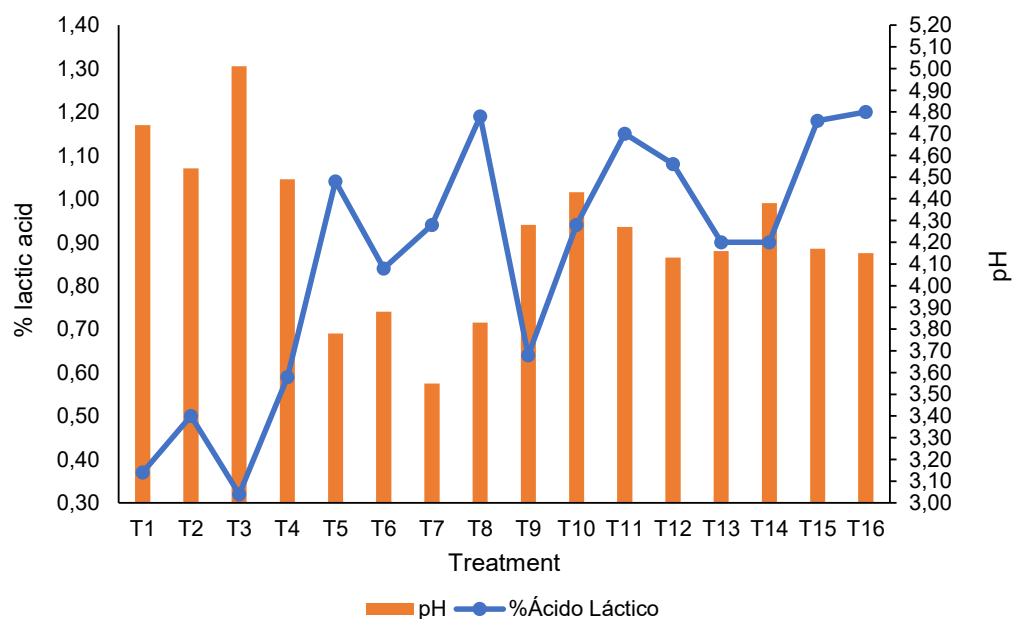


Figure 1. pH (bars) and acidity (red lines) of yogurt treatments measured after 24 h of incubation (n=3).

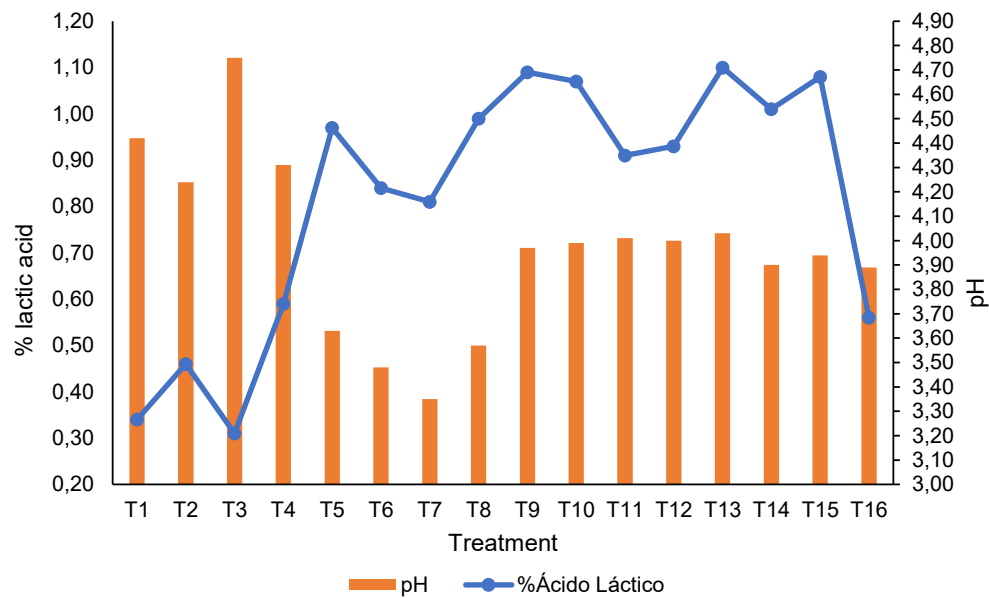


Figure 2. pH (bars) and acidity (red lines) of yogurt treatments measured after 7 days in storage (n=3).

trend that allows concluding some effect between the storage time and the pH of the yogurt. The treatments T5 to T8, in which the pH increases 24 h after the end of the incubation, and the treatments T9 to T16, where the pH decreases, stand out from the rest.

The tendency to decrease the pH can be attributed to both the activity of beneficial and harmful microorganisms. The latter can lead to a decrease in pH due to the consumption of sugar and the production of organic acids. When the sugar resources are finished, microorganisms consume proteins from the environment, and this will increase the pH as investigated by Shahbandari *et al.* (2016). Also, in general acidity shows an increasing tendency in all treatments, 24 h after finished the incubation process.

Figure 2 shows the samples behavior after 7 days of storage under refrigeration conditions. The reduction in pH and the increase in the total acidity of yogurts during storage could possibly be explained due to the increased consumption of residual lactose by lactic acid bacteria (Curti *et al.* 2017).

Other studies reported that the pH of yogurt decreased during storage under refrigeration conditions between 3.8 and 4.5 (Olson & Aryana, 2008). The reduction in the pH of yogurt may be due to the degradation of lactose in lactic acid (Hassan & Amjad, 2010). Considering the experiments carried out, the best working variables were selected: temperature (40°C), incubation time (150 min) and inoculum concentration (2%), with a refrigeration storage period of 7 days.

In the present investigation the variables that most affect the response variable (pH) are the incubation time (D) and the incubation temperature (C); especially the combination of incubation

temperature with incubation time. The best treatment, to maintain a pH up to 4.5 after 24 h and 7 days of incubation, would be an incubation temperature of 40°C and incubation time of 150 min.

Although the variables of % fat and % inoculum do not significantly affect the response variables as shown by the Pareto chart (Figure 3), the normal graph and the p values (which for these two variables are greater than $\alpha = 0.05$ ($p > 0.05$)), a % fat of 0% and an inoculum concentration of 2% are recommended.

Syneresis behavior: syneresis is an appreciable defect briefly, due to the appearance of two phases, whey, and water. Among the main causes of this behavior are low milk quality, very high incubation temperature, low acidity, enzymes that clot the protein and low viscosity. In this study, the consistency and stability of yogurt were analyzed through the calculation of syneresis. On treatments T1, T2, T3, T9, T10, T11, and T12 there was no syneresis in any of the samples. The results of syneresis converge as in the physicochemical analysis, in which the optimal working factors are 2% of the stock culture and incubation temperature 40°C.

Figure 4 shows the results for the other treatments where the highest point of syneresis was obtained in the T13 treatment corresponding to 0% fat milk, 2% stock culture, incubation temperature 40°C and incubation time 150 min. At incubation temperature of 40°C, a trend is revealed, at a shorter incubation time, the quality of yogurt would be better after 7 days in storage.

The syneresis values may increase as the pH decreases because the yogurt continues to produce lactic acid during storage (Rebollar, 2017), it should be mentioned that the pH of treatment 13 ranges by 4.2 and may affect the stability of the structural network of the

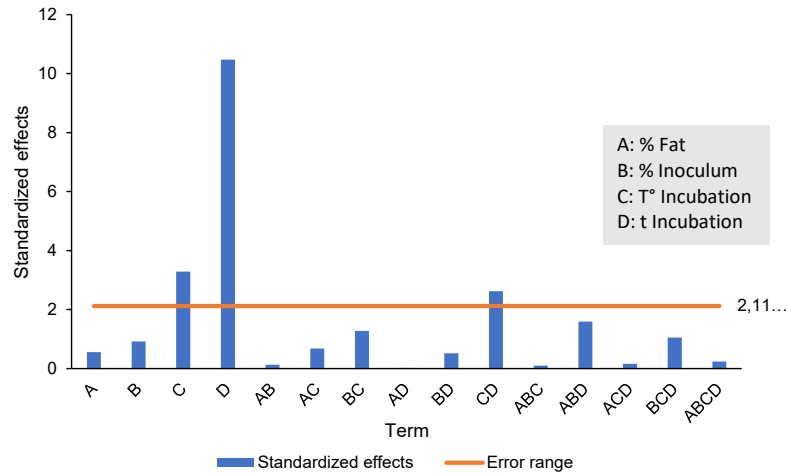


Figure 3. Pareto Chart of the Standardized Effects. (response is pH; $\alpha=0,05$).

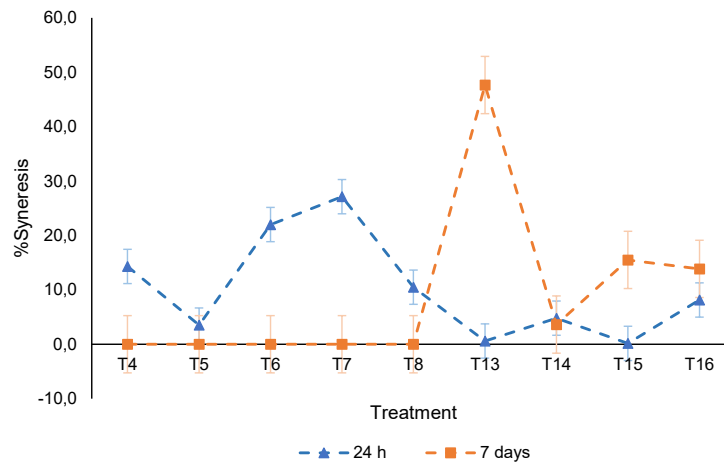


Figure 4. Syneresis of yogurt with 24 h and 7 days of storage.D.

yogurt. According to Lucey & Singh (1997), casein aggregation occurs at the isoelectric point ($\text{pH} = 4.6$) because of the repulsion between micelles decreases; at this point, the contraction of the structural network results in the whey release. According to the results, the isoelectric point of casein studied in this work is below the pH range of fermented beverages, this explains the syneresis values found in figure 3.

Figure 5 shows the apparent viscosity of the samples of yogurt stored at different times. A higher incubation time (150 min) of the yogurt led to an increase of the apparent viscosity at high rotation speed (graphs a and c), while a pseudoplastic behavior is observed in graphs b and d for treatments at 120 min incubation time.

Viscosity values of yogurt samples are affected by several factors: composition, starter cultures, heat treatment (Velez-Ruiz *et al.* 2012; Mohan *et al.* 2020). Likewise, as the total solids increase (e.g. fat content), the viscosity and firmness of the yogurt increase (Tarrega *et al.* 2016).

Semi-skimmed milk (2.6%) and fat-free (0%) for the yogurt process showed variations in pH and acidity as well as in its texture and firmness structure. This may be due to various studies indicating that the fat content of yogurt alters its rheological and sensory characteristics as in the structuring process, fatty globules interact with the protein network that acts as protein-binding agents. Therefore, low-fat and fat-free dairy products exhibit a weak body,

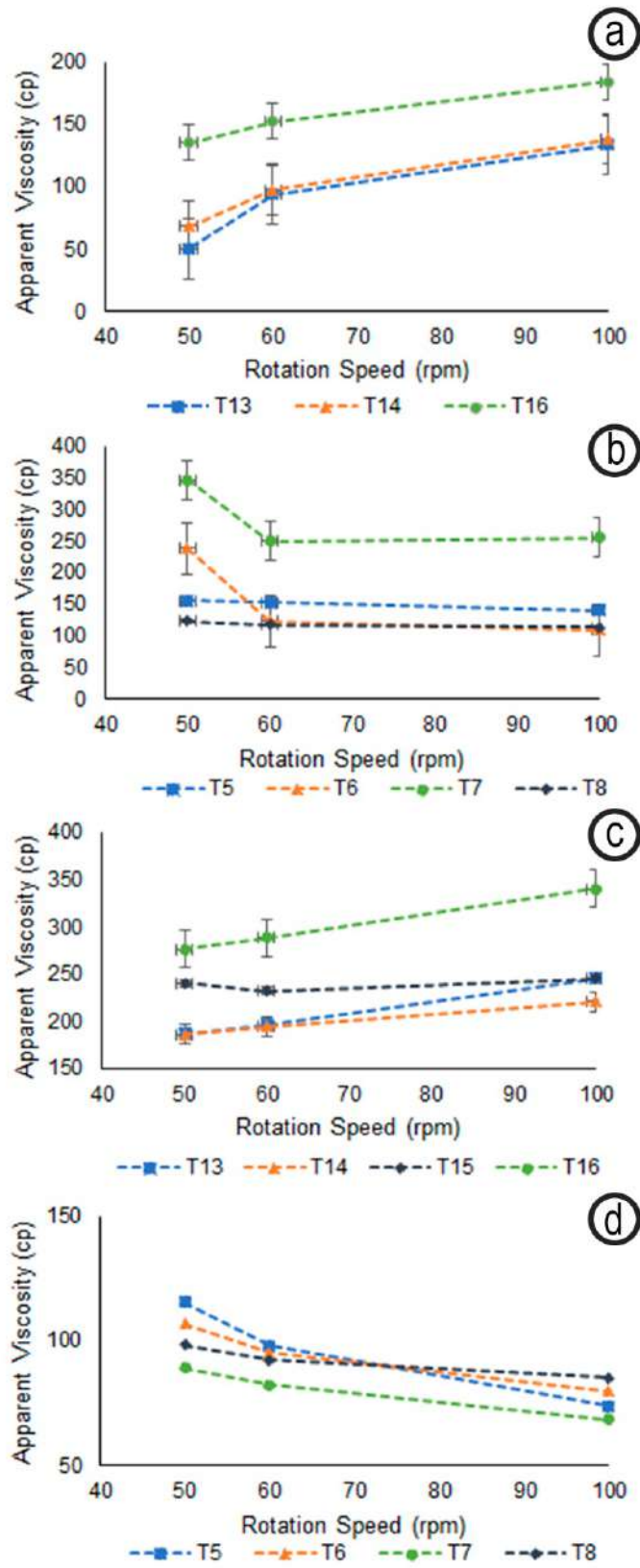


Figure 5. Viscosity behavior at different rotation speeds for yogurt stored for 24h (a and b) and 7 days (c and d).

poor texture and, therefore, whey separation as the total fat and solid contents are reduced.

The variables for the preparation of yogurt were: 40°C incubation temperature, 150 min incubation time and 2% stock culture, as they did not show syneresis; pH and acidity values were found in the acceptable ranges and the best properties of consistency and firmness were obtained, after 7 days in storage at 4°C.

REFERENCES

- ANDRADE, R.D.; ARTEAGA, M.R.; SIMANCA, M.M. 2010. Efecto del Salvado de Trigo en el Comportamiento Reológico del Yogurt de Leche de Búfala. *Información tecnológica (Chile)*. 21(5):117-124. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000500015>
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, AOAC. 1998. *Official Methods of Analysis*, 15th ed. Washington DC (USA).
- BARKALLAH, M.; DAMMAK, M.; LOUATI, I.; HENTATI, F.; HADRICH, B.; MECHICHI, T.; AYADI, M.A.; FENDRID, I.; ATTIA, H.; ABDELKAFIA, S. 2017. Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. *LWT - Food Science and Technology (England)*. 84:323-330. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.071>
- CÁRDENAS C., A.; ALVITES G., H.; VALLADARES C., G.; OBREGÓN, J.; VÁSQUEZ-VILLALOBOS, V. 2013. Optimización mediante diseño de mezclas de sinéresis y textura sensorial de yogurt natural batido utilizando tres tipos de hidrolídeos. *Revista Científica de la Universidad Nacional de Trujillo. Agroindustrial Science (Perú)*. 3(1):35-40. <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.science.2013.01.04>
- CASAROTTI, S.N.; MONTEIRO, D.A.; MORETTI, M.M.S.; PENNA, A.L.B. 2014. Influence of the combination of probiotic cultures during fermentation and storage of fermented milk. *Food Research International (USA)*. 59:67-75. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.068>
- CURTI, C.A.; VIDAL, P.M.; CURTI, R.N.; RAMÓN, A.N. 2017. Chemical characterization, texture and consumer acceptability of yogurts supplemented with quinoa flour. *Food Science and Technology (Brasil)*. 37(4):627-631. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.27716>
- DELIKANLI, B.; OZCAN, T. 2014. Effects of various whey proteins on the physicochemical and textural properties of set type nonfat yoghurt. *International Journal of Dairy Technology (England)*. 67(4):495-503. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12142>
- HASSAN, A.; AMJAD, I. 2010. Nutritional evaluation of yoghurt prepared by different starter cultures and their physicochemical analysis during storage. *African Journal of Biotechnology (Kenya)*. 9(20):2913-2917. <https://doi.org/10.5897/AJB2010.000-3121>
- HEMATYAR, N.; MOHAGHEGHI S., A.; POORAZARANG, H.; HOSSEIN E., A. 2012. Effect of Gums on Yogurt Characteristics. *World Applied Sciences Journal (Pakistan)*. 20(5):661-665. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.20.05.2353>
- HEYDARI, S.; AMIRI-RIGI, A.; EHSANI, M.R.; MOHAMMADIFAR, M.A.; KHORSHIDIAN, N.; KOUSHKI, M.R.; MORTAZAVIAN, A.M. 2018. Rheological behaviour, sensory properties and syneresis of probiotic yoghurt supplemented with various prebiotics. *International Journal of Dairy Technology (England)*. 71(S1):175-184. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12491>
- HILL, C.; GUARNER, F.; REID, G.; GIBSON, G.R.; MERENSTEIN, D.J.; POT, B.; MORELLI, L.; CANANI, R.B.; FLINT, H.J.; SALMINEN, S.; CALDER, P.C.; SANDERS, M.E. 2014. Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology (USA)*. 11(8):506-14. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
- HORWITZ, W. 2000. *Official Methods of Analysis*, 17th ed. Gaithersburg (USA).
- JOON, R.; KUMAR M., S.; SINGH B., G.; KUMAR S., P.; PANWAR, H. 2017. Instrumental texture and syneresis analysis of yoghurt prepared from goat and cow milk. *The Pharma Innovation Journal (India)*. 6(7):971-974.
- KAILASAPATHY, K. 2006. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT - Food Science and Technology (England)*. 39(10):1221-1227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.013>
- KÜÇÜKCETIN, A. 2008. Effect of heat treatment of skim milk and final fermentation pH on graininess and roughness of stirred yogurt. *International Journal of Dairy Technology (United Kingdom)*. 61(4):385-390. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2008.00420.x>

16. LUCEY, J.A.; SINGH, H. 1997. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International (USA)*. 30(7):529-42.
[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(98\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00015-5)
17. MOHAN, A.; HADI, J.; GUTIERREZ-MADDOX, N.; LI, Y; LEUNG, I.K.H.; GAO, Y; SHU, Q.; QUEK, S. 2020. Sensory, Microbiological and Physicochemical Characterisation of Functional Manuka Honey Yogurts Containing Probiotic *Lactobacillus reuteri* DPC16. *Foods*. 9(1):1-17.
<https://doi.org/10.3390/foods9010106>
18. OLSON, D.W.; ARYANA, K.J. 2008. An excessively high *Lactobacillus acidophilus* inoculation level in yogurt lowers product quality during storage. *LWT - Food Science and Technology (England)*. 41(5):911-918.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.017>
19. PANCAR, E.D.; ANDIÇ, S.; BORAN, G. 2016. Comparative Effects of Fish and Cow Gelatins and Locust Bean Gum on Chemical, Textural, and Sensory Properties of Yogurt. *Journal of Aquatic Food Product Technology (USA)*. 25(6):843-853.
<http://dx.doi.org/10.1080/10498850.2014.944293>
20. PANESAR, P.S.; SHINDE, C. 2012. Effect of Storage on Syneresis, pH, *Lactobacillus acidophilus* count, bifidobacterium bifidum count of *Aloe vera* fortified probiotic yoghurt. *Current Research in Dairy Sciences (Pakistan)*. 4(1):17-23.
<http://dx.doi.org/10.3923/crds.2012.17.23>
21. RAMÍREZ M., A.O.; RUIZ R., J.A. 2014. Elaboración de yogurt firme bajo en calorías con inulina y harina de guayaba (*Psidium guajava* L.) como saborizante. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia (Venezuela)*. 31(2):233-252.
22. REBOLLAR, T. 2017. Características fisicoquímicas y sensoriales de yogurt natural elaborado artesanalmente. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*. 1-69p.
23. SAHAN, N.; YASAR, K.; HAYALOGLU, A.A. 2008. Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β -glucan hydrocolloidal composite during storage. *Food Hydrocolloids (USA)*. 22(7):1291-1297.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.06.010>
24. SANDOVAL-CASTILLA, O.; LOBATO-CALLEROS, C.; AGUIRRE-MANDUJANO, E.; VERNON-CARTER, E.J. 2004. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal (England)*. 14(2):151-159.
[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00166-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00166-3)
25. SHAHBANDARI, J.; GOLKAR, A.; TAGHAVI, S.M.; AMIRI, A. 2016. Effect of Storage Period on Physicochemical, Textural, Microbial and Sensory Characteristics of Stirred Soy Yogurt. *International Journal of Farming and Allied Sciences (Pakistan)*. 5(6):476-484.
26. TARREGA, A.; MARCANO, J.; FISZMAN, S. 2016. Yogurt viscosity and fruit pieces affect satiating capacity expectations. *Food Research International*. 89:574-581.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.011>
27. VELEZ-RUIZ, J.F.; HERNANDEZ-CARRANZA, P.; SOSA-MORALES, M. 2012. Physicochemical and flow properties of low-fat yogurt fortified with calcium and fiber. *Journal of Food Processing and Preservation (USA)*. 37(3):1-12.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00638.x>
28. VERA B, R.; RODRÍGUEZ Z., A. 2013. Efecto de la adición de caseinato de sodio y gelatina sobre la viscosidad, sinéresis y tiempo de fermentación en yogurt batido. *Pueblo Continente (Perú)*. 24(1):133-140.



Physical and compositional characteristics of cheese and yogurt made from partially demineralized milk protein concentrate

Características físicas y composicionales del queso y yogurt elaborados a partir de un concentrado de proteínas de leche parcialmente desmineralizado

Edinson Bejarano-Toro¹; José Uriel Sepúlveda-Valencia²; Eduardo Rodríguez-Sandoval³

¹Zootecnista, M.Sc., Ph.D.(c) Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Ciencias Agrarias. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: eebejara@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-8508-8387>

²Administración de Empresas, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: jusepul@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-5660-4514>

³Ing. Químico. Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: edrodriguez@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9146-2419>

*autor de correspondencia: gojaimet@unal.edu.co

How to cite: Bejarano-Toro, E.; Sepúlveda-Valencia, J.U.; Rodríguez-Sandoval, E. 2021. Physical and compositional characteristics of cheese and yogurt made from partially demineralized milk protein concentrate. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1949. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1949>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education.

Received: March 3, 2019 **Accepted:** May 7, 2021 **Edited by:** Ingeborg Zenner de Polanía

ABSTRACT

The milk protein concentrate (MPC) has been extensively studied; however, the MPC partial demineralization through the diafiltration (DF) and its effect on MPC ability to produce milk coagulate products has not been fully explored; therefore, it was considered studying the MPC demineralization process with DF and evaluate the effect of this treatment on the compositional and textural characteristics of enzymatically and acid-coagulated products. The MPC of ultrafiltration was diafiltered by two cycles, later this MPC was used to make a fresh cheese, a set yogurt and stirred yogurt. The application of a single DF cycle removed 22.2% of the ashes

and 8.12% of the MPC calcium, but no statistically significant differences were present ($P > 0.05$) between the application of two DF cycles. The cheeses with MPC undergone to one cycle and two cycles of DF were less hard and presented less resistance to chewing, and the set yogurt showed lower springiness values due a total solids and calcium content, that was affected by DF. These phenomena increased the coagulation time and the formation of weaker gels. The DF achieved the maximum milk demineralization in a single cycle.

Keywords: Proteins; Ultrafiltration; Diafiltration; Coagulation; Calcium.

RESUMEN

El uso de concentrados de proteína de leche (MPC) ha sido estudiado ampliamente; sin embargo, su desmineralización parcial por medio de la diafiltración (DF) y el efecto de este tratamiento sobre su aptitud en la elaboración de productos coagulados no está completamente explorada. Se planteó, entonces, estudiar el proceso de desmineralización de un MPC por medio de varios ciclos de DF y evaluar el efecto de este tratamiento sobre las características composicionales y texturales de productos coagulados enzimáticamente y por acidez. El MPC, obtenido por ultrafiltración, fue diafiltrado en dos ciclos; luego, el MPC fue usado para elaborar un queso fresco, un yogurt batido y uno cuchareable. La aplicación de un ciclo de DF removió el 22,2% de las cenizas y 8,12% del calcio, pero no hubo diferencias significativas ($P>0,05$) con respecto a la aplicación de dos ciclos de DF. El queso elaborado con el MPC, con uno y dos ciclos de DF, fue menos duro y presentó menor resistencia a la masticación que el elaborado con MPC sin DF y el yogurt cuchareable presentó menor elasticidad, debido al menor contenido de sólidos totales y calcio, los cuales, fueron afectados por la DF. La desmineralización parcial aumentó el tiempo de coagulación y favoreció la formación de geles más débiles. La DF alcanzó el máximo de desmineralización de la leche en un solo ciclo.

Palabras clave: Proteínas; Ultrafiltración; Diafiltración; Coagulación; Calcio.

INTRODUCTION

The membrane technology, as a filtration and selective concentration technique applied to the dairy industry, has benefited the development of technological processes, such as water removal and solid-liquid or liquid-liquid separations (Pouliot, 2008; Lauzin *et al.* 2020). The ultrafiltration (UF) process is crucial in the dairy industry, in which milk proteins are concentrated by removing lactose, minerals, peptides, water and other solutes with low molecular weight (Kenneth *et al.* 2017). As a result of this process, MPC contains both casein and whey proteins in a similar ratio of whole milk (80:20). These products are generally spray-dried, contain protein levels from 42% to 85% and are used as protein source in the production of other dairy products such as fermented beverages, cheeses and ice creams (Francolino *et al.* 2010; Patel & Patel, 2014; Eshpari *et al.* 2014; Bruzantin *et al.* 2016; Lu *et al.* 2017).

The MPCs in liquid phase can also be applied in the cheese industry since they can improve the nutritional quality of the final product by a greater retention of components, keep a standard composition of the raw material and increase the cheese yield. Furthermore, increasing the total solids in the milk will turn the cheese industry more efficient and a profitable enterprise (Kumar *et al.* 2013).

The first process developed and patented was the MMV methodology, named after its inventors Maubois, Mocquot & Vassal, where the industrial production of a cheese based on milk concentrated between 5 to 7 times by UF was obtained, yielding high quality curd (Maubois *et al.* 1969). In general, the following types of retentate or concentrate can be obtained by

concentrating milk through UF: low concentration retentate (VCF: 1.2-2X) (LCR); medium concentration retentate (MCR) (VCF: 2-6X) and liquid pre-cheeses (VCF: 6-8X) (Mistry & Maubois, 2004).

The concentration and buffer capacity of the minerals associated with the caseins (Ca, P and Mg) increase in an MPC obtained by UF, generating non-standard textures and flavours in the products with this MPC (Mistry & Maubois, 2004). The membrane permeable solutes in the DF are diluted in the concentrate by the addition of water and can be re-concentrated in successive stages. Therefore, DF is used to increase the protein content in the UF concentrate, removing lactose, and soluble and insoluble minerals (Brans *et al.* 2004; Singh, 2007; Gavazzi-April *et al.* 2018).

The application of DF to milk can lead to the modification of the casein micelles due to the alteration of the minerals associated with their structure and can therefore impact the characteristics of the dairy products (Sandra & Correding, 2013). DF has also been used to produce whey protein concentrates (WPC) from buttermilk and skimmed milk in order to evaluate their functional properties (Svanborg *et al.* 2015). These concentrated powder products have been assessed in different processing conditions to improve their functional characteristics (Mao *et al.* 2012; Banach *et al.* 2013; Cao *et al.* 2015; Chenchaiyah *et al.* 2015). Despite the literature in this field, the use of liquid and demineralized MPC in coagulated products has not been fully explored, and the MPC uses are important to dairy industry. Thus, the aim of this work was to study the effect of partial demineralization and protein increase with the application of two DF cycles on a MPC in dairy products like Burgos cheese and set and stirred yogurts by assessing their compositional and textural characteristics.

MATERIALS AND METHODS

Process of obtaining MPC. The skimmed milk was characterised by Fourier Transform Infrared Spectrometry-FTIR (Milkoscan Foss Instruments, Hillerød, Denmark) for its protein, ash, fat and lactose content. 320L of skimmed milk were used for each experiment. A pilot APV filtration plant (Silkeborg, Denmark) was used for the milk concentration. This plant was equipped with two polyether-sulfone ultrafiltration (UF) membranes (UF-pHt Series GR81PP, Alfa Laval, Lund, Sweden) in parallel with a molecular weight cut-off of 10kDa and an effective filtration area of 13.6m². The UF process was executed in concentration mode at a transmembrane pressure (TMP) of 4 bar, a temperature of 20°C and a volumetric concentration factor (VCF) of 4, in order to obtain 80L of MPC and 240L of permeate. The ash, calcium and protein contents were determined for the MPC and treatments by the incineration method at 550°C (IDF 27, 1964); by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) (ISO 17294-2, 2003) and by the Kjeldahl method (IDF 3 20B, 1993), respectively. The analyses were performed in triplicate.

The processing conditions, temperature and transmembrane pressure for the application of DF to the MPC were determined by previous tests. The MPC was undergone to one

(M1DF) and two cycles (M2DF) of DF. Osmotized water (240L) with a dilution factor of 4 was added to the MPC for one DF cycle. This mixture was concentrated by UF with an VCF of 4. For two cycles of DF, the previous process was repeated in a successive way. 80L of each diafiltered product were recovered and the membrane was chemically cleaned at the end of each experiment.

Burgos cheese preparation. The cheese was prepared using the MMV methodology (Maubois et al. 1969). The protein content in each MPC was standardized to 12% (w/v). The MPC was pasteurized at 75°C for 5 min and cooled to 35°C. Then, 0.02% of CaCl₂ was added and the coagulant enzyme was applied (Chy-Max, Chr. Hansen, Denmark). After 30 min, the product was stored at 5°C by 24 h until the analyses were performed.

Set and stirred yogurt preparation. The protein content in each MPC was standardized to 4% (w/v). The MPC samples were heated to 75°C, homogenized at 200 bar and pasteurized at 95°C for 5min. They were then cooled to 43°C, inoculated with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* and incubated at 42.5°C until they reached a pH of 4.6. Subsequently, some yogurt was remained without any further stirring (set yogurt), whereas some others were stored at 5°C for 12h and their curd was broken manually to transform the stirred yogurt. Both set and stirred yogurts were stored at 5°C by 24h until their analysis.

Textural properties of the yogurts and cheese. The firmness (N), springiness (mm) and cohesiveness of the set yogurt were assessed using a texture analyzer (TA-XTplus, Stable Micro Systems, Godalming, UK) with a 0.5mm probe (SMSP/0.5) and equipped with a 25kg load cell. The samples were introduced into a container where their fermentation took place. The parameters for the test were: 1mm/s pre-test speed, 0,5mm/s test speed, 0,5mm/s post-test speed, a compression distance of 15mm and a test time of 5s (Ferragut *et al.* 2009; Serra *et al.* 2009).

Regarding the stirred yogurt, a back-extrusion test was performed using the same texture analyzer and the same load cell to determine its firmness (N), consistency (N.s), cohesiveness and viscosity index (N.s). The probe was the back-extrusion ring with a 35mm disc and calibrated at a height of 80mm. For this test, the cylinder was filled with the sample and refrigerated for 1h. The test conditions were: 1mm/s pre-test speed, 1mm/s test speed, 10mm/s post-test speed and a compression distance of 30mm (Serra *et al.* 2009; Najgebauer-Lejko *et al.* 2014). For the yogurts, six samples were used for each textural test.

The maximum deformation supported by the cheese samples before fracture was evaluated in previous tests. The cheese was portioned into 2cm³ cubes to perform the texture profile analysis (TPA) using the texture analyzer previously described, equipped with the 100mm probe (SMSP/100) and the same load cell. The parameters for the test were: 1mm/s pre-test speed, 1mm/s test speed, 1mm/s post-test speed, and 35% strain with a 5s waiting time between the two cycles (Gutiérrez *et al.* 2013). The TPA characteristics were firmness (N), springiness, cohesiveness and

and chewiness (N). Six replicates of each textural test were performed on the cheese samples.

Composition analysis of products. The ash content was calculated by the method of incineration at 550°C (IDF 27, 1964), the calcium content by ICP-MS (ISO 17294-2, 2003), the protein content by the Kjeldahl method (IDF 20B, 1993) and the total solids by gravimetric method at 100°C (IDF 4A, 1982). The fat content for the cheese was measured by the Soxhlet method (IDF 5B, 1986) and for the yogurt by the Rose-Gottlieb method (IDF 1D, 1996).

Statistical analysis. The results were presented as means + SD. For the response variables (physical, chemical and compositional characteristics) of each product, a one-way analysis of variance (ANOVA) was used at a 5% significance level, considering the factor as the number of diafiltrations: without DF (MPC) (control), one cycle (M1DF) and two cycles (M2DF). The least significant difference (LSD) was used to compare the treatments, when significant differences were found. All analyses were performed using Statgraphic Centurion 16.1. (Statpoint Technologies, INC).

RESULTS AND DISCUSSION

Process for obtaining MPC, M1DF and M2DF. The skimmed milk used in the study was composed of 33,3g/L of protein, 6,6g/L of ash, 0,7g/L of fat, 49,3g/L of lactose, 92,9g/L of total solids and 125,83mg/100mL of calcium, the milk used for the concentration process is within the parameters required by Colombian legislation and by other authors, to categorize it as skimmed milk (Ministerio de la Protección Social, 2006; Fox et al. 2015). The composition of MPC, M1DF and M2DF is presented in the table 1. The ash contents were 9,8% and 9,6% and the calcium contents were 369,2mg/100g and 357,5mg/100g for M1DF and M2DF, respectively, and were significantly lower ($P < 0.05$) than those presented by the MPC which were 12,6% and 401,8 mg/100g, respectively. Banach et al. (2013) obtained similar results when applying DF to an MPC, removing part of the ash content, mainly from the soluble fraction of minerals.

Likewise, a removal of soluble minerals with DF has been reported, mainly K, Na and Cl (Chenchaiah et al. 2015; Kenneth *et al.* 2018). Based on this, it could be indicated that a large part of the soluble fraction of minerals was removed in the first DF cycle and, for the second cycle, the colloidal minerals (Ca, Mg and P) remained, which are associated with the structure of the milk and solubilized slowly (Mistry & Maubois, 2004; Gaucheron, 2005). Such behavior was observed in this investigation because ashes were reduced in M1DF and M2DF with respect to MPC, going from 12.6% to 9.8% and 9.6% in MPC, M1DF and M2DF, respectively. Thus, a second DF cycle is not necessary because the removal of minerals from the samples was not significant between M1DF and M2DF (Table 1).

Composition of processed products. No significant differences ($P > 0.05$) in protein content were found between the cheeses and yogurts made with MPC, M1DF and M2DF, with 122.5g/kg, 121.2g/kg and 122.9g/kg, respectively, confirming the correct milk

standardization. On the other hand, significant differences ($P<0.05$) were found in the total solids, ash and calcium contents among the products made with MPC compared to those prepared with M1DF and M2DF. These results indicated that the DF process was effective in UF-permeable solutes removal, such as lactose and ash, in which calcium was the most representative. However, it is important to note that these components are soluble fractions removed with the water used in the DF. Gaucheron (2011) showed that the milk calcium had a soluble and micellar fraction that represents the 30% and 70% of the total calcium, respectively. These data agree with the calcium fraction removed between MPC and M1DF (Table 2).

The DF using the UF membrane is a technology aimed at obtaining MPC and WPC with high protein content, since the amount of protein within the total solids of the product increases by decreasing lactose and soluble ions in the concentrate (Ferrer *et al.* 2014). The calcium content was reduced from 401.8mg/100g to 369. mg/100g in a M1DF and 357.5mg/100g in M2DF, and the total solids from 179.3g/kg on MPC to 127.0g/kg on M2DF. These results agree with Eshpari *et al.* (2014) who found significant differences in the lactose content between an MPC (UF) and an MPC (UF) with a DF cycle and Ferrer *et al.* (2014) found a significant reduction in the soluble and insoluble calcium content in an MPC when different volumes of DF were applied. In contrast with these reductions, on the concentrate samples used for Burgos cheese, the protein accounted for 69% of total solids on MPC and on M1DF and M2DF the 87.1% and

and 95.9% of total solids, respectively, these data indicate that de DF by UF is effective in milk proteins concentration. On the concentrate samples used to make yogurt the trend of protein concentration was similar because on the MPC the protein represented a 38.3% of the total solids and on the M1DF and M2DF the 75.3% and 61.9%, respectively.

Textural properties of processed products. The cheeses made with MPC showed more firmness and resistance to chewing than those made with M1DF and M2DF, which can be explained by the lower calcium content in diafiltered milk that went from 389.6mg/100g of MPC to 356.2 and 358,6mg/100g of M1DF and M2DF, respectively (Tables 2 and 3).

This mineral is important for the enzymatic coagulation of milk, especially for its soluble fraction, which is involved in the secondary phase of the coagulation process when the casein micelles interact with the rennet (Ferrer *et al.* 2014; Eshpari *et al.* 2015), then the milk with lower soluble calcium resulted in weaker enzymatic curds.

The firmness of dairy gels obtained enzymatically from MPC56 and MPC85 standardized to equivalent levels of protein was compared, and the gel made with MPC56 was harder due to the higher content of soluble calcium (Sandra & Corredig, 2013). The soluble calcium in milk decreases with DF; therefore, gels with lower firmness are obtained when this milk is enzymatically

Table 1. Characterisation of the MPC*.

Compounds	Treatments		
	MPC	M1DF	M2DF
Protein (g/kg)	122.5±0.9a	121.2±1.0a	122.9±1.2a
Ash (%)	12.6±1.1a	9.8±0.9b	9.6±1.0b
Calcium (mg/100g)	401.8±13.3a	369.2±7.6b	357.5±12.7b

* The results are the mean ± standard deviation. Values of the same row with different letters present a statistically significant difference ($P<0.05$).

Table 2. Composition of Burgos type cheese and set or stirred yoghurts*.

Characterísticas	Treatments					
	Burgos type cheese			Yoghurt*		
	MPC	M1DF	M2DF	MPC	M1DF	M2DF
Total solids (g/kg)	17.3±5.7a	138.9±2,3b	127.0±7.9c	108.8±10.8a	58.3±5.1b	66.9±0.9b
Protein (g/kg)	119.4±5.9a	121.1±2.4a	121.9±2.2a	41.7±2.2a	43.9±1.4a	41.2±0.6a
Ash (g/kg)	14.2±0.9a	10.8±0.5b	11.5±0.3b	7.9±0.8a	4.3±0.4b	3.5±0.2b
Calcium (mg/100g)	389.6±7.6a	356.2±7.0b	358.6±3.0b	158.8±2.4a	116.8±9.4b	109.1±3.5b

*The results are the mean ± standard deviation. Values on the same row with different letters present a statistically significant difference for each product ($P<0.05$).

coagulated (Ferrer *et al.* 2014; Liu *et al.* 2017). This behavior was similar to that observed in this investigation where the firmness was lower in the Burgos cheese made from M1DF and M2DF with respect to the firmness of the cheese obtained from the MPC (Table 3) with values of 349.7N, 290N and 261.5N for the cheese made from MPC, M1DF and M2DF, respectively. This is attributed to the fact that the calcium was not significantly reduced between M1DF and M2DF but there were differences with respect to MPC. The lesser firmness in the cheeses with M1DF and M2DF can also be generated because the DF increases the presence of the K, α -s and β caseins in the soluble phase, which increases the rennet coagulation time and reduces the clots firmness (Sandra & Corredig, 2013; Ferrer *et al.* 2014).

The yogurt is a coagulated product obtained through the fermentation of milk by lactic acid bacteria, the yogurt coagulation is caused by the hydrophobic and electrostatic interactions between proteins when the milk reaches the isoelectric point of the caseins (pH = 4.6) (Lourens-Hattingh & Vijoer, 2001; Sandoval-Castilla *et al.* 2004). Even at this point, the calcium phosphate is partially separated from the casein micelles (Fox, 2001; Chandan *et al.* 2006; Ferrer *et al.* 2014; Lauzin *et al.* 2020).

Schulz-Collins & Senge (2004) did not find significant differences in the yogurt firmness made from demineralized milk and explained that adding calcium to milk has no significant effect on the acid coagulation of dairy products. In this investigation, no significant differences were found in the firmness with 22.4g, 26.4g, and 24.4g to the stirred yogurt made from MPC, M1DF and M2DF, respectively and 27.3g, 32.1g and 30.3g to the set yogurt made from MPC, M1DF and M2DF, respectively. Sandoval-Castilla *et al.* 2004, Supavitpatana *et al.* 2008 and Hashim *et al.* 2009 reported set yogurts with higher firmness, adhesiveness and springiness values because the raw material was skimmed milk standardized to 4% protein and supplemented with starch, gelatin or fiber that helped improve the general characteristics of the product's texture.

When diafiltered milk is used in the set yogurt preparation a less elastic product is obtained. This effect is attributed to the lower

content of total solids in the M1DF and M2DF products (Table 2) since DF in UF membranes removes lactose and milk minerals. When milk solids like minerals, specifically the calcium is removed from the casein micelles, acid gels with higher loss tangents ($\tan \delta$) are generated, which explains their lower springiness (Haque & Sharma, 2002; Ozcan *et al.* 2011).

The firmness, consistency, cohesiveness and viscosity index of stirred yogurt showed no significant differences ($P > 0.05$) among the samples (Table 4). Najgebauer-Lejko *et al.* (2014) prepared a similar product with semi-skimmed milk supplemented with green tea, and found the values of firmness, consistency, cohesiveness and viscosity index lower than those reported in this study for all treatments. The calcium content reduction in the milk did not affect the textural properties of the stirred yogurt, which can be considered as a concentrated dispersion of gel particles in serum (Marle *et al.* 1999).

From the results obtained it can be concluded that the UF application combined with DF is an effective way to achieve a partial MPC demineralization. However, no significant difference in the mineral content was found when more than one DF cycle was applied. The textural differences of the fresh cheese were attributed to the mineral imbalance generated by the DF of the MPC, mainly in the calcium content. When acid coagulation happened in the yogurts, no significant effects of partial MPC demineralization were observed. The filtration effect was significant on protein structures and milk mineral content, this change affects the composition and texture of dairy products. Further studies are needed on the sensory differences and other physicochemical characteristics of the dairy products made from these treated milks in order to establish more accurate effects on their quality.

Acknowledgements. COLCIENCIAS, Productos Lácteos Aura and the Universidad Nacional de Colombia are acknowledged for the financial support to E. Bejarano-Toro provided through contract 575 of 2013. **Conflict of interests:** The paper was prepared and revised by all authors, who declare that there is no conflict of interest that jeopardizes the validity of the results.

Table 3. Texture profile analysis for cheeses made with MPC, M1DF and M2DF.

Characteristics	Treatments		
	MPC	M1DF	M2DF
Firmness (N)	349.7±13.4a	290.0±10.5b	261.5±21.0b
Cohesiveness	0.87±0.0a	0.87±0.0a	0.86±0.0a
Springiness (mm)	0.97±0.0a	0.97±0.0a	0.97±0.0a
Chewiness (N)	295.1±21.4a	234.7±19.4b	209.9±16.8b

The results are the mean \pm standard deviation. Values on the same row with different letters present a statistically significant difference ($P < 0.05$).

Table 4. Textural characteristics of yoghurts made with MPC, M1DF and M2DF.

Product	Characteristic	Treatments		
		MPC	M1DF	M2DF
Stirred yogurt	Firmness (N)	0.219±0.013a	0.259±0.025a	0.239±0.018a
	Consistency (N.s)	5.78±0.504a	6.87±0.62a	6.25±0.56a
	Cohesiveness *	17.5±1.0a	19.1±1.9a	17.8±1.5a
	Viscosity index (N.s)*	0.29±0.021a	0.356±0.037a	0.265±0.058a
Set yogurt	Firmness (N)	0.267±0.025a	0.314±0.031a	0.297±0.029a
	Cohesiveness	0.4±0.0a	0.36±0.0a	0.36±0.0a
	Springiness (mm)	0.97±0.0a	0.93±0.0b	0.94±0.0b

The results are the mean ± standard deviation. Values of the same row with different letters present a statistically significant difference ($P < 0.05$).

*Absolute value

0.267 0.314 0.297

REFERENCES

- BANACH, J.; LIN, Z.; LAMSAL, B.P. 2013. Enzymatic modification of milk protein concentrate and characterization of resulting functional properties. *LWT-Journal*. 54(2):397-403.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.023>
- BRANS, G.; SCHROËN, C.; VAN DER SMAN, R.; BOOM, R. 2004. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. *J. Membrane Science*. 243(1-2):263-272.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.06.029>
- BRUZANTIN, F.; DANIEL, J.; DA SILVA, P.; SPOTO, M. 2016. Physicochemical and sensory characteristics of fat-free goat milk yogurt with added stabilizers and skim milk powder fortification. *J. Dairy Science*. 99(5):3316-3324.
<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10327>
- CAO, J.; ZHANG, W.; WU, S.; LIU, C.; LI, Y.; LI, H.; ZHANG, L. 2015. Short communication: Effects of nanofiltration and evaporation on the physicochemical properties of milk protein during processing of milk protein concentrate. *J. Dairy Science*. 98(1):100-105.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-8619>
- CHANDAN, R.C.; O'RELL, K.R. 2006. *Manufacture of Various Types of Yogurt*. En: Chandan, R.; White, C.; Kilara, A.; Hui, Y. (eds). *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA, p.211-213.
<https://doi.org/10.1002/9780470277812.ch13>
- CHENCHAIHAH, M.; SALUNKE, P.; BISWAS, A.; KOMMINENI, A.; METZGER, L. 2015. *Manufacture of modified milk protein concentrate utilizing injection of carbon dioxide*. *J. Dairy Science*. 98(6):3577-3589.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-8946>
- ESHARI, H.; JIMENEZ-FLORES, R.; TONG, P.; CORREDING, M. 2015. Partial calcium depletion during membrane filtration affects gelation of reconstituted milk protein concentrates. *J. Dairy Science*. 98(12):8454-8463.
<https://doi.org/10.3168/jds.2015-9856>
- ESHARI, H.; TONG, P.; CORREDING, M. 2014. Changes in the physical properties, solubility, and heat stability of milk protein concentrates prepared from partially acidified milk. *J. Dairy Science*. 97(12):7394-7401.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-8609>
- FERRAGUT, V.; CRUZ, N.; TRUJILLO, A.; GUAMIS, B.; CAPELLAS, M. 2009. Physical characteristics during storage of soy yogurt made from ultra-high pressure homogenized soymilk. *J. Food Engineering*. 92(1):63-69.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.026>
- FERRER, M.; ALEXANDER, M.; CORREDING, M. 2014. Changes in the physico-chemical properties of casein micelles during ultrafiltration combined with diafiltration. *LWT-Food Science and Technology*. 59(1):173-180.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.037>
- FOX, P. 2001. Milk proteins as food Ingredients. *Int. J. Dairy Technology*. 54(2):41-55.
<https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2001.00014.x>
- FOX, P.; UNIACKE-LOWE, T.; MCSWEENEY, P.; O'MAHONY, J. 2015. *Production and Utilization of Milk*.

- En: Fox, P.; Uniacke-Lowe, T.; McSweeney, P.; O'Mahony, J. (eds). Dairy Chemistry and Biochemistry. Ed. Springer International Publishing, Suiza. p.1-3.
13. FRANCOLINO, S.; LOCCI, F.; GHIGLIETTI, R.; LEZZI, R.; MUCCHETTI, G. 2010. Use of milk protein concentrate to standardize milk composition in Italian citric Mozzarella cheese making. *LWT-Journal*. 43(2):310-314.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.08.007>
 14. GAUCHERON, F. 2005. The minerals of milk. *Reproduction Nutrition Development*. 45(4):473-483.
<https://doi.org/10.1051/rnd:2005030>
 15. GAUCHERON, F. 2011. Milk and Dairy Products: A Unique Micronutrient Combination. *J. American College of Nutrition*. 30:400S-409S.
<http://dx.doi.org/10.1080/07315724.2011.10719983>
 16. GAVAZZI-APRIL, C.; BENOIT, S.; DOYEN, A.; BRITTEN, M.; POULIOT, Y. 2018. Preparation of milk protein concentrates by ultrafiltration and continuous diafiltration: effect of process design on overall efficiency. *J. Dairy Science*. 101:9670-9679.
<https://doi.org/10.3168/jds.2018-14430>
 17. GUTIÉRREZ, N.; TRANCOSO, N.; LEAL, M. 2013. Texture profile analysis of Fresh cheese and Chihuahua cheese using miniature cheese models. *Tecnociencia Chihuahua*. 7(2):65-74.
 18. HAQUE, Z.; SHARMA, M. 2002. Influence of cation sequestering and pH on quiescent thermal association of lactoglobulin NB from fresh Cheddar whey: an insight into gelation mechanism. *Food Science and Technology Research*. 8(4):311-316.
<https://doi.org/10.3136/fstr.8.311>
 19. HASHIM, I.; KGALIL, A.; AFIFI, H. 2009. Quality characteristics and consumer acceptance of yogurt fortified with date fiber. *J. Dairy Science*. 92(11):5403-5407.
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2234>
 20. INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, IDF. 1964. Determination of the ash content of processed cheese products. Standard FIL-IDF 27:1964. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.
 21. INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, IDF. 1986. Cheese and processed cheese product: determination of fat content- gravimetric method (Reference Method). Standard FIL-IDF 5B:1986. International Dairy Federation, Brussels Belgium.
 22. INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, IDF. 1993. Milk: determination of nitrogen content. Standard FIL-IDF 20B:1993. International Dairy Federation, Brussels Belgium.
 23. INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, IDF. 1996. Milk: Determination of fat content (Röse-Gottlieb gravimetric method). IDF Standard 1D. Standard FIL-IDF 1D: 1996. International Dairy Federation, Brussels Belgium.
 24. INTERNATIONAL STANDARD ISO. 2003. ISO: 17294-2: Water quality: Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), Parte 2: Determination of 62 elements. Ginebra, Suiza.
 25. KENNETH, S.; DUSTAN, D.; MARTIN, G. 2018. Influence of diafiltration on flux decline during skim milk ultrafiltration. *International Dairy Journal*. 87:67-74.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.07.021>
 26. KENNETH, S.; MALAVIKA, H.; DALTON, J.; DAVE, E.; GREGORY, J. 2017. Mechanisms of flux decline in skim milk ultrafiltration: A review. *J. Membrane Science*. 523:144-162.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.09.036>
 27. KUMAR, P.; SHARMA, N.; RANJAN, R.; KUMARM, S.; BHAT, Z.; JEONG, D. 2013. Perspective of membrane technology in dairy industry: a review. *Asian-Australasian J. Animal Science*. 26(9):1347-1358.
<http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2013.13082>
 28. LAUZIN, A.; POULIOT, Y.; BRITTEN, M. 2020. Understanding the differences in cheese-making properties between reverse osmosis and ultrafiltration concentrates. *J. Dairy Science*. 103:201-209.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16542>
 29. LIU, D.; LI, J.; JIE, Z.; LIU, X.; WANG, M.; YACINE, H.; REGENSTEIN, J.; ZHOU, P. 2017. Effect of partial acidification on the ultrafiltration and diafiltration of skim milk: Physico-chemical properties of the resulting milk protein concentrates. *J. Food Engineering*. 212:55-64.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.019>
 30. LOURENS-HATTINGH, A.; VILJOEN, B. 2001. Yogurt as probiotic carrier food. *Internal Dairy J*. 11(1-2):1-17.
[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00036-X)
 31. LU, Y.; MCMAHON, D.; VOLLMER, A. 2017. Investigating rennet coagulation properties of recombined highly concentrated micellar casein concentrate and cream for use in cheese making. *J. Dairy Science*. 100(2):892-900.
<https://doi.org/10.3168/jds.2016-11648>
 32. MAO, X.; TONG, P.; GUALCO, S.; VINK, S. 2012. Effect of NaCl addition during diafiltration on the solubility, hydrophobicity, and disulfide bonds of 80% milk protein

- concentrate powder. *J. Dairy Science*. 95(7):3481-3488.
<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4691>
33. MARLE, M.; VAN DEN ENDE, D.; DE KRIUF, C.; MEL-LEMA, J. 1999. Steady-shear viscosity of stirred yogurts with varying ropiness. *J. Rheology*. 43:1643-1662.
<https://doi.org/10.1122/1.551065>
34. MAUBOIS, J.; MOCQUOT, G.; VASSAL, L. 1969. Procédé de traitement du lait et de sous produits laitiers. Paris, France. Patent 2052121.
35. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. 2006. Ordenance 616. Bogotá, Colombia.
36. MISTRY, V.; MAUBOIS, J. 2004. Application of Membrane Separation Technology to Cheese Production. In: *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. El Sevier, Wisconsin, USA. p.261-262.
37. NAJGEBAUER-LEJKO, D.; ŻMUDZIŃSKI, D.; PTASZEK, A.; SOCHA, R. 2014. Textural properties of yogurts with green tea and Puerh tea additive. *Internal J. Food Science and Technology*. 49(4):1149-1158.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.12411>
38. OZCAN, T.; HORNE, D.; LUCEY, J. 2011. Effect of increasing the colloidal calcium phosphate of milk on the texture and microstructure of yogurt. *J. Dairy Science*. 94(11):5278-5288.
<https://doi.org/10.3168/jds.2010-3932>
39. PATEL, H.; PATEL, S. 2014. Milk protein concentrates: manufacturing and applications. Dairy Research Institute: Technical Report. p.2-3.
40. POULIOT, Y. 2008. Membrane processes in dairy technology—From a simple idea to worldwide panacea. *Internal Dairy J*. 18(7):735-740.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.005>
41. SANDOVAL-CASTILLA, O.; LOBATO-CALLEROS, C.; AGUIRRE-MANDUJANO, E.; VERNON-CARTER, E. 2004. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *Internal Dairy J*. 14(2):151-159.
[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00166-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00166-3)
42. SANDRA, S.; CORREDING, M. 2013. Rennet induced gelation of reconstituted milk protein concentrates: The role of calcium and soluble proteins during reconstitution. *Internal Dairy J*. 29(2):68-74.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.10.011>
43. SCHULZ-COLLINS, D.; SENGE, B. 2004. Acid and Acid/Rennet-curd Cheeses Part A: Quark, Cream Cheese and Related Varieties. In: Fox, P.; McSweeney, P.; Cogan, T.; Guinee, T. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Elsevier (Wisconsin, USA). p.303-304.
44. SERRA, M.; TRUJILLO, B.; GUAMIS, B.; FERRAGUT, V. 2009. Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high-pressure homogenization-treated milk. *Food Hydrocolloids*. 23(1):82-91.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.11.015>
45. SINGH, H. 2007. Interactions of milk proteins during the manufacture of milk powders. *Le Lait*. 87(4-5):413-423.
46. SUPAVITITPATANA, P.; WIRJANTORO, T.; APICHARTSRANGKON, A.; RAVIYAN, P. 2008. Addition of gelatin enhanced gelation of corn–milk yogurt. *Food Chemistry*. 106(1):211-216.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.058>
47. SVANBORG, S.; JOHANSEN, A.; ABRAHAMSEN, R.; SKEIE, S. 2015. The composition and functional properties of whey protein concentrates produced from buttermilk are comparable with those of whey protein concentrates produced from skimmed milk. *J. Dairy Science*. 98(9):5829-5840.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-9039>



Características fisicoquímicas, textura, color y atributos sensoriales de salchichas comerciales de pollo

Physicochemical characteristics, texture, color and sensory attributes of commercial chicken sausages

Miriam Ramos¹; Salomón Santolalla²; Carlos Tarrillo³; Tarsila Tuesta⁴; Oscar Jordán⁵; Reynaldo Silva⁶

¹Ing. Industrias Alimentarias, M.Sc. Ph.D. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Facultad de Ciencias Agrarias. Huánuco - Huánuco, Perú; email: miriamramos@unheval.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0002-3970-2857>

²Ing. Zootecnista. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Facultad de Ciencias Agrarias. Huánuco - Huánuco, Perú; e-mail: hsantolalla@unheval.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0001-8042-6797>

³Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco - Huánuco, Perú; e-mail: car_lostarrillodz@yahoo.es; <https://orcid.org/0000-0002-6332-944X>

⁴Ing. Química, Mg. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil, Grupo de Investigación en Alimentos (GIA-FIQT-UNI). Lima, Perú; e-mail: tarsilat@uni.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0002-2594-9322>

⁵Ing. de Alimentos, Mg.Sc. Ph.D. Universidad Le Cordon Bleu, Facultad de Ciencias de los Alimentos. Lima - Lima, Perú; email: oscar.jordan@ulcb.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0002-1280-7704>

⁶Ing. de Alimentos, M.Sc., Ph.D. Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Lima - Lima, Perú; email: rsilva@upeu.edu; <https://orcid.org/0000-0003-4400-7469>

*autor de correspondencia: miriamramos@unheval.edu.pe

Cómo citar: Ramos, M.; Santolalla, S.; Tarrillo, C.; Tuesta, T.; Jordán, O.; Silva, R. 2021. Características fisicoquímicas, textura, color y atributos sensoriales de salchichas comerciales de pollo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1863. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1863>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: febrero 8 de 2021 **Aceptado:** mayo 20 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Las salchichas de pollo son consumidas de forma masiva, al ser una buena alternativa a productos cárnicos de vacuno y cerdo, debido a su fácil acceso y bajo precio. En el mercado, se disponen de presentaciones con características heterogéneas, que identifican la calidad de cada marca. El objetivo fue determinar la composición proximal, pH, características de textura, color y la generación de descriptores sensoriales de cinco marcas comerciales de salchichas de

pollo, tipo hot dog. Las muestras fueron adquiridas en supermercados de Huánuco y Lima, Perú. Se realizó una caracterización proximal, pH, color empleando la escala CIELAB y el perfil de textura (TPA), mientras que, para los descriptores sensoriales, se empleó la técnica de *free listing* empleando 96 consumidores. Las salchichas presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a la composición proximal, textura y atributos colorimétricos, debido a la variedad de ingredientes en su formulación y las características tecnológicas del procesamiento. Se seleccionaron 19 descriptores, según el número

de menciones, siendo, en su mayoría, asociados a la textura y sabor y, en menor porcentaje, a la apariencia y el olor. Estos atributos, se asocian a patrones culturales y la capacidad de verbalización de características sensoriales. Las propiedades determinadas, en este estudio, contribuyen al desarrollo de productos alternativos, debido a que recogen necesidades que el consumidor demanda, al momento de realizar decisiones de compra.

Palabras clave: Color; Pollo; Salchicha; Sensorial; Textura.

ABSTRACT

Chicken sausages are consumed massively because they are a good alternative to beef and pork products. In the market, there are presentations with heterogeneous characteristics, which identify the quality of each brand. The purpose was to determine the proximate composition, pH, traits of texture, color, and the generation of sensorial descriptors of 5 commercial brands of chicken sausages hot dogs type. The samples were acquired in supermarkets located in Huanuco and Lima, Peru. The sausages were characterized in terms of proximate composition, pH, color through the CIELAB scale and the texture profile (TPA), while for sensory descriptors generation the free listing technique based on 96 consumers was used. The sausages presented significant differences ($p < 0,05$) with regards to the proximate composition, texture, and colorimetric attributes due to the variety of the ingredients in their formulation and their technological processing traits. 19 descriptors were selected according to the number mentioned, with the majority associated to texture and taste and the minority to appearance and smell. These attributes are associated to cultural patterns and the verbal capacity of the sensory traits. The properties determined in this study contributed to the development of alternative products, because collected the traits that the consumers wanted at the time of making decisions during purchase.

Keywords: Color; Chicken; Sausages; Sensory; Texture.

INTRODUCCIÓN

En Perú, se comercializa la salchicha, debido a sus costos accesibles y la versatilidad de su consumo, la cual, forma parte de la canasta mínima familiar (INEI, 2018), representando un consumo de alrededor 2.000t/mes, siendo Lima y La Libertad, las regiones con la mayor producción y venta (MINAGRI, 2016). Las salchichas están constituidas por carnes de diversas especies, como aves de corral, vacuno, cerdo, equino o mezclas de estas, grasa, sustitutos de grasa, incorporación de proteínas no cárnicas y otros extensores, para mejorar su capacidad de retención de agua y textura (Alaei *et al.* 2018; Andrès *et al.* 2006).

La carne, al ser uno de los componentes mayoritarios junto con la grasa, influye en las características de composición, de propiedades fisicoquímicas y de atributos sensoriales del producto. Además, cumplen un papel importante en la emulsión cárnica, apariencia deseable, exquisitez, aceptabilidad de la textura y una sensación de saciedad. Por lo tanto, la información declarada por el fabricante

en la etiqueta del producto es importante, para que el consumidor realice una elección inteligente, en razón a sus necesidades y un mejor control en la cadena de comercialización, por lo que se hace necesario contener la información sobre todos los componentes del producto, incluida la fuente de carne (Han *et al.* 2016).

Este estudio se realizó, debido a la inexistencia de investigaciones, a nivel país, que sirvan de referencia para el diseño, el desarrollo y la innovación de esta gama de alimentos, de acuerdo con lo solicitado por el consumidor. Las características sensoriales pueden ser obtenidas directamente de la percepción del consumidor, basados en su conducta alimentaria. La mayoría de los estudios sensoriales solo describen el alimento de forma general, en función del olor, sabor, color, vista, apariencia, textura (suavidad y dureza), sensación en la boca y aceptabilidad (Alaei *et al.* 2018). La aplicación del método de generación de descriptores sensoriales se ha incrementado en los últimos años y permite obtener las características de un producto, desde el punto de vista del consumidor.

Este estudio tuvo como objetivo determinar la composición proximal, el pH, la textura, el color y generar descriptores sensoriales de cinco marcas comerciales de salchichas de pollo, tipo hot dog.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras. Se emplearon 5 marcas de salchichas (SP1, SP2, SP3, SP4 y SP5), de tres lotes diferentes, que fueron obtenidas de supermercados de Lima y de Huánuco, Perú (Cuadro 1), correspondientes a productos que presentan mayor circulación y aceptación en su comercialización (Pajares, 2015).

Métodos de análisis.

Composición proximal. Se realizó, de acuerdo con los métodos AOAC (2007). El contenido de humedad se determinó por pérdida de peso después de 12h de secado, a 105°C, en estufa. El contenido de grasa se estableció por el método Soxhlet, usando un sistema de extracción con solvente, mientras que el contenido de proteína, por el método Kjeldahl. La ceniza, se evaluó utilizando un horno de mufla, a 550°C, por 7 horas y los carbohidratos totales, se calcularon por diferencia; estos valores fueron expresados en base húmeda (b.h.). El valor energético fue calculado empleando los factores de conversión 9Kcal/g, para la grasa y 4Kcal/g, para las proteínas y carbohidratos, respectivamente.

Se empleó el porcentaje proteico total para la categorización de las muestras, de acuerdo con lo descrito por INACAL (2019), de la siguiente manera: económica ($\geq 6\%$), extra ($\geq 8\%$), fino ($\geq 10\%$) y extrafino ($\geq 12\%$).

Determinación de pH. Para este ensayo, se mezcló 10g de la muestra con 100mL de agua destilada, en una licuadora por 2-3min y reposo de 10min. Después, se midió el pH en el líquido filtrado (AOAC, 2007).

Análisis de perfil de textura (TPA). Las características de textura de las salchichas se analizaron mediante el TPA, empleando muestras de

Cuadro 1. Descripción de ingredientes de las marcas comerciales de salchichas de pollo.

Codificación	Descripción de ingredientes
SP1	Carne mecánicamente deshuesada de pollo, carne de cerdo, agua, proteína de soya (GM), sal, almidón modificado (SIN 1422), emulsionantes (SIN 451(i), SIN 450 (iii) y SIN 450 (i)), saborizantes, conservantes (SIN 234 y SIN 262 (i)), regulador de acidez (SIN 325), antioxidante (316), colorante (SIN 120) y agente fijador de color (SIN 250).
SP2	Carne deshuesada mecánicamente de pollo, agua, almidón de maíz, piel de pollo, hígado con corazón de pollo, sal, proteína de soya, saborizante artificial, sucedáneo de sal (Cloruro de potasio y amónico), extracto de levadura, apio, cebolla, regulador de acidez (SIN 500 (ii)) y antiaglutinante (SIN 551), corrector de acidez (maltodextrina, sustancia conservadora (SIN 262 (i)), regulador de acidez (SIN 270), estabilizador (SIN 471) y antiaglutinantes (SIN 341 (iii), SIN 551), estabilizadores (SIN 451 (ii), 451 (i), SIN 450 (v), SIN 450 (iii)), almidón modificado (SIN 1422), colágeno de bovino en fibra, colágeno de cerdo, antioxidante (SIN 316), sal de cura, agente fijador de color (SIN 250) y colorante (SIN 171).
SP3	Carne de pollo, piel de pollo, proteína de soya (OGM), almidón, sal, regulador de acidez (SIN 325), sustancias conservadoras (SIN 262 (i), SIN 262 (ii) y SIN 250), emulsionantes (SIN 450 (i), SIN 450 (iii), SIN (451 (i) y SIN 452 (ii)), antioxidantes (SIN 316), acentuador de sabor (SIN 621), saborizante, pimienta blanca, cebolla, nuez moscada y colorante (SIN 120, SIN 110, SIN 129).
SP4	Carne de pollo, almidón, cuero de cerdo, sal, cebolla, saborizantes (acentuadores del sabor (SIN 621 y SIN 627), sustancias conservadoras (SIN 262 (i), SIN 262 (ii)), proteína de soya, ajo, regulador de acidez (SIN 325, SIN 451 (i), SIN 450 (i), SIN 338), acentuador de sabor (SIN 508), dextrosa, colorantes (SIN 120, SIN 110, SIN 129, SIN 150d), antioxidantes (SIN 316), espesante (SIN 466) y agente fijador de color (SIN 250).
SP5	Carne de pollo, carne mecánicamente deshuesada de pollo, agua, piel de cerdo, almidón de maíz (OGM), proteína de soya (OGM), piel de pollo, aroma natural, espesantes (SIN 415, SIN 407, SIN 425), sal, gelatina porcina, espesantes (SIN 407, SIN 508) estabilizantes (SIN 451 (i), SIN 452 (i)), saborizante autorizado, cebolla deshidratada en polvo, saborizante a humo, ajo deshidratado en polvo, agente fijador de color (SIN 250) y proteína porcina (hemoglobina)

20mm de longitud y 19mm de diámetro, con un texturómetro marca Brookfield (modelo CT325K), sonda cilíndrica (36mm de diámetro y 12mm altura), una celda de carga de 25g-f, a una velocidad de 0,67mm/s y doble compresión, hasta el 50% de la altura inicial, según lo descrito por Zouari *et al.* (2012), con modificaciones.

Parámetros de color. El color interno de las salchichas se determinó de acuerdo con las recomendaciones de Schmidt *et al.* (2017), con modificaciones. Previamente, se realizó una reducción de tamaño de partícula ($0,14 \pm 0,01$ cm) y se midió en una cubeta óptica portátil del colorímetro (Lovibond LC 100), empleando el iluminante D65. Se registraron coordenadas del sistema CIELab, en términos de L* (Luminosidad), a* (rojo/verde), b* (azul/amarillo), C* (Croma) y h* (Ángulo del tono).

Análisis sensorial. Para la generación de los descriptores, se utilizaron muestras comerciales en circulación, que fueron evaluadas por 96 consumidores habituales del producto, procedentes de cuatro universidades peruanas (UNHEVAL, UNI, ULCB y UPeU), conformado por 61% varones y 35% mujeres, con edades entre 19-50 años, quienes participaron voluntariamente, previa explicación del análisis, mediante un consentimiento informado. Con el vocabulario generado, se realizó un conteo de palabras, de acuerdo con las recomendaciones de Moussaoui & Varela (2010). Los productos (cubos de 2cm de arista) fueron servidos de forma monádica a condiciones ambientales, en platos descartables, acompañados de mondadiente y agua de mesa, para la limpieza del paladar, entre cada muestra.

Diseño experimental y análisis estadístico. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), para evaluar las diferencias entre las marcas de salchichas, de tres lotes diferentes, empleando, como variables, respuestas la humedad, la proteína, la grasa, la ceniza, el valor energético, pH, L*, a*, b*, C* y h* (analizados por triplicado), mientras que las características de dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad fueron evaluadas por 8 veces. Los resultados, se analizaron mediante un análisis de varianza, seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey al 95% de confiabilidad y reportados como promedio \pm desviación estándar.

El vocabulario sensorial generado por los consumidores fue de naturaleza cualitativa y se analizó mediante una tabla de frecuencias y conteo de palabras (Moussaoui & Varela, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición proximal y pH de salchichas de pollo. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las características evaluadas (Tabla 1). El contenido de humedad varió de 60,16 a 68,93%, donde las muestras con mayor humedad fueron SP3, SP5 y SP2 (68,92 a 67,38%), en relación a SP1 y SP4 (60,18 a 61,49%). Estos resultados se encuentran dentro del rango (56,48 a 68,85%), reportado por Huda *et al.* (2010), para salchichas de pollo comercializadas en Malasia. La diferencia entre los valores porcentuales mínimos y máximos evidencia una mayor variabilidad (12,37%) entre productos del mercado malayo versus al peruano (8,74%). Dada la inexistencia de especificaciones técnicas claras

en la normativa peruana, se contrastó con las reglamentaciones regionales, en esta gama de productos, encontrando que, en Brasil, se admite una humedad máxima de 65% (SDA, 2000), mientras en Nicaragua (La Gaceta, 2018) y Costa Rica (La Gaceta, 2008) puede llegar a $\leq 75\%$. La variabilidad de humedad entre las muestras se debe, principalmente, a la capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de emulsificación que otorga en conjunto la cantidad de proteína y de grasas empleadas (Sousa *et al.* 2017). A esto, se puede sumar el tipo de carne, de acuerdo con la especie de origen, entre otros ingredientes de la formulación.

Las muestras presentaron un contenido proteico entre 8,20 a 15,85%, de las cuales, los mayores valores fueron reportados para SP3 y SP1 (15,75 a 15,85%), asociado al contenido de proteínas cárnicas y no cárnicas, declaradas en la etiqueta. INACAL (2019) menciona que este tipo de productos debe contener un nivel mínimo total de proteínas de 6, 8, 10 y 12%, correspondientes a las categorías de económica, extra, fino y extrafino. De acuerdo con esta categorización, se tiene una marca extra (SP2), dos finas (SP4 y SP5) y dos extrafinas (SP1 y SP3). Las muestras con mayor contenido proteico tuvieron el valor comercial más elevado ($\approx \$2,00/250g$), comportamiento que, probablemente, se atribuya a la presencia

Tabla 1. Composición químico proximal (% b.h.) y pH de muestras comerciales de salchichas de pollo.

Características	Muestras codificadas				
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Humedad (%)	60,18 \pm 0,30 ^b	67,38 \pm 0,06 ^a	68,92 \pm 0,07 ^a	61,49 \pm 1,91 ^b	67,91 \pm 0,59 ^a
Proteína (%)	15,85 \pm 0,21 ^a	8,20 \pm 0,00 ^d	15,75 \pm 0,21 ^a	10,30 \pm 0,14 ^c	10,95 \pm 0,07 ^b
Grasa (%)	19,20 \pm 0,28 ^a	6,80 \pm 0,14 ^d	7,30 \pm 0,14 ^d	11,70 \pm 0,00 ^b	10,00 \pm 0,00 ^c
Ceniza (%)	4,38 \pm 0,29 ^a	2,48 \pm 0,06 ^c	2,65 \pm 0,06 ^c	2,84 \pm 0,04 ^c	3,76 \pm 0,08 ^b
Carbohidratos (%)*	0,40 \pm 0,06 ^d	15,15 \pm 0,14 ^a	5,39 \pm 0,48 ^b	13,68 \pm 1,73 ^a	7,39 \pm 0,59 ^b
Valor energético (Kcal)	237,78 \pm 1,44 ^a	154,60 \pm 0,70 ^c	150,24 \pm 0,17 ^c	201,20 \pm 7,49 ^b	163,34 \pm 2,06 ^c
pH	6,27 \pm 0,01 ^b	6,46 \pm 0,01 ^a	5,90 \pm 0,01 ^d	6,12 \pm 0,04 ^c	5,94 \pm 0,01 ^d

*Por diferencia. b.h.: Base húmeda. Marcas comerciales (SP1, SP2, SP3, SP4 y SP5). Superíndices con letras distintas indican diferencias significativas.

mayoritaria del componente cárnico, dado que este análisis cuantifica proteína total y no discrimina entre proteínas vegetales o animales. La variabilidad del contenido proteico, se correlaciona con la existencia de un marco normativo, que permite porcentajes finales de 6 a 12%, lo cual, posibilita el uso de carne en diferentes proporciones e incorporación de féculas, con la finalidad de abaratar costos y llegar a diferentes sectores socioeconómicos. Esta misma tendencia ha sido reportada por Huda *et al.* (2010), quienes describen contenidos de proteína entre 7,03 a 14,14%. Por otro lado, se contrastó que existen diferencias entre la composición declarada en la etiqueta, con los hallazgos de este estudio.

El contenido de grasa fluctuó entre 6,80 a 19,20%, siendo SP1 (19,2%) la muestra con el mayor tenor graso. Esta misma variabilidad ha sido reportada en otros estudios en salchichas comerciales de pollo (Pereira *et al.* 2000; Huda *et al.* 2010); ninguna de las muestras evaluadas excedió los valores contemplados por la legislación peruana (INACAL, 2019). Actualmente, la mayoría de estos productos presentan la advertencia de “alto en grasas saturadas”, por ello, la búsqueda de sustitutos de grasa constituye un reto para la industria cárnica, debido a las cualidades sensoriales y tecnofuncionales que la grasa confiere, por lo que se necesitan estudios para identificar sustitutos de grasa, que mantengan estables estas particularidades, a fin de hacerlos más saludables. El contenido promedio de carbohidratos fue 8,4%, siendo SP1, el más bajo

(0,4%). Los carbohidratos totales, se asocian al empleo de almidón, de acuerdo con la declaración de ingredientes (Cuadro 1). Las muestras menos costosas ($\approx \$1,00/250g$) registraron los valores de carbohidratos más altos, probablemente, atribuido al uso de almidón, para reducir costos y tener mayor cobertura en el mercado, a través de productos económicos.

El componente minoritario fue la ceniza (2,48 a 4,38%), que está representado por los minerales de la materia prima, aditivos y el cloruro de sodio. Este rango fue superior en comparación al reportado (2,17 a 3,30%) por Huda *et al.* (2010), en salchichas comerciales de Malasia. Cabe señalar, que la reglamentación peruana regula el empleo de sodio, a través de la “Ley de Promoción de la alimentación saludable” (El Peruano, 2017), que contempla que, al exceder 400mg/100g de alimento sólido, el fabricante debe incluir una advertencia publicitaria de “Alto en Sodio”, siendo una característica con la que se vienen comercializando estos productos. Finalmente, la reformulación del producto recae en las decisiones de las empresas, basada en las tendencias de consumo.

El valor energético de las muestras fluctuó de 150,24 a 237,78Kcal/100g, en donde SP1 presentó el valor más alto en relación a las otras marcas. A partir del estudio de Huda *et al.* (2010), se calcularon los valores energéticos de salchichas comerciales de pollo, que resultaron entre 117,07 a 248,28Kcal/100g. La

variabilidad encontrada en este estudio se relacionó al contenido de macronutrientes, habiendo registrado un mínimo del 39% de la energía total, proveniente de las grasas. Lo anterior indica que el empleo de sustitutos de grasa representaría una reducción significativa en las calorías totales. El pH fluctuó entre 5,90 a 6,24, atribuido directamente a la carne e insumos, empleados en la formulación (ácidos y sales), dado que, en esta categoría de productos, no existen etapas de fermentación o maduración. Para salchichas elaboradas con carne de cerdo y res reducidas en grasa, se han reportado valores entre 5,8 – 6,3 (Quino & Alvarado, 2014). Cabe señalar que durante el almacenamiento puede ocurrir un descenso del pH, por efecto de reacciones posteriores e interacción de ingredientes (Venturini *et al.* 2011).

Análisis de perfil de textura (TPA). El análisis de perfil de textura reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras comerciales (Tabla 2), reflejando la inexistencia de un producto estándar, en cuanto a características de textura. El valor más elevado de dureza fue para SP3, caracterizada por presentar un alto valor proteico y bajo tenor de grasa, lo que sugiere que la dureza se relaciona con el balance entre la carne y la grasa, para la

formación de la emulsión cárnica. Este mismo comportamiento ha sido reportado por Huda *et al.* (2010), quienes, a su vez, atribuyen como factores responsables de la dureza al tipo y corte de carne, el método de deshuesado, el agua de formulación y aditivos. Los valores de masticabilidad y de gomosisidad fueron semejantes entre SP4 y SP3 ($p > 0,05$). La masticabilidad presentó una buena correlación con la dureza ($R^2 = 0,98$). Para la elasticidad, se formaron dos grupos de muestras, los de mayor (SP1, SP3 y SP4) y menor (SP5 y SP2) elasticidad. Al respecto, Choi & Chin (2020) señalan que la elasticidad está sujeta a los niveles de sal y fosfatos empleados en la formulación, reportando que, a mayor concentración de estos aditivos, se origina un incremento en la elasticidad y la dureza. Otro factor que incrementa la elasticidad lo constituye la fibra soluble, debido a su capacidad de retención de agua (Méndez-Zamora *et al.* 2015).

La variabilidad presentada entre las muestras por cada característica de textura está asociada a los ingredientes de la formulación y la tecnología particular de cada empresa. En efecto, los ingredientes declarados en las etiquetas demuestran la utilización de hidrocoloides, emulsificantes y polímeros (proteína de soya, almidones nativos y modificados). Estos últimos son responsables de la estabilidad

Tabla 2. Propiedades mecánicas de salchichas comerciales de pollo según análisis TPA.

Características	Muestras codificadas				
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Dureza (N)	36,26±2,17 ^c	26,90±1,92 ^d	48,42±3,48 ^a	42,46±4,32 ^b	20,62±2,07 ^c
Elasticidad (mm)	8,94±0,07 ^a	8,50±0,38 ^b	8,91±0,10 ^a	8,85±0,09 ^a	8,46±0,15 ^b
Cohesividad	0,63±0,03 ^b	0,57±0,01 ^c	0,59±0,04 ^{cb}	0,68±0,01 ^a	0,46±0,07 ^d
Gomosisidad (N)	22,67±1,84 ^b	15,28±0,88 ^c	28,63±2,77 ^a	28,87±2,76 ^a	9,53±2,30 ^d
Masticabilidad (J)	0,20±0,02 ^b	0,13±0,01 ^c	0,25±0,02 ^a	0,26±0,03 ^a	0,08±0,02 ^d

*Marcas comerciales (SP1, SP2, SP3, SP4 y SP5).

Superíndices con letras distintas indican diferencias significativas.

estructural e integridad de las salchichas (Majzoobi *et al.* 2017); por ejemplo, debido a las temperaturas de cocción, las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas se despliegan y enredan entre sí para formar un sólido viscoelástico. Este proceso, se conoce como gelificación y explica la textura más dura, mientras una textura más suave, se asocia a una estructura débil, por el empleo de proteínas no cárnicas y carbohidratos, en la formulación que alteran la matriz (Leonard *et al.* 2019). A este comportamiento, se sumaría la cantidad y el tipo de grasa; en el caso de las muestras estudiadas, la grasa procedía de tejidos animales, sin empleo de aceites vegetales.

La sustitución de los componentes primarios de la formulación por constituyentes, como carne magra, aceite, proteínas de origen animal y vegetal, carbohidratos (gomas, almidón modificado, inulina) y aditivos espesantes y estabilizantes, necesitan ser optimizados, para lograr propiedades de emulsión, estructurales y características propias del producto (Choi *et al.* 2016; Santhi *et al.* 2017; Yashini *et al.* 2021).

Parámetros de color. Los parámetros colorimétricos (Tabla 3) exhibieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las salchichas de pollo. Encontrando un contraste entre SP3 y SP1, que se atribuye al contenido de grasa, así como a interacciones de los componentes de la formulación, que afectan la formación del gel y la capacidad de retención del agua (Cegiela *et al.* 2017).

Los estudios han demostrado que, al reducir el contenido de grasa con la finalidad de obtener productos ligeros, ocurren cambios significativos en los parámetros de color, asociados al tipo y cantidad de grasa empleada (Shin *et al.* 2020). Los valores máximos y mínimos de rojez (a^*) fueron para SP2 y SP3, característica influida por el empleo del colorante carmín en la formulación (Venturini *et al.* 2011), para compensar la baja pigmentación de la materia prima. Los niveles de amarillo (coordenada b^*) fueron superiores para SP1 e inferiores en SP2, que presentó un amarillo más opaco. El croma está asociado al efecto de ambas coordenadas y hacen que, matemáticamente, exista una similitud entre los tratamientos SP2,

SP4 y SP1, en comparación a SP3 y SP5. El ángulo de tono (h^*) no evidenció una correlación con los parámetros a^* , b^* y C^* . Al respecto, la incorporación de colágeno provoca un aumento en el parámetro b^* relacionado con la tonalidad amarilla y reduce el valor de a^* (Schmidt *et al.* 2017). A excepción de la marca SP1, todas las demás declaran haber empleado colágeno en su formulación, pero se desconoce la proporción usada. La diversidad del color se asocia con el uso de ingredientes declarados en la etiqueta (Cuadro 1), así como a las carnes utilizadas, la relación carne/grasa y la cantidad de aditivos (nitritos y colorante carmín), usados por cada empresa (Polizer-Rocha *et al.* 2019). También, los procesos tecnológicos ocasionan la interacción de la mioglobina con los polisacáridos y la proteína de soya, originando la disolución del pigmento (Schmidt *et al.* 2017). Las investigaciones han demostrado que la inclusión de colágeno hidrolizado para reemplazar parcialmente la grasa de cerdo ocasiona niveles de amarillo más altos (Sousa *et al.* 2017).

Dependiendo de la naturaleza del sustituto empleado pueden ocurrir cambios notables en los valores de luminosidad, enrojecimiento y amarillez (Choi *et al.* 2016). Este comportamiento cromático, se ratifica por la distribución del agua en la estructura del alimento y la interacción entre los componentes de la formulación, que afectan las características superficiales de textura y la forma, como la luz es reflejada (Majzoobi *et al.* 2017).

Análisis sensorial - Generación de descriptores. Durante el desarrollo de esta etapa, los consumidores generaron 425 descriptores válidos, a razón de 6 términos por persona, que se agruparon por su similitud en 28 términos, consolidando, finalmente, 19 descriptores, por su mayor número de menciones (Figura 1), cifra acorde con las recomendaciones de Jaeger *et al.* (2015). Los descriptores restantes tuvieron una mención por debajo del 2,28%.

Tabla 3. Parámetros del color de salchichas comerciales de pollo.

Características	Muestras codificadas				
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Luminosidad (L^*)	51,51±2,80 ^c	57,29±1,50 ^b	65,63±2,12 ^a	58,03±6,32 ^b	58,20±2,49 ^b
Rojez (a^*)	14,01±0,59 ^c	19,06±0,45 ^a	11,17±1,11 ^d	16,67±1,89 ^b	13,26±0,52 ^c
Amarillez (b^*)	14,89±1,12 ^a	9,37±0,85 ^d	12,87±0,53 ^b	12,81±0,96 ^b	10,72±1,05 ^c
Cromaticidad (C^*)	20,53±0,94 ^a	21,12±0,64 ^a	17,07±0,61 ^b	21,03±2,05 ^a	17,07±0,36 ^b
Ángulo de Tono (h^*)	46,70±2,62 ^a	26,40±2,12 ^c	49,10±3,58 ^a	37,63±1,60 ^b	38,89±3,71 ^b

*Marcas comerciales (SP1, SP2, SP3, SP4 y SP5).

Superíndices con letras distintas indican diferencias significativas.

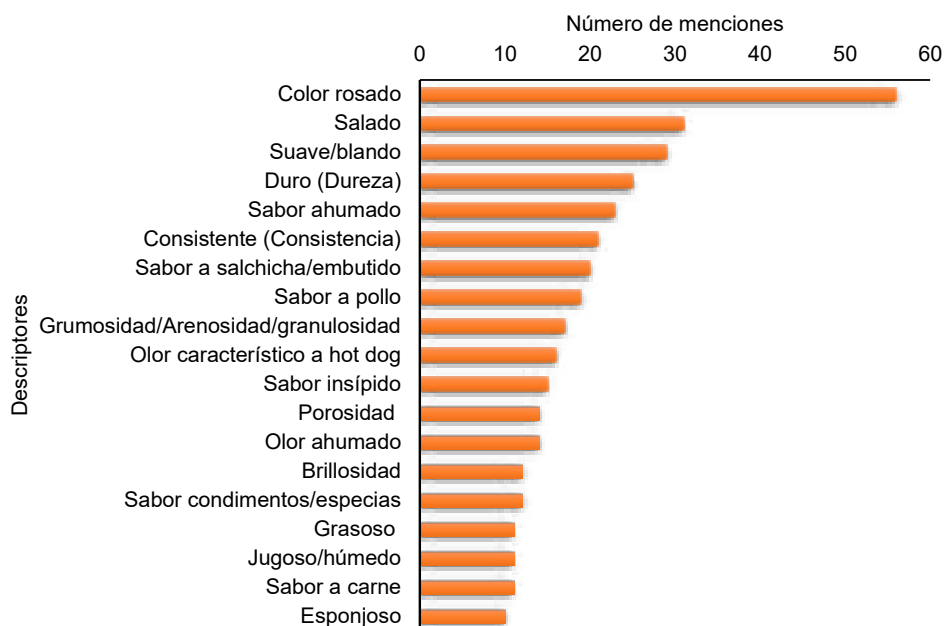


Figura 1. Generación de descriptores sensoriales a nivel de consumidores.

En comparación con los descriptores empleados en estudios similares, se encontraron hasta 5 coincidencias con los 19 descriptores utilizados (Tabla 4). En dichos estudios trabajaron con consumidores y jueces entrenados, empleando descriptores sensoriales, sin declarar el origen de estos. Los términos encontrados en este estudio resultan del lenguaje del consumidor (Figura 1), lo cual, se asocia a patrones alimentarios de consumo y experticia en la generación de descriptores (verbalización).

Estos resultados son el referente para el diseño y el desarrollo de productos alternativos, vinculados a las necesidades del consumidor, cuyas modificaciones de la formulación convencional se pueden ver afectadas por la diversidad de insumos empleados como sustitutos de grasa y que requieren ser estudiados para optimizarlos, atendiendo la demanda de productos funcionales, con una buena aceptabilidad en el mercado.

Tabla 4. Descriptores encontrados en otros estudios para la caracterización sensorial de salchichas de pollo.

Referencia	Tipo de prueba	Nº de Jueces	Descriptores	Descriptores similares (números)
Babji <i>et al.</i> (1998)	Afectiva Escala hedónica (7 puntos)	30 (consumidores)	Aroma, color, apariencia, dureza, jugosidad, sabor a pollo, sabor aceitoso, sabor rancio y aceptabilidad general	4
Tan <i>et al.</i> (2001)	Afectiva Escala hedónica (7 puntos)	30 (consumidores)	Aroma, color externo, color interno, dureza, sabor a pollo, untuosidad y aceptabilidad general	2
Alaei <i>et al.</i> (2018)	Afectiva Escala hedónica (9 puntos)	10 (Entrenados)	Olor, sabor, color, apariencia, vista, textura (suavidad y dureza), sensación en la boca y aceptabilidad general	2
Peña <i>et al.</i> (2020)	Afectiva Escala hedónica (97 puntos)	7 (Entrenados)	Color, sabor, sabor a carne, sabor a condimento, salado, sin sabor, dureza, masticabilidad, sensación grasosa bucal	5

De los anteriores resultados, se concluye que las salchichas comerciales presentaron variabilidad en la composición proximal, pH, características de textura y color, comportamiento que se explica por la diversidad de ingredientes empleados en la formulación, características tecnológicas del proceso y la amplitud, que permite la normativa, en cuanto a la composición, por lo cual, las empresas producen gamas de productos, para llegar a distintos sectores socioeconómicos. Dado que el consumidor viene demandando alimentos saludables y el gobierno establece normativas complementarias, en un futuro, se avizora el empleo de nuevas fuentes proteicas alternativas a la carne, sustitutos de grasa y reducción de sal.

Agradecimientos. Los autores agradecen a los integrantes del grupo de investigación “Alimentos de Origen Animal y Vegetal - GIAAV - FCA”, de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco - Perú. **Conflictos de interés:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Por los autores.

REFERENCIAS

1. ALAEI, F.; HOJJATOLESLAMY, M.; HASHEMI DEHKORDI, S.M. 2018. The effect of inulin as a fat substitute on the physicochemical and sensory properties of chicken sausages. *Food Science & Nutrition* (Estados Unidos). 6(2):512-519. <https://doi.org/10.1002/fsn3.585>
2. ANDRÈS, S.; ZARITZKY, N.; CALIFANO, A. 2006. The effect of whey protein concentrates and hydrocolloids on the texture and colour characteristics of chicken sausages. *Internal J. Food Science and Technology* (Reino Unido). 41(8):954-961. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01152.x>
3. AOAC. 2007. *Official Methods of Analysis of AOAC international*. 18th ed. Rev 2. AOAC International.
4. BABJI, A.S.; CHIN, S.Y.; SERI CHEMPAKA, M.Y.; ALINA, A.R. 1998. Quality of mechanically deboned chicken meat frankfurter incorporated with chicken skin. *International J. Food Sciences and Nutrition* (Reino Unido). 49:319-326. <https://doi.org/10.3109/09637489809089405>

5. CEGIELKA, A.; GNIEWOSZ, M.; HAĆ-SZYMAŃCZUK, E.; CHLEBOWSKA-ŚMIGIEL, A. 2017. Effect of the addition of pullulan on the quality of low-fat homogenized scalded sausages. *CyTA – J. Food*. (Reino Unido). 15(1):147-154.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1225125>
6. CHOI, J.S.; CHIN, K.B. 2020. Evaluation of physicochemical and textural properties of chicken breast sausages containing various combinations of salt and sodium tripolyphosphate. *J. Animal Science and Technology*. (Korea). 62(4):577-586.
<https://doi.org/10.5187/JAST.2020.62.4.577>
7. CHOI, Y.S.; KIM, Y.B.; HWANG, K.E.; SONG, D.H.; HAM, Y.K.; KIM, H.W.; SUNG, J.M.; KIM, C.J. 2016. Effect of apple pomace fiber and pork fat levels on quality characteristics of uncured, reduced-fat chicken sausages. *Poultry Science*. (Estados Unidos). 95(6):1465-1471.
<https://doi.org/10.3382/ps/pew096>
8. EL PERUANO. 2017. Decreto supremo que aprueba el reglamento de la Ley No 30021, Ley de Promoción de la Alimentación Saludable. (Decreto Supremo No 07-2017-SA). Disponible desde Internet en:
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-la-ley-n-30021-decreto-supremo-n-017-2017-sa-1534348-4/> (con acceso 09/01/2021).
9. HAN, S.H.; OH, H.S.; CHO, I.C. 2016. Identifying the species of origin in commercial sausages in South Korea. *J. Applied Animal Research*. (Estados Unidos). 45(1):179-184.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1124334>
10. HUDA, N.; WEI, L.H.; JEAN, A.T.L.; ISMAIL, I. 2010. Physicochemical properties of Malaysian commercial chicken sausages. *Internal J. Poultry Science*. (Pakistan). 9(10):954-958.
11. INACAL. 2019. Carne y Productos Cárnicos. Embutidos con tratamiento térmico después de embutir o enmoldar. Definiciones, clasificación y requisitos. NTP 201.006 (Revisada el 2019). Lima - Perú.
12. INEI. 2018. Compendio Estadístico. Perú - Ministerio de Agricultura y Riego. Disponible desde Internet en:
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1635/cap13/cap13.pdf (con acceso 03/02/2021).
13. JAEGER, S.R.; BERESFORD, M.K.; PAISLEY, A.G.; ANTÚNEZ, L.; VIDAL, L.; CADENA, R.S.; GIMÉNEZ, A.; ARES, G. 2015. Check-all-that-apply (CATA) questions for sensory product characterization by consumers: Investigations into the number of terms used in CATA questions. *Food Quality and Preference*. (Reino Unido). 42:154-164.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.02.003>
14. LA GACETA. 2008. RTCR:411-2008 Productos cárnicos embutidos: salchicha, salchichón, mortadela y chorizo. Especificaciones. Disponible desde Internet en:
http://www.puntofocal.gov.ar/notific_otros_miembros/cr176_t.pdf (con acceso 09/05/2021).
15. LA GACETA. 2018. Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense. Carne y productos cárnicos. Embutidos cárnicos. Características y especificaciones. Disponible desde Internet en:
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/nic190903.pdf> (con acceso 09/05/2021).
16. LEONARD, W.; HUTCHINGS, S.C.; WARNER, R.D.; FANG, Z. 2019. Effects of incorporating roasted lupin (*Lupinus angustifolius*) flour on the physicochemical and sensory attributes of beef sausage. *Internal J. Food Science and Technology*. 54(5):1849-1857.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.14088>
17. MAJZOBI, M.; TALEBANFAR, S.; ESKANDARI, M.H.; FARAHNAKY, A. 2017. Improving the quality of meat-free sausages using k-carrageenan, konjac mannan and xanthan gum. *Internal J. Food Science and Technology*. 52(5):1269-1275.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13394>
18. MÉNDEZ-ZAMORA, G.; GARCÍA-MACÍAS, J.A.; SANTELLANO-ESTRADA, E.; CHÁVEZ-MARTÍNEZ, A.; DURÁN-MELÉNDEZ, L.A.; SILVA-VÁZQUEZ, R.; QUINTERO-RAMOS, A. 2015. Fat reduction in the formulation of frankfurter sausages using inulin and pectin. *Food Science and Technology (Brasil)*. 35(1):25-31.
<https://doi.org/10.1590/1678-457X.6417>
19. MINAGRI. 2016. Anuario Estadístico de la Producción Agroindustrial Alimentaria 2016. Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Lima - Perú. Disponible desde Internet en:
https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_y_estadisticas/anuarios/agroindustria/agroindustria_2016.pdf (con acceso 03/02/2021).
20. MOUSSAOUI, K.A.; VARELA, P. 2010. Exploring consumer product profiling techniques and their linkage to a quantitative descriptive analysis. *Food Quality and Preference*. (Reino Unido). 21(8):1088-1099.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.09.005>

21. PAJARES, G. 2015. ¿Cuál es el mejor hot dog que se vende en el Perú? Disponible desde internet en: <https://peru21.pe/vida/mejor-hot-dog-vende-peru-166621-noticia/> (con acceso 09/05/2021)
22. PEÑA-SALDARRIAGA, L.M.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. 2020. Quality properties of chicken emulsion-type sausages formulated with chicken fatty byproducts. *Foods*. (Suiza). 9(4):507. <https://doi.org/10.3390/foods9040507>
23. PEREIRA, N.R.; TARLEY, C.R.T.; MATSUSHITA, M.; DE SOUSA, N.E. 2000. Proximate composition and fatty acid profile in Brazilian poultry sausages. *J. Food Composition and Analysis* (Estados Unidos). 13(6):915-920. <https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0919>
24. POLIZER ROCHA, Y.J.; LORENZO, J.M.; BARROS, J.C.; BALDIN, J.C.; TRINDADE, M.A. 2019. Effect of chicken meat replacement by spent laying hen meat on physicochemical properties and sensorial characteristics of fresh sausage. *British Poultry Science* (Reino Unido). 60(2):139-145. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1568392>
25. QUINO, M.; ALVARADO, J. 2014. Efectos físicoquímicos y sensoriales del uso de fibra dietaria en salchichas tipo viena reducida en grasas. *Rev. Boliviana de Química*. (Bolivia). 31(2):110-115.
26. SANTHI, D.; KALAIKANNAN, A.; SURESHKUMAR, S. 2017. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. (Estados Unidos). 57(10):2021-2027. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.858027>
27. SCHMIDT, M.M.; DORNELLES, R.C.P.; VIDAL, A.R.; FONTOURA, A.; KUBOTA, E.H.; MELLO, R.O.; KEMPKA, A.P.; DEMIATE, I.M. 2017. Development of cooked and smoked chicken sausage with reduced sodium and fat. *J. Applied Poultry Research*. (Estados Unidos). 26(1):130-144. <https://doi.org/10.3382/japr/pfw054>
28. SDA. 2000. Aprovar os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha. Disponible desde Internet en: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-sda-4-de-31-03-2000,662.html> (con acceso 03/02/2021).
29. SHIN, D.J.; LEE, H.J.; LEE, D.; JO, C.; CHOE, J. 2020. Fat replacement in chicken sausages manufactured with broiler and old laying hens by different vegetable oils. *Poultry Science*. 99(5):2811-2818. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.01.008>
30. SOUSA, S.C.; FRAGOSO, S.P.; PENNA, C.R.A.; ARCANJO, N.M.O.; SILVA, F.A.P.; FERREIRA, V.C.S.; BARRETO, M.D.S.; ARAÚJO, Í.B.S. 2017. Quality parameters of frankfurter-type sausages with partial replacement of fat by hydrolyzed collagen. *LWT - Food Science and Technology*. (Países Bajos). 76:320-325. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.034>
31. TAN, S.S.; AMINAH, A.; AFFANDI, Y.M.S.; ATIL, O.; BABJI, A.S. 2001. Chemical, physical and sensory properties of chicken frankfurters substituted with palm fats. *International J. Food Sciences and Nutrition*. (Reino Unido). 52:91-98. <https://doi.org/10.1080/09637480020027282>
32. VENTURINI, A.C.; CAVENAGHI, Â.D.; CASTILLO, C.J.C.; QUIÑONES, E.M. 2011. Sensory and microbiological evaluation of uncured fresh chicken sausage with reduced fat content. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. (Brasil). 31(3):629-634. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612011000300012>
33. YASHINI, M.; SUNIL, C.K.; SAHANA, S.; HEMANTH, S.D.; CHIDANAND, D.V.; RAWSON, A. 2021. Protein-based Fat Replacers—A Review of Recent Advances. *Food Reviews International*. (Estados Unidos). 37(2):197-223. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1701007>
34. ZOUARI, N.; AYADI, M.A.; HADJ-TAIEB, S.; FRIKHA, F.; ATTIA, H. 2012. Whey powder, l-carrageenan, and fat interactions and their influence on instrumental texture and sensory properties of Turkey meat sausage using a mixture design approach. *Internal J. Food Properties*. (Estados Unidos). 15(6):1233-1246. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.517885>



Arthropods associated with a *Bombus pauloensis* (Hymenoptera: Apidae: Bombini) nest in the Sabana of Bogotá (Colombia)

Artrópodos asociados a un nido de *Bombus pauloensis* (Hymenoptera: Apidae: Bombini) en la Sabana de Bogotá (Colombia)

Francisco Javier Posada-Flórez¹; Lorena Téllez-Farfán²

¹Agronomist Engineer, Ph.D. Bee Research Laboratory, Agricultural Research Center, United States Department of Agriculture, Beltsville - Maryland, United States of America; e-mail: fjavierposada@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7349-2240>

²Professional in Environmental Sciences, Biology M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Laboratorio de Investigaciones en abejas, LABUN. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: tlezlarena@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5722-1339>

How to cite: Posada-Flórez, F.J.; Téllez-Farfán, L. 2021. Arthropods associated with a *Bombus pauloensis* (Hymenoptera: Apidae: Bombini) nest in the Sabana of Bogotá (Colombia). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1590. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1590>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education.

Received: July 6, 2020 **Accepted:** April 28, 2021 **Edited by:** Helber Adrian Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Bumblebees are important natural pollinators due to their services to wild and cultivated plants. They commonly nest in cavities in the ground where they are exposed to numerous organisms or interact with them. One *Bombus pauloensis* nest in the Sabana of Bogotá (Colombia) was transferred to an artificial nest and relocated close to a honeybee apiary after the original nest was threatened by an intentional fire. The objective was to preserve the colony and simultaneously identify arthropods associated with a bumblebee nest as this is poorly studied in Colombia. Samples of the organisms found in the bumblebees' nest were collected for taxonomic identification. Several commensal, scavenger and parasitic organisms were found, including *Antherophagus* sp. (Coleoptera: Cryptophagidae), wireworm beetles (Coleoptera: Elateridae), *Fannia canicularis* (Diptera: Fanniidae), and mites of genera *Parasitellus* and

Pneumolaelaps. This is the first report of other organisms besides *Antherophagus* from a *B. pauloensis* nest in Colombia.

Keywords: Bumblebee; Natural nest; Parasites; Detritivores; Commensal.

RESUMEN

Los abejorros son polinizadores importantes en la naturaleza, debido a que prestan su servicio a plantas silvestres y cultivadas. Naturalmente, anidan en cavidades en el suelo, donde se pueden exponer a una gran variedad de organismos o interactuar con estos. Un nido de *Bombus pauloensis* en la Sabana de Bogotá fue transferido a un nido artificial y reubicado cerca de un apiario, debido a que el nido original fue quemado intencionalmente. Se tuvo por objetivo

preservar la colonia e identificar los artrópodos asociados, ya que son poco estudiados en Colombia. Se tomaron muestras de los organismos encontrados en el nido, para determinación taxonómica. Varios organismos con hábitos comensales, descomponedores y parásitos se encontraron, incluyendo *Antherophagus* sp. (Coleoptera: Cryptophagidae), cucarrones del gusano alambre (Coleoptera: Elateridae), *Fannia canicularis* (Diptera: Fanniidae) y ácaros de los géneros *Parasitellus* y *Pneumolaelaps* (Acarina). Este es el primer reporte de otros organismos, diferentes de *Antherophagus*, para un nido de *B. pauloensis*, en Colombia.

Palabras clave: Abejorros; Nido natural; Parásitos; Detritívoros; Comensales.

INTRODUCTION

The *Bombus* genus (Hymenoptera: Apidae: Bombini) consists of nearly 250 species worldwide (Williams *et al.* 2008) and is recognized by its potential as a pollinator in certain crops, especially solanaceous and some ericaceous plants (Delaplane & Mayer, 2000; Goulson, 2010; Abrol, 2012). The bees of this genus build underground or ground-level nests using hollow cavities made by other organisms or make domes using branches and leaves (Cameron *et al.* 1999; Michener, 2007; Goulson, 2010). Worldwide, there is a great concern regarding the health of bumblebee and other pollinator populations, since a food shortage caused by the lack of pollinators could compromise human wellbeing (Potts *et al.* 2010; Bommarco *et al.* 2013).

Bumblebee populations can be positively or negatively impacted by other organisms. These organisms have been primarily recorded from nests, foragers, workers, and queens (González *et al.* 2004; Goulson, 2010). The organisms associated with bumblebees and their nests could interact with them in different ways, being parasites, predators, commensals, detritivores or scavengers (Goulson, 2010). Arthropods such as beetles, flies and mites have been reported inside bumblebee nests (Alford, 1978; Goulson, 2010); but worldwide their geographical distributions and function are poorly understood.

Bumblebees have a great diversity of natural enemies with many records made mainly in Europe, New Zealand, North and South America (Husband & Brown, 1976; Donovan & Wier, 1978; Prys-Jones & Corbet, 1991; Goulson, 2010; Maggi *et al.* 2011; Gamboa *et al.* 2015; Revainera *et al.* 2014; 2019; 2020; Plischuk *et al.* 2020). Even though natural enemies of bumblebees have been studied for many years, it was only after the development of artificial rearing, mass production and international commercialization between 1960 and 1980 (Velthuis & Van Doorn, 2006), that the research on bumblebee pests, parasites and pathogens received great attention by sanitary agencies and conservationist organizations. These institutions aim to reduce the risks posed by the introduction of invasive organisms, such as foreign bumblebee species used for pollination in greenhouses and orchard crops (Prys-Jones & Corbet, 1991; Goka *et al.* 2001; Morales, 2007; Williams & Osborne, 2009; Goulson 2010; Hatfield *et al.* 2012).

Natural enemies of bumblebees have mostly been reported attacking bumblebee nests and adults. Vertebrates such as badgers, skunks, foxes, moles, weasels, shrews, voles, minks and mice are the most common natural enemies that have been reported attacking nests (Prys-Jones & Corbet, 1991; Goulson, 2010). Records of natural enemies attacking adults include predators such as birds, spiders, robber flies (Diptera: Asilidae) and the wasp *Philanthus bicinctus* (Hymenoptera: Crabronidae).

Husband & Brown (1976) reported more than 50 species of arthropods, including insects and mites, associated with bumblebee nests in USA and Europe. The way these arthropods impact bumblebee colonies is poorly understood. They could play a role recycling nest debris and bumblebee corpses that accumulate inside the nest, as bumblebees themselves do not have the cleaning behavior of other social insects like the honeybees that remove remains from their nest. Mites establish strong associations with bumblebee nests and adults, but little is known about their role and authors only report them as either being phoretic or parasites (Maggi *et al.* 2011; Klimov *et al.* 2016). Other group of organisms associated with bumblebee colonies are nematodes, which have been shown to impair the queen's reproduction (Prys-Jones & Corbet, 1991).

The main concern about organisms associated with bumblebees, in both natural and artificial rearing settings, is the introduction of invasive species, which can spill over into their habitat competing for resources like nesting sites and food, impacting native bumblebee species and spreading pathogens such as fungi, protozoa, nematodes, and viruses. Invasive species also include arthropods, which have been found attacking bumblebee colonies under laboratory and field conditions. Examples include the bumblebee wax moth, *Aphomia sociella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae), which was first reported in Europe and introduced to USA and Canada (BugGuide, 2020), the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner, 1813) and the greater wax moth, *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae), which were found in rearing facilities (Kwon *et al.* 2003; Williams, 1997) and the small hive beetle *Aethina tumida* Murray (Coleoptera: Nitidulidae) that was found in the field (Spiewok & Neumann, 2006; Hoffmann *et al.* 2008).

In Colombia, *Antherophagus* (Coleoptera: Cryptophagidae) beetles have been reported in association with nests of *Bombus pauloensis* Friese 1913 (formerly recognized as *B. atratus* Franklin 1913; see Moure & Melo, 2012) (Roubik & Wheeler, 1982; González *et al.* 2004). This species is probably the most common representative of the genus *Bombus* in Colombia given its distribution and abundance in entomological collections (Liévano *et al.* 1991; Téllez-Farfán & Posada-Flórez, 2013). In this work, we report the organisms associated with a *B. pauloensis* nest found in a field in the Sabana of Bogotá, Colombia.

MATERIALS AND METHODS

We collected and relocated a *B. pauloensis* nest that was found in a field, on the slope of a deep drainage ditch on the Thomas van der Hammen Natural Reserve in the Sabana of Bogotá (Colombia)

(4° 48' 10.36" N; 74° 03' 03.45" W) (Figure 1a). Relocation of the nest was necessary because landscape workers were afraid of being stung and set fire to the nest to eliminate the colony. The nest was transferred to a wooden box, placed inside a styrofoam box for temperature insulation and then relocated close to a honeybee apiary that was also located in the Thomas van der Hammen Reserve. The relocation process was done at 6:00am, when all the bumblebees were still inside the nest, making it easier to collect all adults and cells with brood and food. The colony contained approximately 20 queens, 600 females and 200 males, which indicated that it was in the reproductive phase (Prys-Jones & Corbet, 1991). Inside the nest, we found several layers of cells and substantial debris, including

plastic bags, nylon cords and leaves of dry grass, suggesting these bees probably took over a mouse nest and used those materials to insulate the nest.

While digging out the *Bombus* colony, we observed the presence of beetles, flies, and mites inside the nest (Figure 1b). Samples of those organisms were collected and stored in 95% ethanol and transfer to the laboratory for further observation, identification, and photo documentation. Morphology description, DNA analysis and expert consultation were used to identify the associated organisms found (Peterson, 1957; Arnett *et al.* 2002; Nelson *et al.* 2007; Majka & Langor, 2010; Klimov *et al.* 2016).

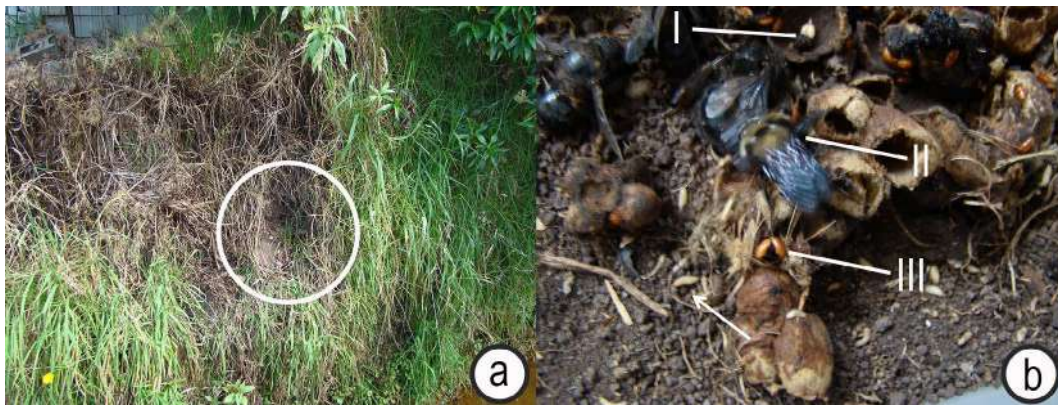


Figure 1. a. Location of the bumblebee nest that was relocated; circle shows the nest entrance; b. *B. pauloensis* nest showing fly larvae (I), bumblebees (II), and beetles (III).

The fly species was identified morphologically (Peterson, 1957) and molecularly using genomic DNA, which was extracted from half the body of an adult specimen using the DNeasy tissue kit (Qiagen Inc., Valencia, CA) according to manufacturer's instructions. One μL of extracted DNA was used as a template to amplify the Cytochrome C Oxidase (COI) barcoding region using primers LCO1490-L and HCO2198-L (Nelson *et al.* 2007). A polymerase chain reaction (PCR) was carried out in a final volume of 50 μL , using the EmeraldAmp® GT-PCR Master Mix (Takara Bio Inc., Mountain View, CA) following PCR primer conditions described by Nelson *et al.* (2007). The PCR product was purified and sequenced by Retrogen, Inc. (San Diego, CA) using respective primer pairs. Forward and reverse sequence files were imported into Sequencher 5.0 (GeneCodes, Ann Arbor, MI) and assembled into one contig sequence using default parameters. The sequence was then compared against the NCBI nucleotide BLAST (nr/nt) database (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov>) using the megablast algorithm. The barcode sequence obtained in this study was deposited in the GenBank database (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/index.html>) under accession number KF751463.

For taxonomic identification of mites, samples were sent to Dr. Barry O' Connor, from the University of Michigan. The identification of beetles was based on taxonomic keys and descriptions provided by Majka & Langor (2010) and Arnett *et al.* (2002).

RESULTS AND DISCUSSION

One hundred thirty *Antherophagus* sp. beetle adults, larvae and pupae were found in the *B. pauloensis* nest (Figure 2a-c). Adult beetles were actively crawling, but the most remarkable observation was that they were attached to *B. pauloensis* adult legs and antenna and did not dislodge easily when the bumblebees moved away, or when placed in alcohol or into a freezer (Figure 2d). These organisms were previously noted by Roubik & Wheeler (1982) and González *et al.* (2004), from a *B. pauloensis* nest in Colombia. The latter authors observed *Antherophagus* individuals in old combs and debris, and in the upper nest areas looking for workers when the colony was nearly gone. This genus has been reported in other bumblebee and stingless bee (Apidae: Meliponini) nests and has been described as having both phoretic and scavenger behaviors (Wheeler, 1919; Schwartz, 1948; Alford, 1978; Thorp *et al.* 1983; Goulson, 2010). Alford (1978) and Goulson (2010) reported *A. nigricornis* associated with bumblebee nests. *Antherophagus*, also known as flower beetles or silken fungus beetles were found in a nearby honeybee hive alongside pollen and wax on a greased sticky board placed on the bottom of the hive to trap *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) mites. Flower beetles may have been brought to the honeybee hive on bees that were observed robbing the rescued *B. pauloensis* nest.

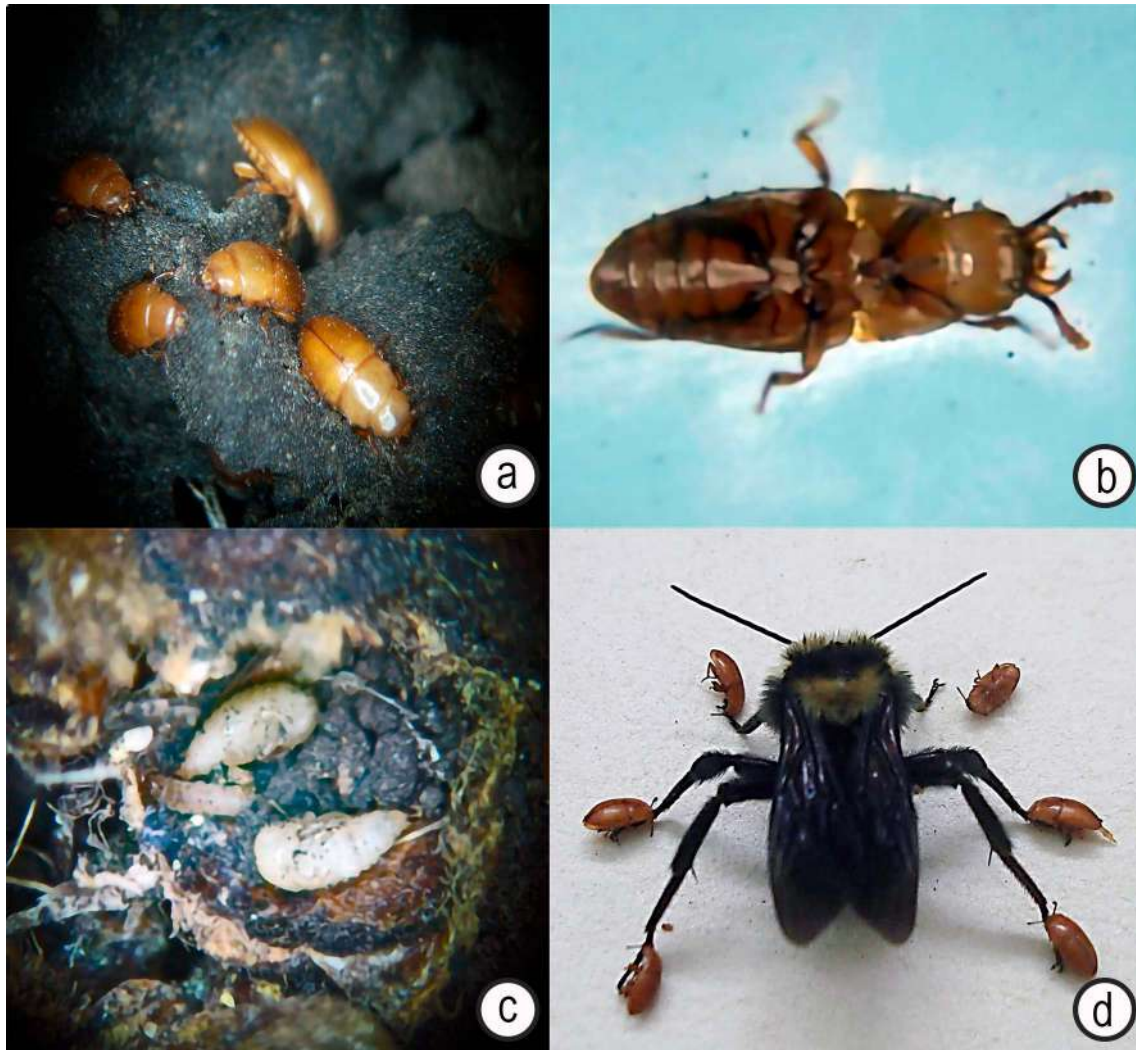


Figure 2. *Anthrophagus* beetles found in the *B. pauloensis* nest. a. Adults; b. Ventral view of adult beetle; c. Larvae and pupae; d. *Anthrophagus* adult beetles attached to the bumblebee legs.

Other arthropods present in the *B. pauloensis* nest were wireworm (Coleoptera: Elateridae) larvae and adults, morphologically identified to family level. Elateridae larvae are known pests of several crops and can also prey upon other insects (Arnett *et al.* 2002). Their presence in the nest indicates that they may prey on *B. pauloensis* brood, on their associated commensals, or are scavengers.

Adults, pupae, and larvae of *Fannia canicularis* (Diptera: Fanniidae) were also found in the *B. pauloensis* nest (Figure 3a-c). The 661 bp COI fragment sequence obtained from the specimen showed >91% identity to other COI sequences of the same species (i.e., KY511165, KC617820, and MF511733). Adult flies were not actively flying but rather moving around the cells when the nest was exposed and open. Some specimens lacked wings. Adults and larvae of *F. canicularis* have been reported in bumblebee nests by Alford (1978) and Goulson (2010). Thorp *et al.* (1983) reported the genus *Fannia* as scavengers of bumblebee nests. The Fanniidae family has been reported in other hymenopteran nests such as yellow jacket wasps apparently

feeding on debris (Husband & Brown, 1976; Grzywacz *et al.* 2012). MacDonald *et al.* (1980) and Grzywacz *et al.* (2012) mentioned that the function of Fanniidae on Hymenoptera nests seem to be the recycling of debris that accumulate at the bottom of the nest after becoming wet and moldy, when the colonies are declining at the end of the season in temperate regions.

Mites were also observed crawling actively over the cells and debris of the *B. pauloensis* nest. No mites were observed riding on *B. pauloensis* adults, but they were rather spread throughout the nest. Mites were taxonomically identified by Dr. Barry O' Connor as probable *Pneumolaelaps* sp. (Mesostigmata: Laelapidae) and *Parasitellus* sp. (Mesostigmata: Parasitidae). Species of these mites have been reported in Argentina, Uruguay, and Bolivia associated to *B. pauloensis* workers caught with nets in the field or found on bumblebee specimens preserved in entomological collections (Maggi *et al.* 2011; Revainera *et al.* 2014; 2019; 2020; Plischuk *et al.* 2020).



Figure 3. *Fannia canicularis*. a. Adult, lateral view; b. Adult, ventral view; c. Larva.

Mites of the genus *Pneumolaelaps* are commonly associated with bumblebees (Hunter & Husband, 1973; Royce & Krantz, 1989) and have been reported with a worldwide distribution (Hunter & Husband, 1973; Royce & Krantz, 1989; Goulson, 2010; Klimov *et al.* 2016). In South America, Maggi *et al.* (2011) reported seven species of mites, including *P. longanalis* and *P. longipilus*, that were associated as phoretic of *B. pauloensis*. This makes *B. pauloensis* the studied bumblebee species with the highest diversity of mites reported in South America (Eguaras *et al.* 1997; Maggi *et al.* 2011; Revainera *et al.* 2014, 2019; 2020; Plischuk *et al.* 2020). Goulson (2010) and Klimov *et al.* (2016) also reported *Pneumolaelaps* mites as phoretic with some preferences for *Bombus* queens, while Royce & Krantz (1989) proved *P. longanalis* feed on fresh pollen with nectar that bees carry to the nest. However, the consequences of this type of parasitism or commensalism were not evaluated or discussed by the authors.

Goulson (2010), Maggi *et al.* (2011) and Klimov *et al.* (2016) also reported *Parasitellus* as a scavenger mite with obligatory association to bumblebees, present in rearing facilities and with a worldwide distribution. It is important to highlight that the *Parasitellus* mite

collected and identified in this study probably belongs to an undescribed species, which indicates the need to further studying this fauna in Colombia.

From this research the existence of a variety of organisms associated with the *B. pauloensis* nest found in the Sabana of Bogota (Colombia), which were not causing any negative impact on the bumblebees, was concluded. However, it is necessary to determine the roles and impacts of the associated organisms found under natural nesting conditions to improve the bumblebee's conservation.

Acknowledgements. The authors would like to thank Dr. Monica Pava-Ripoll for helping on the molecular identification of the fly and to Dr. Barry O'Connor for the taxonomic identification of the mites. Also, for reading and improving the manuscript with their comments we would like to thank Dr. Monica Pava-Ripoll, Dr. Jay Evans, Dawn Lopez, and Curtis Rogers. **Conflict of interest:** The manuscript was prepared and revised by all authors, who declare the absence of any conflict which can put the validity of the presented results in risk.

REFERENCES

1. ABROL, D. 2012. Pollination Biology, Biodiversity Conservation and Agricultural Production. Springer Science Business (New York). 792p.
2. ALFORD, D. 1978. The life of the Bumblebee. Northern Bee Books (UK). 80p.
3. ARNETT, R.; THOMAS, M.; SKELLEY, P.; FRANK, J. 2002. American Beetles, Volume II: Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. CRC Press (Florida).
4. BOMMARCO, R.; KLEIJN, D.; POTTS, S.G. 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. Trends Ecol. Evol. (Netherlands). 28:230-238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
5. BUGGUIDE. 2020. Species *Aphomia sociella* - Bee Moth - BugGuide.Net. Available in Internet from: <https://bugguide.net/node/view/29899> (accessed 28/09/2020).
6. CAMERON, S.; WHITFIELD, J.; COHEN, M.; THORP, N. 1999. Novel use of walking trails by the Amazonian Bumble Bee, *Bombus transversalis* (Hymenoptera: Apidae). Univ. Kansas Nat. Hist. Mus. Special Publication (United States). 24:187-193.
7. DELAPLANE, K.; MAYER, D. 2000. Crop pollination by bees. CABI Publishing (United States). 344p.
8. DONOVAN, B.J.; WIER, S.S. 1978. Development of hives for field population increase, and studies on the life cycles of the four species of introduced bumble bees in New Zealand. New Zealand J. Agricultural Research. 21(4):733-756.
9. EGUARAS, M.J.; FARINA, J.; MARTÍNEZ, P.A. 1997. Primera cita del género *Pneumolaelaps* (Acari: Laelapidae) para la región Neotropical. Rev. Soc. Entomol. Argent. 56:1-4.
10. GAMBOA, V.; RAVOET, J.; BRUNAIN, M.; SMAGGHE, G.; MEEUS, I.; FIGUEROA, J.; RIAÑO, D.; DE GRAAF, D.C. 2015. Bee pathogens found in *Bombus atratus* from Colombia: A case study. J. Invertebr. Pathol. (United States). 129:36-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2015.05.013>
11. GOKA, K.; OKABE, K.; YONEDA, M.; NIWA, S. 2001. Bumblebee commercialization will cause world-wide migration of parasitic mites. Mol. Ecol. (United Kingdom). 10:2095-2099. <https://doi.org/10.1046/j.0962-1083.2001.01323.x>
12. GONZÁLEZ, V.; MEJÍA, A.; RASMUSSEN, C. 2004. Ecology and Nesting Behavior of *Bombus atratus* Franklin in Andean Highlands (Hymenoptera: Apidae). J. Hymenopt. Res. (United States). 13(2):234-242.
13. GOULSON, D. 2010. Bumblebees, Behaviour, Ecology, and Conservation. 2nd Ed. Oxford University Press (United States). 317p.
14. GRZYWACZ, A.; PAPE, T.; SZPILA, K. 2012. Larval morphology of the lesser housefly, *Fannia canicularis*. Med. Vet. Entomol. (England). 26:70-82. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2011.00968.x>
15. HATFIELD, R.; JEPSEN, S.; MADER, E.; HOFFMAN, S.; SHEPERD, M. 2012. Conserving bumble bees. The Xerxes Society for Invertebrate Conservation (United States). 40p.
16. HOFFMANN, D.; PETTIS, J.S.; NEUMANN, P. 2008. Potential host shift of the small hive beetle (*Aethina tumida*) to bumblebee colonies (*Bombus impatiens*). Insectes Soc. (Switzerland). 55(2):153-162. <https://doi.org/10.1007/s00040-008-0982-9>
17. HUNTER, P.E.; HUSBAND, R.W. 1973. *Pneumolaelaps* (Acarina: Laelapidae) Mites from North America and Greenland. Florida Entomologist. (United States). 56(2):77-91. <https://doi.org/10.2307/3493231>
18. HUSBAND, R.W.; BROWN, T.M. 1976. Insects associated with Michigan bumblebees (*Bombus* spp.). Great Lakes Entomol. (United States). 9(1):57-62.
19. KLIMOV, P.B.; OCONNOR, B.; OCHOA, R.; BAUCHAN, G.R.; SCHER, J. 2016. Bee Mite ID: Bee-Associated Mite Genera of the World. USDA APHIS Identification Technology Program (ITP). Available in Internet from: <http://www.idtools.org/id/mites/beemites/> (with access on 28/09/2020).
20. KWON, Y.J.; SAEED, S.; DUCHATEAU, M.J. 2003. Control of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae), a pest in *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) colonies. Can. Entomol. (England) 135:893-902. <https://doi.org/10.4039/n03-013>
21. LIÉVANO, A.; OSPINA-TORRES, R.; NATES-PARRA G. 1991. Distribución altitudinal del género *Bombus* en Colombia. Trianea (Colombia). 4:541-550.
22. MACDONALD, J.F.; MATTHEWS, R.W.; JACOBSON, R.S. 1980. Nesting biology of the yellow-jacket, *Vespula flavopilosa*. J. Kansas Entomological Society (United States). 53:448-458.

23. MAGGI, M.; LUCIA, M.; ABRAHAMOVICH, A.H. 2011. Study of the acarofauna of native bumblebee species (*Bombus*) from Argentina. *Apidologie* (France). 42:280-292. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0018-8>
24. MAJKA, C.; LANGOR, D. 2010. Contributions towards an understanding of the Cryptophaginae (Coleoptera, Cryptophagidae) of Atlantic Canada. *ZooKeys* (Bulgaria). 35:13-35. <https://doi.org/10.3897/zookeys.35.314>
25. MICHENER, C. 2007. *The Bees of the World*. The Johns Hopkins University Press (United States). 953p.
26. MORALES, C.L. 2007. Introduction of non native bumblebees (*Bombus*): causes, ecological consequences and perspectives. *Ecología Austral* (Argentina). 17:51–65.
27. MOURE, J.S.; MELO, G.A.R. 2012. Bombini Latreille, 1802. In: Moure, J.S.; Urban, D.; Melo, G.A.R. (eds). *Catalogue of Bees* (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version. Available in Internet at: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue> (with access on 25/04/2021).
28. NELSON, L.A.; WALLMAN, J.F.; DOWTON, M. 2007. Using COI barcodes to identify forensically and medically important blowflies. *Med. Vet. Entomol.* (England). 21:44-52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2007.00664.x>
29. PETERSON, A. 1957. *Larvae of Insects, Part 2*. (United States). 356p.
30. PLISCHUK, S.; FERNÁNDEZ DELANDA, G.; REVANEIRA, P.; QUINTANA, S.; POCCO, M.E.; CIGLIANO, M.M.; LANGE, C.E. 2020. Parasites and pathogens associated with native bumble bees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus* spp.) from highlands in Bolivia and Peru. *Stud Neotrop Fauna E* (United Kingdom). 1-6. <https://doi.org/10.1080/01650521.2020.1743551>
31. POTTS, S.G.; BIESMEIJER, J.C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W.E. 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* (Netherlands). 25:345-353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
32. PRYS-JONES, O.E.; CORBET, S.A. 1991. *Bumblebees*. Naturalists' handbook series 6. Richmond Publishing Co. (United Kingdom). 92p.
33. REVANEIRA, P.; LUCIA, M.; ABRAHAMOVICH, A.H.; MAGGI, M. 2014. Spatial aggregation of phoretic mites on *Bombus atratus* and *Bombus opifex* (Hymenoptera: Apidae) in Argentina. *Apidologie* (France). 45(5):579-589. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0275-4>
34. REVANEIRA, P.D.; QUINTANA, S.; DE LANDA, G.F.; ARCERITO, F.M.; LUCÍA, M.; ABRAHAMOVICH, A.H.; PLISCHUK, S.; EGUARA, M.J.; MAGGI, M.D. 2020. Phoretic mites on South American bumblebees (*Bombus* spp.) as parasite carriers: a historical input. *Apidologie* (France). 51(4):455-464. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00733-w>
35. REVANEIRA, P.D.; SALVARREY, S.; SANTOS, E.; ARBULO, N.; INVERNISI, C.; PLISCHUK, S.; ABRAHAMOVICH, A.; MAGGI, M.D. 2019. Phoretic mites associated to *Bombus pauloensis* and *Bombus bellicosus* (Hymenoptera: Apidae) from Uruguay. *J. Apic. Res.* (United Kingdom). 58(3):455-462. <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1521775>
36. ROUBIK, D.; WHEELER, Q. 1982. Flightless beetles and stingless bees: phoresy and scotocryptine beetles (Leiodidae) on their meliponine hosts (Apidae). *J. Kans. Entomol. Soc.* (United States). 55:125-135.
37. ROYCE, L.A.; KRANTZ, G.W. 1989. Observations on pollen processing by *Pneumolaelaps longanalis* (Acari: Laelapidae), a mite associate of bumblebees. *Exp. Appl. Acarol.* (Netherlands). 7:161-165. <https://doi.org/10.1007/BF01270436>
38. SCHWARTZ, H. 1948. Stingless bees (Meliponidae) of the Western Hemisphere. *Bulletin of the American Museum of Natural History* (United States). 546p.
39. SPIEWOK, S.; NEUMANN, P. 2006. Infestation of commercial bumblebee (*Bombus impatiens*) field colonies by small hive beetles (*Aethina tumida*). *Ecol. Entomol.* (England). 31:623-628. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00827.x>
40. TÉLLEZ-FARFÁN, L.; POSADA FLOREZ, F. 2013. Curaduría e identificación de la fauna de *Bombus* de la colección de entomología de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. *Rev. U.D.C.A. Act & Div. Cient.* (Colombia). 16(2):501-509. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n2.2013.924>
41. THORP, R.; HORNING, D.; DUNNING, L. 1983. *Bumble bees and cuckoo bumble bees of California* (Hymenoptera, Apidae). The Regents of the University of California (United States). 78p.
42. VELTHUIS, H.H.W.; VAN DOORN, A. 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie* (France). 37:421–451. <https://doi.org/10.1051/apido:2006019>

43. WHEELER, W.M. 1919. The phoresy of *Antherophagus*. *Psyche* (Egypt). 26(6):145-152.
44. WILLIAMS, J.L. 1997. Insects: Lepidoptera (moths). In: Morse, R.; Flottum, K. (Eds). *Honey Bee Pests, Predators, and Diseases* (3rd Ed.). (United States). 732p.
45. WILLIAMS, P.; CAMERON, S.; HINES, H.; CEDERBERG, B.; RASMONT, P. 2008. A simplified subgeneric classification of the bumblebees (genus *Bombus*). *Apidologie* (France). 39:1-29.
<https://doi.org/10.1051/apido:2007052>
46. WILLIAMS, P.H.; OSBORNE, J.L. 2009. Bumblebee vulnerability and conservation world-wide. *Apidologie* (France). 40:367-87.
<https://doi.org/10.1051/apido/2009025>



Insectos acuáticos asociados a arroyos de la Serranía de La Macuira - La Guajira, Colombia

Aquatic insects associated with streams of the Serranía de la Macuira - La Guajira, Colombia

Catalina Pérez-Rodríguez¹; Gustavo A. Manjarres-Pinzón²; Cesar E. Tamaris-Turizo³

¹Biólogo. Universidad del Magdalena, Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada. Santa Marta - Magdalena, Colombia; email: kta.perezr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8768-4238>

²Biólogo, Esp. Corporación Natural SIG, Grupo de Investigación en Biodiversidad, Territorio y Gente (BIOTEGE). Santa Marta - Magdalena, Colombia; e-mail: naturalsig@naturalsig.org; <https://orcid.org/0000-0001-9559-5841>

³Biólogo, M.Sc., Ph.D. Universidad del Magdalena, Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada. Santa Marta - Magdalena, Colombia; e-mail: ctamaris@unimagdalena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-8625-4981>

Cómo citar: Pérez-Rodríguez, C.; Manjarres-Pinzón, G.A.; Tamaris-Turizo, C.E. 2021. Insectos acuáticos asociados a arroyos de la Serranía de La Macuira, La Guajira- Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1941. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1941>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: mayo 5 de 2020 **Aceptado:** abril 30 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Los insectos acuáticos tienen gran importancia en los ecosistemas fluviales, debido a su alta abundancia y diversidad e indicadores de calidad de agua. En este trabajo, se caracterizaron las comunidades de insectos acuáticos en La Macuira, norte de La Guajira colombiana. Se seleccionaron cinco arroyos intermitentes, como sitios de muestreo: Mekijanoü, Chaamaalüü, Kanewerü, Mmalaüü y Kajashiwoü. Para la colecta de los organismos, se empleó una red Surber, durante cinco minutos. Además, se tomaron muestras de hojarasca (cerca de 500g) del fondo del río. Las muestras recolectadas en los diferentes microhábitats en cada sitio, se integraron para conformar una muestra compuesta y posterior análisis de la diversidad; además, se calculó el índice de calidad de agua BMWP/Col en cada uno de los arroyos, para conocer la calidad de sus aguas. Se colectaron

en total 545 individuos, distribuidos en 25 géneros, 19 familias y 7 órdenes. Se registran, por primera vez, para la Serranía de la Macuira, los géneros *Heterelmis*, *Corydalis*, *Rhagovelia*, *Mayobaetis*, *Tholymis* y *Mecistogaster*. El arroyo Mekijanoü presentó la mayor abundancia (411 individuos) y riqueza de géneros, en la que predominó la presencia de *Heterelmis* y *Kajashiwoü*, la menor abundancia (20 individuos), fluctuada por la formación de pozos y la poca conectividad. Los valores del índice BMWP/Col oscilaron entre 41 y 87, lo cual, indica que cuatro arroyos presentaron una moderada contaminación y uno se encontraba ligeramente contaminado.

Palabras clave: Riqueza; Macroinvertebrados; BMWP/Col; Arroyos; Microhábitats.

ABSTRACT

Aquatic insects are of high importance in aquatic ecosystems due to their high abundance and diversity and water quality indicators. In this work, assemblages of aquatic insects were studied in La Macuira, northern La Guajira, Colombia. Five intermittent streams were selected as sampling sites such as Mekijanoü, Chaamaalüü, Kanewerü, Mmalaüü and Kajashiwoü. Surber net was used for collecting of organisms for five minutes; also, samples of leaf litter were taken manually of the streambed. The samples collected were integrated to form a sample composed on each site, and then analyze this diversity; also, the water quality index BMWP/Col was estimated for each site. A total of 545 individuals were collected, grouped in 25 genus, 19 families and 7 orders. The genera *Heterelmis*, *Corydalus*, *Rhagovelia* and *Mayobaetis*, *Tholymis* and *Mecistogaster* are recorded for the first time for the Serranía de la Macuira. The Mekijanoü stream presented the highest abundance (411 individuals) and genera, in which *Heterelmis* predominated. In contrast, Kajashiwoü presented the lowest abundance (20 individuals) fluctuated by the formation of wells and poor connectivity between them. The BMWP/Col index ranged from 41 to 87, indicating that four streams showed a moderate contamination and one was slightly contaminated.

Keywords: Richness; Macroinvertebrates; BPWM/Col; Streams; Microhabitats.

INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados acuáticos poseen una alta abundancia, diversidad e importancia, como bioindicadores de calidad de agua (Barragán *et al.* 2017; Hernández *et al.* 2016; Merritt *et al.* 2008); además, son considerados como un eslabón clave en la dinámica del flujo de energía de los sistemas acuáticos (Castellanos & Serrato, 2008; Rivera-Usme *et al.* 2008; Pedroza-Ramos *et al.* 2016; Bueñaño *et al.* 2018). La composición de las comunidades de insectos acuáticos depende, principalmente, de las condiciones físicas y químicas del agua (grado de contaminación), la disponibilidad y heterogeneidad del hábitat y de sus fuentes alimenticias (Domínguez & Fernández, 2009). Por lo tanto, se considera que está determinada, en parte, por el gradiente altitudinal y los recursos presentes a lo largo de los sistemas lóticos (Chará *et al.* 2010; Tamaris-Turizo *et al.* 2018).

A nivel mundial, los insectos acuáticos han sido estudiados en menor proporción con respecto a otros grupos taxonómicos (Armbrecht *et al.* 2005; Rivera-Usme *et al.* 2008; Zúñiga *et al.* 2014); no obstante, las investigaciones realizadas sobre este grupo brindan información valiosa, dentro de las cuales, se destacan claves para la identificación de macroinvertebrados acuáticos suramericanos (Domínguez & Fernández, 2009). En Colombia, trabajos como los desarrollados por Roldán (2003; 2016), quien realizó una descripción de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia; Camacho-Pinzón & Molano-Rendón (2005) realizaron una lista de los insectos acuáticos presentes en el departamento del Quindío; Rivera-Usme *et al.* (2008) estimaron la estructura numérica de la entomofauna acuática de ocho ríos, pertenecientes al departamento del Quindío, en el que observaron que el orden más abundante fue

Trichoptera, seguido del orden Coleoptera, concluyendo, mediante diferentes análisis fisicoquímicos y de estructura, que las quebradas presentaban un buen nivel de conservación. Zúñiga *et al.* (2014) realizaron el registro de nuevos insectos acuáticos presentes en los sistemas lóticos de la isla de Gorgona, aproximándose, aún más, a la taxonomía de algunos grupos, especialmente, en los órdenes Ephemeroptera y Plecoptera; por su parte, Lasso & Granados-Martínez (2015) publicaron la primera descripción de la fauna acuática de la serranía de la Macuira, en donde se observó que, dentro del filo Arthropoda, dominaron los Odonata, Ephemeroptera y Diptera, debido a sus altas abundancias.

Los estudios enfocados en la calidad de los cuerpos de agua, se basan, principalmente, en los análisis de parámetros fisicoquímicos, complementado con el uso de métodos biológicos, que reflejan las condiciones existentes del sistema, a partir de la presencia de los organismos que poseen ciertos límites de tolerancia a las perturbaciones y a las alteraciones en los ecosistemas dulceacuícolas (Álvarez-Arango, 2005; Forero-Céspedes *et al.* 2013; Roldán, 2016; Fontalvo & Tamaris-Turizo, 2018). Uno de los índices más utilizados para evaluar la calidad de los cuerpos de sistemas lóticos es el BMWP (Biological Monitoring Working Party), que usa valores de tolerancia de los taxones, a nivel de familia (Arango *et al.* 2008), clasificando los lugares evaluados en cinco categorías, a partir del uso de macroinvertebrados acuáticos, como bioindicadores biológicos. Roldán (2003) modificó este índice para Colombia (BMWP/Col), una herramienta de muy bajo costo, que permite evaluar la calidad ecológica de los ecosistemas fluviales (Sánchez Herrera, 2005). Uno de los usos más relevantes de los insectos acuáticos ha sido como indicadores de la calidad del agua, debido a su sensibilidad a los cambios ambientales, hecho que los convierte en “piezas claves” en la dinámica de los ecosistemas acuáticos (Rivera-Usme *et al.* 2008; Castillo-Figueroa *et al.* 2018; Montoya-Moreno *et al.* 2019).

Los insectos acuáticos son el grupo de macroinvertebrados más abundantes dentro de los ecosistemas dulceacuícolas y son reconocidos como bioindicadores, ya que cumplen un papel predictor en la determinación de la calidad del agua. En este sentido, este estudio pretende conocer la diversidad de las comunidades de insectos acuáticos y establecer su relación con la calidad del agua en la parte baja, de cinco arroyos intermitentes, en la Serranía de la Macuira, Guajira colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La Serranía de la Macuira, se encuentra localizada en la península de La Guajira. Esta serranía, se ubica en un área protegida perteneciente a Parques Naturales Nacionales, en el norte del departamento (entre la media y alta Guajira). Esta serranía es un macizo montañoso considerado un oasis en medio del desierto, ya que en él se encuentra un bosque, que cumple con la función de regulador hídrico y posee una temperatura promedio de 27°C (UAESPNN, 2011).

La Serranía, se localiza dentro del resguardo indígena Wayüü, cubre cerca de 25.000 hectáreas. Los picos de las montañas localizadas en

este macizo exhiben abundante niebla acumulada, producto de los vientos alisios del noreste que, al pasar por el Mar Caribe, se cargan de humedad y al momento de llegar a la serranía son capturados por la achaparrada vegetación (UAESPNN, 2011) y cuerpos de agua intermitentes (Pérez & Restrepo, 2008). La vegetación está constituida, principalmente, por bosques de niebla, a una altitud de 500m, por lo que la categorizan como uno de los paisajes ecosistémicos más peculiares de Colombia (Castellanos *et al.* 2011).

La Serranía de la Macuira, se encuentra en una zona semiárida, con periodos de lluvia y sequía y, por tanto, cuerpos de agua intermitentes (Pérez & Restrepo, 2008). El bosque, se caracteriza por su alta humedad, su vegetación típica y su localización (a cinco kilómetros del desierto). Es denominada una isla en medio de una zona desértica, convirtiéndola en un ecosistema particular, siendo categorizada como Reserva Natural y Área de Importancia, para la Conservación de Aves AICAS (UAESPNN, 2011).

Toma y procesamiento de muestras. Durante junio de 2015, se realizó un muestreo en cada uno de los arroyos Mekijanoü, Chaamaalüü, Kanewerü, Mmalaiüü y Kajashiwoü. En cada arroyo, se seleccionó un sitio de muestreo, donde se analizaron los microhábitats gravas y hojarasca. Para el primero, se usó una red Surber (área: 0,09m², tamaño de poro: 300µm); en el área proyectada por la red, se removió el sustrato por 5 minutos. La hojarasca, se colectó con ayuda de una red manual y se tomaron tres muestras del fondo del río (aproximadamente, 500g); todas las muestras (gravas y hojarasca), se integraron para conformar una muestra compuesta por sitio y se preservaron en bolsas plásticas con etanol al 90%.

Las muestras, se llevaron al Laboratorio donde se limpiaron y se separaron manualmente, con la ayuda de un estereoscopio Carl ZEISS Estemi 508. Posteriormente, los organismos se determinaron hasta nivel de género, con excepción de la familia Chironomidae, la cual, se identificó hasta subfamilia. Para la identificación de los organismos, se usaron las claves taxonómicas de Domínguez *et al.* (2006), Domínguez & Fernández (2009), Merritt *et al.* (2008), Ramírez (2010), Muñoz & Paprocki (2003) y Wiggins (1996). La identificación realizada hasta el nivel de familia, se empleó para estimar el índice BMWP/Col. Para ello, se realizó la asignación de los puntajes para cada una de las familias, sumando los valores, según el rango de tolerancia, que tienen un valor numérico entre 1 y 10, donde las puntuaciones más cercanas a 10 significan valores de sensibilidad a las perturbaciones en la calidad del agua y los valores más cercanos a 1, indican mayor grado de tolerancia. Este ajuste de puntajes está basado en las características de las familias y la frecuencia con la que se encuentran en los sitios de muestreo (Roldán, 2003).

Análisis de datos. Se analizó la abundancia de los organismos dominantes por sitio, mediante el uso de gráficos de barra exploratorios. Debido a que la abundancia de algunos taxones fue muy alta, se procedió a transformar los valores de abundancia de los taxones, a una escala logarítmica ($\log_{10}x+1$); este procedimiento, se efectuó para las abundancias de todos los arroyos.

Para conocer la composición de las comunidades, se estimaron los números efectivos de taxones a nivel de género, a partir de la serie de números de Hill ($q=0$, $q=1$ y $q=2$), donde, la diversidad de orden cero ($q=0$) está representada por la riqueza genérica; $q=1$ indica el número de géneros con abundancias similares y se estima basado en el exponente del índice de diversidad de Shannon - Weiner (H') y $q=2$, el número de géneros muy abundantes, que se estima a partir del inverso de Simpson (λ) (Jost, 2006; 2010; Chao *et al.* 2014). Este análisis, se realizó en la plataforma iNext (<https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/>) (Chao *et al.* 2016). Se realizó una comparación de la abundancia y la riqueza de géneros entre los sitios, mediante un análisis de agrupación, basado en matriz de Bray-Curtis y, en ambos casos, se usaron distancias Bray Curtis. Finalmente, se estimó el índice de Whittaker [$\beta_w = (S/\bar{\alpha})-1$], donde, S es la riqueza local y $\bar{\alpha}$ es el número de especies promedio en todas las muestras, para cuantificar el recambio de los géneros entre arroyos (Whittaker, 1972). Los Clusters y el cálculo del índice de Whittaker, se realizaron en el programa PAST3 (Hammer *et al.* 2001).

Para evaluar la calidad de las aguas de los cinco arroyos, se empleó el índice BMWP/Col (Roldán, 2003); por ello, se realizó la asignación de los puntajes para cada una de las familias, sumando los valores, según el rango de tolerancia del índice (Roldán, 2003; Sánchez Herrera, 2005). A partir del valor del índice de cada sitio, se asignó una categoría de Calidad de agua y la representación, de acuerdo con la escala de colores propuesta por Roldán (2003), de tal manera que, si el índice fue menor a 15, corresponde a Aguas fuertemente contaminadas; entre 16 y 35, Aguas muy contaminadas; entre 36 y 60, Aguas moderadamente contaminadas; entre 61 y 100, Aguas ligeramente contaminadas y mayor a 100, Aguas muy limpias y limpias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición de insectos acuáticos. Se recolectaron un total de 545 individuos, agrupados en 25 géneros, que se distribuyeron en 19 familias y 7 órdenes. Los órdenes más abundantes fueron Coleoptera (328 individuos), Ephemeroptera (71 individuos), Diptera (65 individuos), Odonata (32 individuos), Hemiptera (30 individuos), Trichoptera (15 individuos) y Megaloptera (10 individuos) (Tabla 1); estos resultados coinciden con lo registrado por Lasso y Granados-Martínez (2015), quienes señalaron que los órdenes Ephemeroptera y Diptera correspondieron a dos de los tres órdenes más representativos en los arroyos de la Serranía de la Macuira. Diptera, a pesar el segundo orden más representativo en este trabajo, estuvo representado, principalmente, por la familia Chironomidae, similar con lo encontrado por Lasso & Granados-Martínez (2015), quienes solo registraron las subfamilias Chironominae y Tanypodinae.

Los órdenes Trichoptera y Diptera estuvieron presentes en los cinco arroyos (Figura 1). A nivel de géneros, *Heterelmis* (Elmidae, Coleoptera) mostró las mayores abundancias, a pesar que solo estuvo presente en el arroyo Mekijanoü y, junto con *Hydrophilus* (Hydrophilidae, Coleoptera), *Tricorythodes* (Leptohiphidae, Ephemeroptera) y *Pelocoris* (Naucoridae, Hemiptera), aportaron

Tabla 1. Lista de insectos acuáticos asociados a los cinco arroyos intermitentes de la Serranía de la Macuira – Guajira, Colombia. ND: no determinado.

Orden	Familia	Taxón	Sitio				
			Mmalaüü	Chaamaalüü	Mekijanoü	Kanewerü	Kajashiwoü
Odonata	Gomphidae	<i>Progomphus</i>	x	x		x	x
	Coenagrionidae	<i>Argia</i>	x	x		x	x
		<i>Mecistogaster</i>	x				x
	Libellulidae	<i>Tholymis</i>					x
		<i>Brechmorhoga</i>		x			x
Ephemeroptera	Leptohephalidae	<i>Tricorythodes</i>	x	x	x		
		<i>Haplodyphes</i>				x	
	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>			x		
	Baetidae	<i>Mayobaetis</i>			x	x	
Hemiptera	Naucoridae	<i>Pelocoris</i>	x	x			
Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>		x	x	x	
Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Hydrophilus</i>			x	x	x
	Elmidae	<i>Heterelmis</i>			x		
Trichoptera	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	x	x	x	x	x
	Philopotamidae	<i>Chimarra</i>			x		
Diptera	Chironomidae	Chironominae	x		x		
		Orthocladinae			x		
		Tanytopodinae			x		
	Stratiomyidae	<i>Caloparyphus</i>		x	x		
	Simuliidae	<i>Simulium</i>			x		
	Ceratopogonidae	ND			x		

el 69% de individuos en todo el estudio. Por su parte, *Helicopsyche* (Helicopsychidae, Trichoptera) estuvo presente en los cinco arroyos.

Arroyo Mekijanoü. Presentó el mayor número de individuos (417), pertenecientes a 6 órdenes, 15 familias y 18 géneros. Coleoptera, representado principalmente por *Heterelmis* (Elmidae), se encontró solo en este arroyo. El orden Ephemeroptera obtuvo una de las abundancias más altas, representado por *Mayobaetis* (Baetidae), *Tricorythodes* (Leptohephalidae) y *Thraulodes* (Leptophlebiidae). Diptera exhibió la mayor abundancia, encabezada por la Chironominae (Chironomidae), mientras que *Simulium* (Simuliidae, Diptera) presentó la menor. Los simúlidos solo se encontraron en este sitio (Figura 2).

Arroyo Chaamaalüü. La abundancia fue baja en este sitio (15 individuos). El orden con mayor abundancia fue Odonata: *Argia* (Coenagrionidae), con 4 individuos; *Progomphus* (Gomphidae), con

2 y *Brechmorhoga* (Libellulidae), con 3. Por su parte, *Tricorythodes* (Leptophlebiidae) fue el género más abundante, mientras que *Corydalus* (Corydalidae, Megaloptera) fue el menos abundante (Figura 3a).

Arroyo Kanewerü. Se registraron 10 géneros, distribuidos en 10 familias y 7 órdenes. El género con mayor abundancia fue *Pelocoris* (Naucoridae, Hemiptera), con 7 individuos; en total, este arroyo registró 24 individuos (Figura 3b). La subfamilia Chironominae (Chironomidae, Diptera) y el género *Molophilus* (Tipulidae, Diptera) presentaron las abundancias más bajas en este arroyo, con 2 individuos cada taxón. Se evidencia que los organismos más abundantes poseen adaptaciones a sistemas con pocas corrientes y oxigenación (Merritt *et al.* 2008).

Arroyo Mmalaüü. En este arroyo, se colectaron 59 individuos, distribuidos en 5 órdenes, 6 familias y 7 géneros. Los taxones con

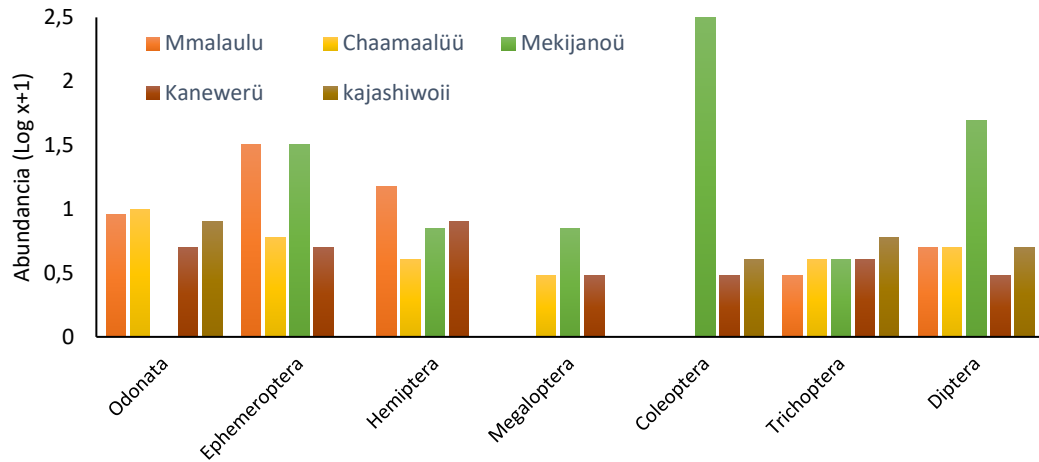


Figura 1. Abundancia de órdenes de insectos acuáticos, en los arroyos Mekijanöü, Chaamaalüü, Kanewerü, Mmalaulüü y Kajashiwoü de la Serranía de la Macuira - Guajira, Colombia. Se destaca la alta abundancia de los órdenes Coleoptera y Diptera en el arroyo Mekijanöü.

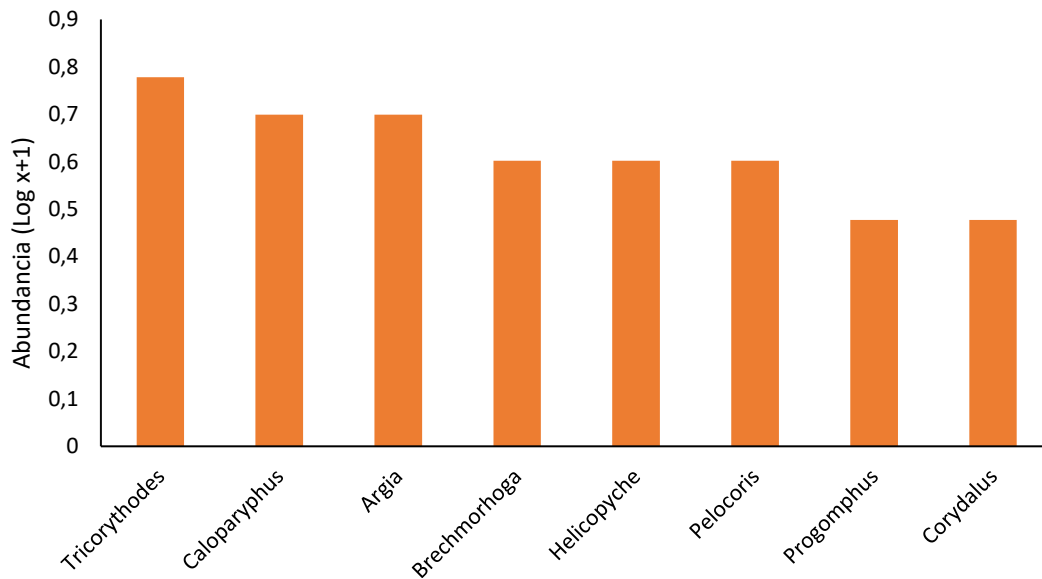


Figura 2. Abundancia de taxones en el arroyo Mekijanöü, Serranía de la Macuira - La Guajira, Colombia. Similitud en la abundancia de los taxones presentes en este arroyo.

mayor abundancia fueron *Tricorythodes* (Leptohyphidae) y *Pelocoris* (Naucoridae) (Figura 3c). *Argia*, *Mecistogaster* (Coenagrionidae) y *Helicopsyche* (Helicopsychidae) presentaron las abundancias más bajas en este arroyo, con 2 individuos, cada uno.

Arroyo Kajashiwoü. En este arroyo, se registraron 20 individuos, distribuidos en 4 órdenes, 8 familias y 10 géneros. El orden que presentó mayor número de individuos correspondió a Odonata, registrando para el arroyo un total de 11 individuos, distribuidos

en los géneros *Progomphus* (Gomphidae, con 4 individuos), *Argia* (Coenagrionidae, con 4 individuos), *Mecistogaster* (Coenagrionidae, con un individuo), *Tbolymis* (Libellulidae, con un individuo) y *Brachmorhoga* (Libellulidae, con un individuo). Cabe resaltar que el mayor número de individuos, a nivel de género, para este arroyo fue *Helicopsyche* (Helicopsychidae), con 5 (Figura 3d).

El orden Odonata obtuvo valores más altos de abundancia en comparación con otros grupos de insectos, debido a que en los

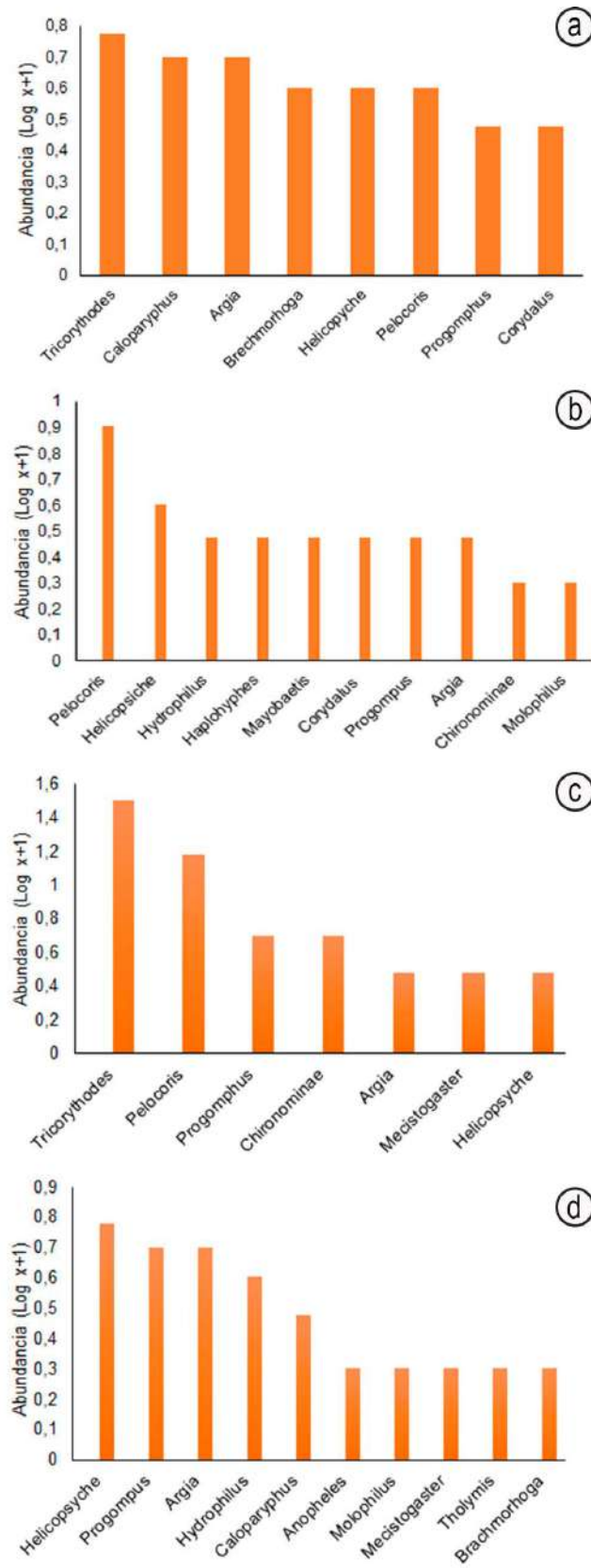


Figura 3. Abundancia (transformada a $\text{Log}_{10} x+1$) de insectos acuáticos en ríos intermitentes de la Serranía de la Macuira (La Guajira). a. arroyo Chaamaalüü; b. arroyo Kanewerü; c. arroyo Mmalaüü; d. arroyo Kajashiwoü.

cuerpos de agua temporales el desarrollo de los organismos, generalmente, es acelerado, de tal forma que las ninfas pueden pasar de este estadio a adultos, en un par de meses (Ramírez, 2010), coincidiendo con Lasso & Granados-Martínez (2015), quienes otorgan estas abundancias a las características de las zonas, abiertas y con exposición solar, lo cual, es aprovechado por este grupo.

Las curvas de completitud de los arroyos Mmalaüü, Chaamaalüü, Mekijanoü mostraron una buena cobertura de la diversidad, con relación a su abundancia, con el 100%, para los dos primeros y el 99%, para el tercer arroyo; sin embargo, fue el arroyo Mekijanoü el que presentó los mayores valores de abundancia y riqueza (Figura

4a). Los arroyos Kajashiwoü y Chaamaalüü fueron caracterizados por Lasso & Granados-Martínez (2015), como arroyos amenazados por la intervención antrópica, que podría explicar los bajos valores de abundancia y de riqueza de géneros, encontrados en estos dos sitios. El arroyo Mekijanoü, se catalogó con una menor intervención antrópica, que coincidió con los valores altos de riqueza, abundancia y el BMWP/Col. La principal amenaza de los cuerpos de agua fue la presencia de caprinos que, regularmente, usan la vegetación ribereña. Es probable que las comunidades de insectos acuáticos se vean afectadas por la pérdida de la vegetación cercana a los cuerpos de agua (Alonso, 2006) y la acción física de los animales al ingresar a dichos sistemas, al usar el agua para consumo (Obs. Pers).

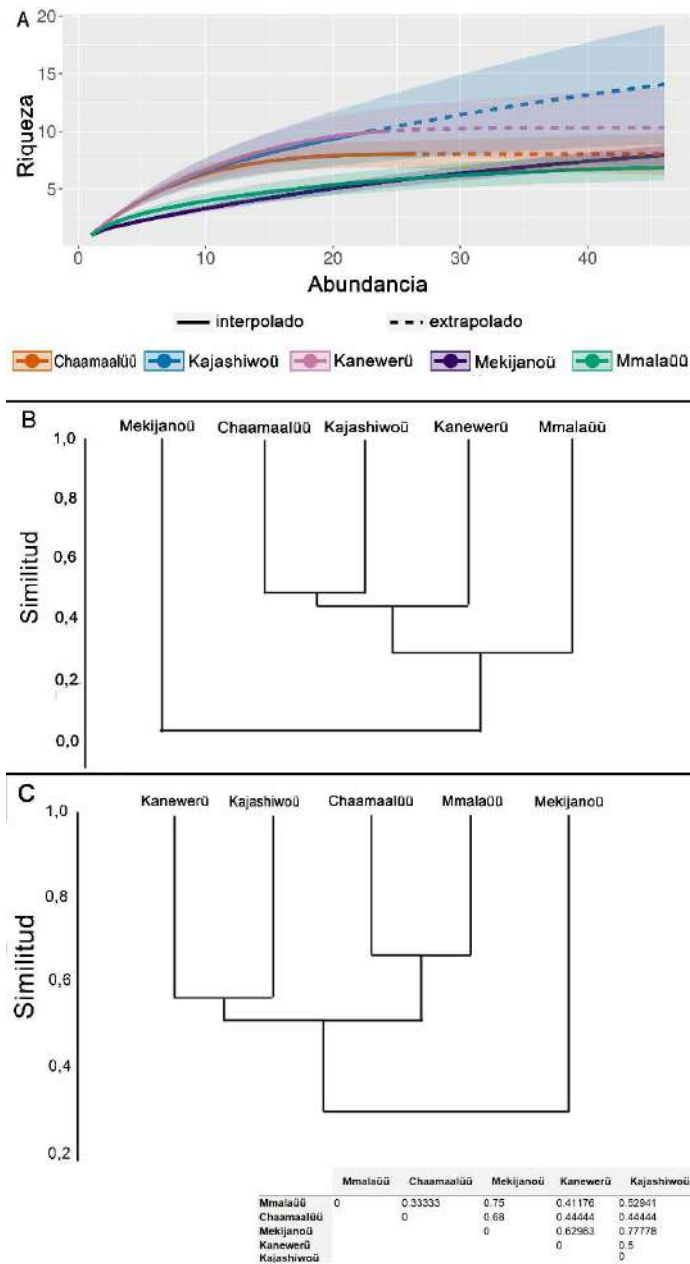


Figura 4. A. Curva de rarefacción de la riqueza en función de la abundancia de los taxones en los cinco arroyos de la serranía de la Macuira; b. Análisis de conglomerados Cluster, basado en la abundancia de los taxones; c) Cluster basado en la riqueza de taxones; en la tabla de esta figura, se incluyen los valores del recambio de taxones entre arroyos.

A partir de los resultados obtenidos, se registra, por primera vez, seis nuevos géneros (*Corydalus*, *Heterelmis*, *Rhagovelia*, *Mayobaetis*, *Tbolymis* y *Mecistogaster*), que se suman al inventario de sistemas fluviales de la Serranía de la Macuira, por lo cual, hoy, se totalizan 24 familias y 43 géneros, incluyendo los trabajos previos, realizado por Lasso & Granados- Martínez (2015).

Análisis de conglomerados. El análisis Cluster basado en las abundancias mostró que el arroyo Mekijanoü, se separó de los cuatro arroyos restantes, debido sus altos registros, mientras que las abundancias de las comunidades de los arroyos Chaamaalüü, Kajashiwoü y Kanewerü, fueron similares entre sí, evidenciando una leve separación con respecto al arroyo Mmalaüü, que no representa una notable diferencia con estos tres sitios (Figura 4b). El Cluster basado en la riqueza mostró que el arroyo Mekijanoü también se separó de los otros arroyos, por tener el mayor número de géneros; los demás arroyos presentaron una mayor similitud entre ellos (Figura 4c). Asimismo, el índice de Whittaker mostró la mayor similitud de taxones entre los arroyos Chaamaalüü y Mmalaüü y la mayor disimilitud, entre Kajashiwoü y Mekijanoü.

El agrupamiento refleja que, a pesar de que la Serranía de la Macuira es un lugar conservado, su diversidad se ve afectada por los flujos de agua, los cuales, pasan de ser arroyos, con una constancia hídrica, a arroyos compuestos por charcas y bateas, todo esto, debido a que las interrupciones a lo largo de un cuerpo de agua pueden generar alteraciones en las comunidades presentes y cambios en la composición de las comunidades y, por ende, en la diversidad (Bonada *et al.* 2007; Romani *et al.* 2017); sin embargo, se requiere de monitoreos temporales, para conocer la dinámica de las comunidades con relación al incremento y descenso de los flujos (Stubington *et al.* 2017).

Calidad de agua. Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del índice BMWP/Col mostraron que el arroyo Mekijanoü obtuvo el puntaje más alto (87), correspondiente a la mejor calidad de agua, categorizada como “Agua ligeramente contaminada”, en comparación con los otros cuatro arroyos, los cuales, oscilaron entre 6 a 10 familias, con puntajes entre 41 a 57, con la categoría de “aguas moderadamente contaminadas” (Tabla 2). Similares resultados fueron documentados por Figueroa *et al.* (2007), quienes observaron

que en el río Chillán (Chile), la mayor riqueza y abundancia se presentó en los sectores con mejores condiciones de calidad de agua y que la riqueza disminuyó en la parte baja del río, donde se registraron los valores de contaminación más altos. Olivares-Calzado *et al.* (2012), también aplicaron el índice BMWP/Cub en el río San Juan (Cuba) y observaron alta contaminación orgánica y bajos valores de riqueza (2 taxones), moluscos de la familia Thiaridae (*Tarebia granifera*) y dípteros de la familia Chironomidae (*Goeldichironomus devineyae*).

La aplicación del índice BMWP/Col mostró que, cuatro de los cinco arroyos evaluados, se situaron en Clase III, lo que indica que sus aguas se clasificaron como “Aguas moderadamente contaminadas” y solo uno, situado en Clase II, determinando una “Agua ligeramente contaminada”. Estos resultados coinciden con la abundancia de las familias de insectos acuáticos encontrados en el arroyo Mekijanoü, que podría ser resultado del constante flujo observado por Lasso & Granados- Martínez (2015), en comparación con los demás arroyos. Si bien los insectos acuáticos reflejan las condiciones ambientales y la calidad ecológica de estos sistemas (Montoya-Moreno *et al.* 2011; López-Hernández *et al.* 2014) es necesario que dichas evaluaciones se realicen en los diferentes momentos hidrológicos, ya que la composición de las comunidades puede variar y, consecuentemente, los resultados de los índices (Murphy, 1978; De la Lanza-Espino *et al.* 2000; Romero *et al.* 2011).

En conclusión, la estructura de las comunidades de insectos acuáticos fue similar en cuanto a su baja abundancia y composición de taxones, en cuatro de los cinco arroyos evaluados, como consecuencia de la intermitencia de estos ecosistemas y la intervención antrópica observada (presencia de ganado), factores que juegan un papel fundamental en la estructuración de las comunidades de insectos acuáticos en los sistemas fluviales; sin embargo, una evaluación anual (que incluya todos los periodos climáticos para la zona) podrían verificar o no las tendencias registradas hasta el momento.

Agradecimientos: A la comunidad indígena Wayüü, por facilitar la colecta de material biológico en su territorio. A Boris Cuadrado, director del Parque Nacional Natural Macuira, por facilitar el acceso a la zona y otorgar la autorización para el muestreo. Especial agradecimiento a los revisores anónimos y al editor del manuscrito,

Tabla 2. Estado de la calidad del agua utilizando el BMWP/Col en cinco arroyos de la Serranía de la Macuira.

Sitios	Mmalaüü	Chaamaalüü	Mekijanoü	Kanewerü	Kajashiwoü
Número de familias	6	8	15	10	8
BMWP/Col	41	55	87	57	43
Categoría	Clase III	Clase III	Clase II	Clase III	Clase III
Significado	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas ligeramente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas

por sus valiosos comentarios, que permitieron su mejora. A los integrantes del Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada, por su apoyo en el trabajo en el laboratorio. A la Fundación FUPARCIS, por la gestión administrativa del proyecto. Conflictos de intereses: Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados en este manuscrito. El presente artículo se deriva del trabajo de pregrado titulado “Insectos acuáticos asociados a arroyos intermitentes de la serranía de la Macuira, Guajira- Colombia” elaborado por el primer autor.

REFERENCIAS

- ALONSO, A. 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas*. (Colombia). 15(2):101-105.
- ÁLVAREZ-ARANGO, L.F. 2005. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- ARANGO, M.C.; ÁLVAREZ, L.F.; ARANGO, G.A.; TORRES, O.E.; MONSALVE, A.D.J. 2008. Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*. (Colombia). 9:121-141.
- ARMBRECHT, I.; RIVERA, L.; PERFECTO, I. 2005. Reduced diversity and complexity in the leaf litter ant assemblage of Colombian coffee plantations. *Conservation Biology* 19(3):897-907.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00062.x>
- BARRAGÁN, M.F.; TAMARIS-TURIZO, C.E.; RÚA-GARCÍA, G.A. 2017. Comunidades de insectos acuáticos de los tres flancos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Biota Colombiana*. (Colombia). 17(2):47-61.
<https://doi.org/10.21068/c2016.v17n02a05>
- BONADA, N.; RIERADEVALL, M.; PRAT, N. 2007. Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. *Hydrobiologia*. (Suiza). 589(1):91-106.
<https://doi.org/10.1007/s10750-007-0723-5>
- BUEÑAÑO, M.; VÁSQUEZ, C.; ZURITA-VÁSQUEZ, H.; PARRA, J.; PÉREZ, R. 2018. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador. *Intropica*. (Colombia). 13(1):41-49.
<https://doi.org/10.21676/23897864.2405>
- CAMACHO-PINZÓN, D.; MOLANO-RENDÓN, F. 2005. Clave ilustrada de especies para Gerridae (Insecta: Heteroptera) del departamento del Quindío-Colombia. *Rev. de Investigaciones Universidad del Quindío*. (Colombia). 15:75-82.
- CASTELLANOS, M.L.; PARDO-LOCARNO, L.C.; DORIA, A.C.C. 2011. algunas características de macrofauna del suelo en la Serranía de la Macuira, Guajira, Colombia. *Agricultura Tropical*. 34(3,4):98-106.
- CASTELLANOS, P.M.; SERRATO, C. 2008. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el Páramo de Santurbán, Norte de Santander. *Rev. Academia Colombiana de Ciencias*. (Colombia). 32(122):79-86.
- CASTILLO-FIGUEROA, D.; GARZÓN-SALAMANCA, L.L.; ALBARRACÍN-CARO, J.F. 2018. Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Colombia: A systematic review. *Neotropical Biology and Conservación*. (Bulgaria). 13(3):235-248.
<https://doi.org/10.4013/nbc.2018.133.06>
- CHAO, A.; GOTELLI, N.J.; HSIEH, T.C.; SANDER, E.L.; COLWELL, K.H.; MA, R.K.; ELLISON, A.M. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*. (U.S.A.). 84(1):45-67.
<https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- CHAO, A.; MA, K.H.; HSIEH, T.C. 2016. User's Guide for iNEXT Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity, Taiwan. p.14.
- CHARÁ-SERNA, A.M.; CHARÁ, J.D.; ZÚÑIGA, M.D.C.; PEDRAZA, G.X.; GIRALDO, L.P. 2010. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum*. (Colombia) 15(1):27-36.
<https://doi.org/10.11144/javeriana.SC15-1.tcoa>
- DE LA LANZA-ESPINO, G.; PULIDO, S.H.; PÉREZ, J.L.C. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Plaza y Valdés, México. p.551.
- DOMÍNGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, H.R. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 656p.
- DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; PESCADOR, M.L.; HUBBARD, M.D.; NIETO, C. 2006. Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America, Pensoft, Sofia. 646p.
- FIGUEROA, R.; PALMA, A.; RUIZ, V.; NIELL, X. 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo

- de Chile: río Chillán, VIII Región. Rev. chilena de historia natural. (Chile). 80(2):225-242.
19. FONTALVO, F.A.; TAMARIS-TURIZO, C.E. 2018. Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF. *Intropica*. 13(2):101-111. <https://doi.org/10.21676/23897864.2510>
 20. FORERO-CÉSPEDES, A.; REINOSO-FLÓREZ, G.; GUTIÉRREZ, C. 2013. Evaluación de la calidad del agua del río Opía (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia (Colombia)*. 35(2):371-387.
 21. HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T; RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1):9.
 22. HERNÁNDEZ, J.L.; GUZMÁN-SOTO, C.J.; TAMARIS-TURIZO, C.E. 2016. Macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga de Sahaya y en tres de sus afluentes (Cesar, Colombia). *Intropica*. 11(1):11-20. <https://doi.org/10.21676/23897864.1857>
 23. JOST, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*. 113(2):363-375.
 24. JOST, L. 2010. The relation between evenness and diversity. *Diversity*. 2(2):207-232.
 25. LASSO, C.A.; GRANADOS-MARTINEZ, C.E. 2015. Biota acuática de la serranía de la Macuira, Parque Nacional Natural Macuira, Guajira colombiana. Capítulo 8. En: Lasso, C.A.; Blanco-Libreros, J.F.; Sánchez-Duarte, P. (Eds). XII Cuencas Pericontinentales de Colombia Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, quebradas y arroyos costeros. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá. D.C., Colombia. p.293-314.
 26. LÓPEZ-HERNÁNDEZ, M.; RAMOS-ESPINOSA M.G.; FLORES-MACÍAS A.; GONZÁLEZ-FARÍAS, F. 2014. Insectos acuáticos del río Mixtamalapa, Veracruz, composición y estructura funcional: Herramienta para evaluar la salud ambiental. *Entomología Mexicana*. 1:414-419.
 27. MERRITT, R.W.; CUMMINS, K.W.; BERG, M.B. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. 4th ed. Kendall Hunt. Iowa, USA. 1158p.
 28. MONTOYA-MORENO, Y.; ACOSTA, Y.; ZULUAGA, E. 2011. Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. *Caldasia (Colombia)*. 33(1):193-210.
 29. MONTOYA-MORENO, Y.; PATIÑO ZAPATA, E.; RAMÍREZ ARANGO, E.; YEPES OSORIO, E. 2019. Calidad biológica y fisicoquímica de tres fuentes de agua y su relación con el fenómeno de El Niño y La Niña. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica (Colombia)*. 22(2):e1328. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1328>
 30. MUÑOZ-Q, F.; PAPROCKI, H. 2003. Claves para la identificación de las larvas de las familias neotropicales de Trichoptera. *Caldasia (Colombia)*. 25(1):169-192.
 31. MURPHY, P.M. 1978. The temporal variability in biotic indices. *Environ. Poll.* 17:227-236.
 32. OLIVARES-CALZADO, G.; NARANJO-LÓPEZ, C.; LÓPEZ-DEL CASTILLO, P.; MORELL-BAYARD, A. 2012. Valoración de la calidad del agua del río San Juan de Santiago de Cuba asociado a un foco de contaminación Industrial. *Ciencia en su PC (Cuba)*. 4:99-111.
 33. PEDROZA-RAMOS, A.; CARABALLO, P.; ARANGUREN-RIANO, N. 2016. Estructura trófica de los invertebrados acuáticos asociados a *Egeria densa* (Planch. 1849) en el lago de Tota (Boyacá-Colombia). *Intropica*. 11(1):21-34. <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.1858>
 34. PÉREZ, G.R.; RESTREPO, J.J.R. 2008. Fundamentos de limnología neotropical (Vol. 15). Universidad de Antioquia, p.78.
 35. RAMÍREZ, A. 2010. Capítulo 5: Odonata. *Revista de Biología Tropical (Costa Rica)*. 58:97-136.
 36. RIVERA-USME, J.J.; CAMACHO-PINZÓN, D.L.; BOTERO-BOTERO, A.B. 2008. Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento del Quindío-Colombia. *Acta Biológica Colombiana (Colombia)*. 13(2):133-146.
 37. ROLDÁN, G.A. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col (No. 333.91 R744b). Medellín, CO: Edit. Universidad de Antioquia. *Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*. 40(155):254-274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
 38. ROLDÁN, G.A. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 40(155):254-274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
 39. ROMANÍ, A.M.; CHAUVET, E.; FEBRIA, C.; MORA-GÓMEZ, J.; RISSE-BUHL, U.; TIMONER, X.;

- WEITERE, M.; ZEGLIN, L. 2017. The Biota of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams: Prokaryotes, Fungi, and Protozoans. In: Datry, T.; Bonada, N.; Boulton, A. (eds). Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. Academic Press. p.161-188.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00009-7>
40. ROMERO, I.; LUNA, J.A.; OBREGÓN, W.P. 2011. Calidad sanitaria de las fuentes hídricas de la cuenca baja del río Manzanares, Santa Marta, Colombia. *Intropica*. 6(1):51-62.
41. SÁNCHEZ HERRERA, M.J. 2005. El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita norte de Santander. *Bistua: Rev. Facultad de Ciencias Básicas*. (Colombia). 3(2):54-67.
42. STUBBINGTON, R.; BOGAN, M.T.; BONADA, N.; BOULTON, A.J.; DATRY, T.; LEIGH, C.; VANDER VORSTE, R. 2017. The Biota of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams: Aquatic Invertebrates. In: Datry, T.; Bonada, N.; Boulton, A. (eds). Intermittent Rivers and Ephemeral Streams, Academic Press. p.217-243.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00007-3>
43. TAMARIS-TURIZO, C.E.; PINILLA-A., G.; MUÑOZ, I. 2018. Trophic network of aquatic macroinvertebrates along an altitudinal gradient in a Neotropical mountain river. *Rev. Brasileira de Entomologia*. 62:180-187.
<https://doi.org/10.1016/j.rbe.2018.07.003>
44. UAESPNN. 2011. Parque Nacional Natural Macuira. Plan de manejo 2011. 2007. Unidad Administrativa Especial de Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia. (Colombia). 37p.
45. WHITTAKER, R.H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*. 21:213-251.
46. WIGGINS, G.B. 1996. Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera). University of Toronto Press. 476p.
47. ZÚÑIGA, M.; CARDONA, W.; MOLINERI, C.; MENDIVIL, J.; CULTID, C.; CHARÁ, A.M.; GIRALDO, A. 2014. Entomofauna acuática del Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano, con énfasis en Ephemeroptera y Plecoptera. *Rev. Biología Tropical*. (Costa Rica). 62(1):221-241.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.16278>



Field blood preservation and DNA extraction from wild mammals: methods and key factors for biodiversity studies

Preservación en campo y extracción de ADN en sangre de mamíferos silvestres: métodos y factores claves para estudios de biodiversidad

Juan D. Carvajal-Agudelo¹; M. Paula Trujillo-Betancur²; Daniela Velásquez-Guarín³; Héctor E. Ramírez-Chaves⁴; Jorge E. Pérez-Cárdenas⁵; Fredy A. Rivera-Páez⁶

¹Biologist, M.Sc. student. Universidad de Caldas, Programa de Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Grupo de Investigación en Genética, Biodiversidad y Manejo de Ecosistemas, GEBIOME. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: j davidcarvajal@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2888-7147>

²Biologist student. Universidad de Caldas, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Grupo de Investigación en Genética, Biodiversidad y Manejo de Ecosistemas, GEBIOME. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: mapatrub@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8035-5175>

³Biologist, M.Sc. student. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Centro de Museos, Museo de Historia Natural, Programa de Maestría en Ciencias Biológicas, Grupo de Investigación en Genética, Biodiversidad y Manejo de Ecosistemas, GEBIOME. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: daniela.bio202830@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6487-7608>

⁴Biologist, M.Sc., Ph.D. Universidad de Caldas, Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Centro de Museos, Museo de Historia Natural, Grupo de Investigación en Genética, Biodiversidad y Manejo de Ecosistemas, GEBIOME. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: hector.ramirez@ucaldas.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2454-9482>

⁵Bacteriologist, M.Sc. Universidad de Caldas, Departamento de Ciencias básicas para la Salud, Facultad de Ciencias para la Salud, Grupo de Investigación Biosalud. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: labmicro@ucaldas.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-7829-6505>

⁶Lic. Biologist and Chemist, M.Sc., Ph.D. Universidad de Caldas, Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Grupo de Investigación en Genética, Biodiversidad y Manejo de Ecosistemas, GEBIOME. Manizales - Caldas, Colombia. e-mail: fredy.rivera@ucaldas.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-8048-5818>

How to cite: Carvajal-Agudelo, J.D.; Trujillo-Betancur, M.P.; Velásquez-Guarín, D.; Ramírez-Chaves, H.E.; Pérez-Cárdenas, J.E.; Rivera-Páez, F.A. 2021. Field blood preservation and DNA extraction from wild mammals: methods and key factors for biodiversity studies. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1766. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1766>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education

Received: November 17, 2020 **Accepted:** April 19, 2021 **Edited by:** Ingeborg Zenner de Polanía

ABSTRACT

Studies on public health and wild mammal biodiversity include a genetic component. For blood samples, there must be optimal sample collection conditions since these can affect DNA preservation and

extraction. This study evaluated the use of liquid and dry DNA preservation methods and commercial and non-commercial DNA extraction methods on field-collected blood samples. For this, 264 total blood samples were collected from wild mammals. A first group of samples was preserved in guanidine hydrochloride (GuHCl) and

DNA was extracted using six commercial kits: Bioline, Norgen, Invitrogen, Promega, and Qiagen, in addition to phenol-chloroform isoamyl alcohol (PC) and guanidine thiocyanate (GIT). Another group of samples was preserved in Whatman® FTA® cards and DNA was extracted with PC and GIT. The extractions with GIT and PC showed the highest values (ng/μL) and variation in DNA concentration, while the commercial kit showed low variation. Sample preservation in Whatman® FTA® cards provided low variation and quantity of the extracted DNA compared with the use of GuHCl. Concerning DNA quality, the commercial kits yielded higher purity, while GIT and PC-based protocols provided highly variable results. Furthermore, the use of GIT and PC yielded a higher amount of DNA, yet, of variable quality. Overall, extraction based on commercial kits and Whatman® FTA® preservation allowed obtaining more standardized DNA qualities and quantities.

Keywords: Biodiversity; DNA quality; Mammalia; Whole blood; Wildlife.

RESUMEN

Los estudios sobre salud pública y biodiversidad de mamíferos silvestres incluyen un componente genético. Para las muestras de sangre, se debe tener condiciones óptimas de colección, ya que pueden afectar la preservación y la extracción del ADN. Este estudio evaluó el uso de métodos de preservación de ADN líquido y seco y métodos de extracción de ADN comerciales y no comerciales, en muestras de sangre, recolectadas en campo. Para ello, se recogieron 264 muestras de sangre totales de mamíferos salvajes. Se preservó un primer grupo de muestras en clorhidrato de guanidina (GuHCl) y se extrajo el ADN, utilizando seis kits comerciales: Bioline, Norgen, Invitrogen, Promega y Qiagen, además de dos protocolos no comerciales: fenol-cloroformo isoamil alcohol (PC) y guanidina tiocianato (GIT). Otro grupo de muestras, se preservó en tarjetas Whatman® FTA® y se extrajo el ADN, con PC y GIT. Las extracciones con GIT y PC mostraron los valores y variaciones más altas en la concentración de ADN (ng/μL), mientras que el kit comercial mostró una baja variación. La preservación de la muestra en tarjetas Whatman® FTA® proporcionó una baja variación y cantidad de ADN extraído, en comparación con el uso de GuHCl. En cuanto a la calidad del ADN, los kits comerciales produjeron una mayor pureza (A260/280), mientras que los protocolos basados en GIT y PC proporcionaron resultados muy variables. Además, el uso de GIT y PC originó una mayor cantidad de ADN, pero de calidad variable. En general, la extracción basada en kits comerciales y la conservación Whatman® FTA® permitió obtener calidades y cantidades de ADN más estandarizadas.

Palabras clave: Biodiversidad; Calidad de ADN; Mammalia; Sangre total; Vida silvestre.

INTRODUCTION

Mammals (Mammalia) comprise a diverse group of vertebrates represented by more than 6550 species (Burgin *et al.* 2020). They are recognized by the ecological interactions with other vertebrates

and invertebrates, the diversity of habits, behaviors, shapes, and by the roles in the trophic web (Nowak & Walker, 1999; Nakagawa *et al.* 2007). Among these interactions, the role of mammals as vehicles of vectors and reservoirs of microorganisms is a key factor for understanding disease ecology (Williams & Barker, 2008).

In recent years, the development of molecular analyses has favored the advancement of DNA applications such as the genetic characterization of wild mammals and their pathogens (Rodrigues *et al.* 2019), detection of disease-causing agents (Schijman *et al.* 2011), biodiversity studies, diagnostics, and biomedicine (Cho *et al.* 2007; Tang *et al.* 2016). For mammal studies, DNA samples have been extracted from fur, feces, blood, and several tissues (Henry & Russello, 2011; Rey Fraile, 2013). For that reason, DNA extraction methods have been tested for different different preservation media (De Vries *et al.* 2009; Chakraborty *et al.* 2006; Gilbert *et al.* 2007; Hofreiter, 2012) and sample types including dry blood, environmental DNA (Ficetola *et al.* 2008), ancient DNA (Rohland & Hofreiter, 2007), and fossilized material (Willerslev *et al.* 2004).

Diverse technical and biological factors play an important role in the use of DNA for diagnostic practice. DNA preservation and extraction methods largely determine the quantity and quality of DNA recovered from a sample (Psifidi *et al.* 2015). These methods must maintain the integrity of the genetic material from the moment of sample collection until DNA extraction and downstream applications (Tan & Yiap, 2009; Demeke & Jenkins, 2010). Furthermore, the amount of extracted DNA is influenced by the presence of DNA in red blood cells, which is markedly different among non-nucleated (mammals) and nucleated (e.g., birds, reptiles, amphibians, and fish) erythrocytes (Al-Shuhaib, 2017). High-quality nucleic acids extraction from field-fresh organic samples is complex and is associated with adverse factors that can promote DNA degradation, such as sample collection method, type of tissue, storage conditions and time (i.e., degree and time of degradation) (Camacho-Sanchez *et al.* 2013). These factors affect DNA amplification methods, which display variable levels of sensitivity and specificity (Schijman *et al.* 2011). The variations depend on technical factors such as sample volume, preservation conditions, DNA extraction method, PCR conditions (selected primers, reagents, and thermocycling conditions), as well as the number of circulating parasites in the blood sample (Mtambo *et al.* 2006; Salgado *et al.* 2007; Metwally *et al.* 2008; Asadzadeh *et al.* 2010). The selection of DNA extraction methods and sample preservation is essential to evaluate the viability of the sample and its use, according to its study objective. In general terms, it refers to higher DNA concentration and quality (Minamoto *et al.* 2016). Furthermore, aspects such as efficiency, cost-effectiveness, storage, and collection should also be considered to determine the viability of the sample and its use in methodologies that require DNA extraction (Chacon-Cortes & Griffiths, 2014). Generally, high concentrations of ethanol (over 70% ethanol) are used for tissue preservation (Ma *et al.* 2007), although other solutions such as RNA later™ Stabilization Solution (Thermo Fisher Scientific), guanidine hydrochloride (GuHCl), Longmire buffer, and NAP buffer are generically used to preserve diverse sample types (Camacho Sanchez

et al. 2013; Mayta *et al.* 2019). Moreover, Whatman® FTA® cards have proven useful to preserve DNA from blood (Sant'Anna *et al.* 2008; Dove *et al.* 2011; Choi *et al.* 2014; Rahikainen *et al.* 2016).

Due to the wide variety of sample preservation and DNA extraction methods, they should be assessed before their use, to guarantee successful DNA extraction.

Considering this we compared the quantity and quality of DNA recovered from blood samples of wild mammals using two field sample preservation and seven DNA extraction methods.

MATERIALS AND METHODS

Sample collection and sample site. Between March and October of 2019, wild mammals were captured at localities in the municipalities of Arauca (07°05'25"N, 70°45'42"W) and Tame (06°27'30"N, 71°44'41"W), in the Department of Arauca, Colombia. Mammals were captured using 60 Sherman traps and 10 Tomahawk traps. The specimens were collected under the permit granted by the Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) to the Universidad de Caldas (Resolution # 02497, December 31, 2018) and the approval of the bioethics committee of the Faculty of Exact and Natural Sciences of Universidad de Caldas (June 2nd of 2017). Voucher specimens were deposited at the Natural History Museum of University of Caldas for taxonomic identification. The taxonomic identification of the small mammals was performed using taxonomic keys (Gardner, 2008; Patton *et al.* 2015; Díaz *et al.* 2016). Peripheral blood was collected through venipuncture with using 5mL-syringes or 25G needles with no coagulant for large and small mammals, respectively. All blood samples that yielded the minimum required amount were used to perform the extraction protocols. The samples were preserved using two methods: liquid and dry, using the same amount of blood (250µL). The liquid method consisted of one volume of blood with one volume of 5M guanidine hydrochloride (GuHCl); the samples were immediately stored at 4°C in a portable refrigerator. The dry method involved adding the blood evenly to an area of 2.5cm² on a Whatman® FTA® card (GE Healthcare) and storing it at room temperature.

DNA extraction. DNA was extracted from the samples preserved in GuHCl using the following commercial kits: Isolate II Genomic DNA (Bioline®), Genomic DNA Isolation Kit (Norgen®), PureLink™ Genomic DNA Mini Kit (Invitrogen®), Genomic DNA Purification Kit (Promega®), and DNeasy Blood and Tissue Kit (Qiagen®) (Table 1). All the extractions were done using the same amount of blood (250µL) and according to the manufacturers' protocols; however, some modifications were made for all the protocols in the lysis step, including the addition of 10µL of proteinase K 1mg/mL prior to the extraction process and 2 additional hours of incubation time using the lysis buffer.

The non-commercial DNA extraction protocols used were phenol-chloroform-isoamyl alcohol (25:24:1 | v/v/v) (PC) (reagent from Thermo Fisher Scientific) and 4M guanidine thiocyanate (GIT)

(reagent from Thermo Fisher Scientific) (Amaru *et al.* 2008). DNA extraction was done from the complete sampled area (2cm²) of the Whatman® FTA cards using both protocols. Since these non-commercial protocols require separation of buffy coat, these were modified to use a greater volume of proteinase K 1mg/mL (i.e., 30µL in total), a longer incubation time (6 hours), and two rounds of centrifugation for 30 minutes at 12000 RPM at room temperature. DNA was eluted using 50µL of elution buffer provided for each commercial kit and 50µL of 1X TE buffer (10mM Tris, 1mM EDTA, pH ~8.0) for non-commercial protocols.

DNA quality assessment and quantification. DNA quality was estimated using a Biochrom™ NanoVue Plus spectrophotometer; a 260 nm/280 nm absorbance (Abs) ratio was used to assess the purity of the extracted DNA. The amount of DNA recovered by the different methods was determined on a Quantus Fluorometer™ (Promega®) using the QuantiFluor® dsDNA System (Promega®).

Statistical analysis. A Kruskal-Wallis test was performed to determine significant differences in DNA quality and quantity among the two sample groups: 1. Bioline, GIT, Invitrogen, Norgen, PC, Promega, and Qiagen DNA extraction methods; 2. GIT and PC with GuHCl and Whatman FTA sample preservation methods. Boxplots were graphed to interpret the variation in the data. The graphs and data were generated and analyzed respectively in R software v4.0.3.

RESULTS AND DISCUSSION

In total, 264 blood samples were collected from wild mammals, namely bats, marsupials, and rodents of the orders Chiroptera, Didelphimorphia, and Rodentia. The marsupials belonged to the species *Didelphis marsupialis* (5 blood samples). The bats included species of the families Noctilionidae (*Noctilio albiventris*: 2 samples), Phyllostomidae (genera *Artibeus*: 19; *Carollia*: 20; *Phyllostomus*: 6; *Platyrrhinus*: 12; *Sturnira*: 32; and *Uroderma*: 21), Molossidae (genera *Molossus*: 64; and *Cynomops*: 16), and Vespertilionidae (*Myotis*: 34). The rodents belonged to the families Cricetidae (*Oecomys* sp.: 15 samples), Echimyidae (*Proechymis* sp.: 5), Dasyproctidae (*Dasyprocta fuliginosa*: 1), Caviidae (*Hydrochoerus hydrochaeris*: 10), and an exotic species of Muridae (*Rattus rattus*: 2). None of the species or genera are listed in any national threatened category.

DNA quantification indicated that non-commercial protocols PC and GIT yielded the highest amounts of extracted DNA, yet these methods also showed the highest variation. The commercial kit, such as Promega, yielded the third highest concentration of DNA, while Norgen, Invitrogen, Qiagen, and Bioline showed similar DNA yields (Table 1). Regarding DNA quality, Abs 260/280 ratio (nm/nm) measurements indicated that GIT and the commercial kit by Norgen achieved the highest DNA qualities. Moreover, the commercial kits by Qiagen, Bioline, and Invitrogen, and the non-commercial protocol using PC showed similar and optimal results ranging from Abs 1.6 – 1.8 (considered as a pure DNA). Conversely, Promega showed quality scores below the required values (Figure 1, Table 1). The Shapiro-Wilks test showed that the data were not

normal; consequently, a Kruskal-Wallis test was performed. The Kruskal-Wallis test revealed significant differences ($P<0.01$) in DNA quantity and quality among extraction methods.

The comparison between GuHCl and Whatman-FTA preservation methods using PC and GIT-based protocols showed that GuHCl promoted higher DNA concentrations but had higher variation (PC

\bar{x} : 12.33 ± 9.71 | GIT \bar{x} : 13.79 ± 9.68). Conversely, samples preserved in Whatman® FTA® cards yielded the lowest DNA concentrations but showed fewer variable values (PC \bar{x} : 3.2 ± 1.27 | GIT \bar{x} : 2.01 ± 0.32). Regarding DNA quality, lower quality was obtained for DNA extracted with PC (GuHCl A260/280 \bar{x} : 1.31 ± 0.21 and Whatman® FTA® A260/280 \bar{x} : 1.04 ± 0.14). Moreover, GIT extraction from samples preserved in Whatman® FTA® (\bar{x} : 2.09 ± 0.32) showed

Table 1. Measurements of concentration and quality of total DNA recovered using each extraction and preservation method.

Preservation method	Extraction method	N	DNA concentration (ng/ μ L)**				DNA quality (Abs 260/280 ratio)**			
			Mean	Median	Range	SD	Mean	Media	Range	SD
GuHCl	Bioline	24	3.28	2.96	2.23-4.78	0.81	1.84	1.91	1.45-2.18	0.24
GuHCl	Invitrogen	18	2.36	2.01	1.66-4.34	0.91	1.77	1.87	1.48-1.97	0.22
GuHCl	Norgen	12	3.35	2.72	2.55-5.4	1.22	1.67	1.69	1.48-1.81	0.13
GuHCl	Promega	12	5.96	5.99	3.1-8.8	2.85	1.46	1.47	1.4-1.54	0.04
GuHCl	Qiagen	39	4.37	4.2	3.18-7.6	1.16	1.72	1.57	1.34-2.54	0.33
GuHCl	PC	87	12.33	8	1.95-29	9.71	1.31	1.3	1.03-1.59	0.21
GuHCl	GIT	40	13.79	8.55	2.76-29	9.68	1.69	1.61	1.19-2.3	0.29
Whatman® FTA®	PC	40	3.2	2.74	2.35-7.5	1.27	1.04	0.98	0.82-1.30	0.14
Whatman® FTA®	GIT	40	3.64	3.02	2.26-9	1.54	2.01	2.09	1.29-2.64	0.32

** Kruskal-Wallis test revealed significant differences ($P<0.01$) in DNA quantity and quality among extraction methods for GuHCl, and extraction methods, and for Whatman® FTA® -GuHCl and, PC -GIT.

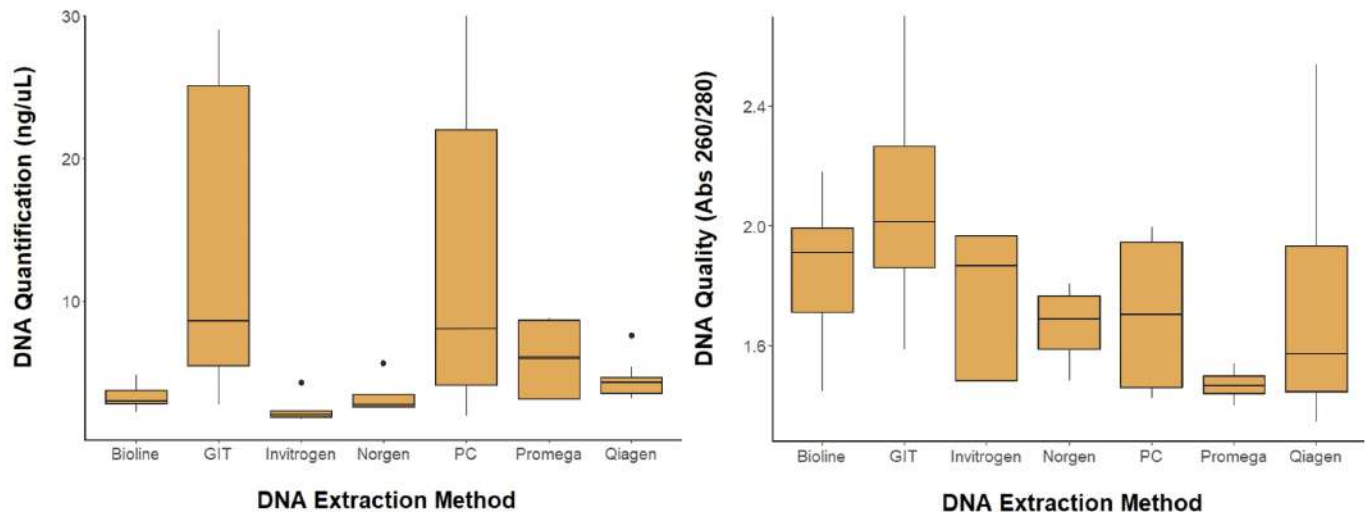


Figure 1. Boxplot of DNA quality measured at a ratio of absorbance 260/280 (nm/nm wavelength) (A) and DNA quantification (B) from DNA extracted using commercial kits and non-commercial protocols.

variation outside of the acceptable range of quality values compared with GuHCl (\bar{x} : 1.69 ± 0.29) (Figure 2, Table 1). The Shapiro-Wilks test showed that the data were not normal; consequently, a Kruskal-Wallis test was carried out. The Kruskal-Wallis test determined significant differences ($P<0.01$) in DNA quantity and

quality between the two extraction methods using different sample preservation METHODS.

The non-commercial phase-based protocols (i.e., PC and GIT) showed the highest amount of extracted DNA, as well as the highest

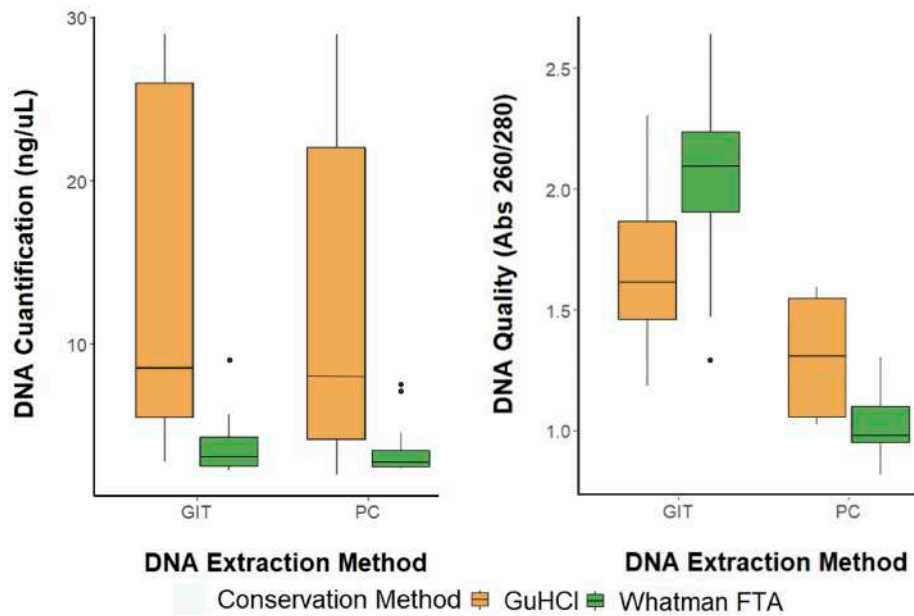


Figure 2. Boxplot of DNA quality measured at a ratio of absorbance 260/280 (nm/nm wavelength) (A) and DNA quantification (B) between DNA extracted using non-commercial protocols and preservation methods.

variation. The variability in DNA recovered from liquid samples, such as blood, during the manual recovery of the leukocyte layer (i.e., buffy coat) is due its contamination and variable concentration or volume; consequently, this method is affected by human manipulation (Desquesnes & Tresse, 1996). These findings agree with variations reported in previous studies, as well as reports of higher total DNA yields and PCR confirmation (Albariño & Romanowski, 1994; Malferrari *et al.* 2002; Kravchenko *et al.* 2006; Tang *et al.* 2006; Asadzadeh *et al.* 2010; Di Pietro *et al.* 2011; Karthikeyan *et al.* 2020). These non-commercial protocols might not be efficient because of the number of steps required for DNA extraction; however, they are inexpensive, easy to prepare, and accessible (Ibrahim *et al.* 2018).

In contrast, commercial column-based kits yield lower amounts of DNA with higher quality and lower variation. Given this low variability, these methods are used in automatization lines and, therefore, display greater efficiency regarding time, manipulation, and yield for standardized and continuous extraction of a large number of samples (Tan & Yiap, 2009; Demeke & Jenkins, 2010). Likewise, the low variation in DNA yield using Qiagen, Norgen, Invitrogen, and Bionline commercial methods is attributed the standardized methodology based on silica columns, which guarantee DNA integrity and are more effective (Esser *et al.* 2006). An exception to this is the Promega commercial kit, which does not use a silica column but instead standard phase separation that generates higher variation in total DNA quantity and lower quality.

Whatman® FTA® cards provided the lowest DNA quantities for both extraction methods and highly variable quality values. The low yields could be attributed to sample fixation errors since the blood must be evenly distributed to allow all cells to be lysed. Furthermore, during this process, the card is impregnated with blood contaminants or adjacent samples (Borman *et al.* 2010). Nevertheless, Whatman®

FTA® cards are widely used in research on blood parasites in birds and wild mammals and in field sample collection due to easy storage, rapid drying, and direct use in PCR (Dove *et al.* 2011; Choi *et al.* 2014; Rahikainen *et al.* 2016). This preservation method is useful for the collection of small volume samples such as those from birds and small mammals (e.g., bats and rodents).

The variable DNA concentration obtained from samples preserved in GuHCl may have been due to the use of liquid-based methodologies for both sample preservation and DNA extraction (e.g., PC and GIT). This liquid sample preservation method dilutes the blood in GuHCl, which limits and reduces the concentration of blood used for DNA extraction. Moreover, sample collection for DNA extraction should be normalized using a vortex to avoid precipitations, which adds more steps to the DNA extraction protocol and reduces its efficiency (Ibrahim *et al.* 2018). The use of GuHCl could be indicated mainly for large sample volumes obtained from large mammals. On the other hand, there are some limitations provided by differences between organisms, species, and individuals that lead to variations in the number of nucleated cells (Hawkey, 2017) and the availability of DNA in the sample for extraction. Although these variations can hardly be avoided in the field, a more adequate comparison is recommended using livestock animals.

In conclusion, column-based methods allow optimizing quality, as well as automatizing the DNA extraction process. Similarly, non-commercial protocols enable higher DNA yields through rigorous steps. DNA preservation in the field will depend on the adverse conditions and precautions taken. Both GuHCl and Whatman-FTA cards can be used for the preservation of blood in the field. Furthermore, the choice of the commercial kit or non-commercial protocol for the DNA extractions is relevant and depends on factors such as the successful standardization of the amount of DNA required for adjacent processes, automated methods, and research costs.

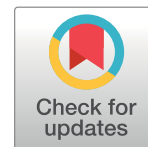
Acknowledgements: To the research group GEBIOME and Biosalud, the Natural History Museum of the University of Caldas and the “*Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados*”, and the community of the surrounding areas of the municipalities of Tame and Arauca for their help and collaboration in the field activities. **Conflicts of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest. **Funding Statement.** This study was funded by Minciencias through the project titled “The role of birds and small wild mammals in the circulation of ticks and rickettsiae in the Department of Arauca (Colombian Orinoquia)”, code 112777758193 and contract No. 858 of 2017.

REFERENCES

- AL-SHUHAIB, M.B.S.A. 2017. A universal, rapid, and inexpensive method for genomic DNA isolation from the whole blood of mammals and birds. *J. Genetics*. 96(1):171-176.
<https://doi.org/10.1007/s12041-017-0750-6>
- ALBARIÑO, C.G.; ROMANOWSKI, V. 1994. Phenol extraction revisited: a rapid method for the isolation and preservation of human genomic DNA from whole blood. *Molecular and Cellular Probes*. 8(5):423-427.
<https://doi.org/10.1006/mcpr.1994.1060>
- AMARU, R.; PEÑALOZA, R.; MIGUEZ, H.; TORRES, G.; CUEVAS, H. 2008. UMSAgen, método para la extracción simultánea de RNA y DNA para diagnóstico molecular. *Cuadernos Hospital de Clínicas*. 53:38-43.
- ASADZADEH, N.; JAVANMARD, A.; NASSIRI, M. 2010. Comparison of rapid DNA extraction techniques for conventional PCR-RFLP analysis from mammalian whole blood. *J.Mol. Genet*. 2(3):32-35.
<https://doi.org/10.3923/jmolgene.2010.32.35>
- BORMAN, A.M.; FRASER, M.; LINTON, C.J.; PALMER, M.D.; JOHNSON, E.M. 2010. An improved protocol for the preparation of total genomic DNA from isolates of yeast and mould using Whatman FTA filter papers. *Mycopathologia*. 169(6):445-449.
<https://doi.org/10.1007/s11046-010-9284-7>
- BURGIN, C.J.; WILSON, D.E.; MITTERMEIER, R.A.; RYLANDS, A.B.; LACHER, T.; SECHREST, W. 2020. Illustrated checklist of mammals of the World. Lynx edicions (Spain).
- CAMACHO SANCHEZ, M.; BURRACO, P.; GOMEZ MESTRE, I.; LEONARD, J.A. 2013. Preservation of RNA and DNA from mammal samples under field conditions. *Molecular Ecology Resources*. 13(4):663-673.
<https://doi.org/10.1111/1755-0998.12108>
- CHACON-CORTES, D.; GRIFFITHS, L.R. 2014. Methods for extracting genomic DNA from whole blood samples: current perspectives. *J. Biorepository Science for Applied Medicine*. 2:1-9.
<https://doi.org/10.2147/BSAM.S46573>
- CHAKRABORTY, A.; SAKAI, M.; IWATSUKI, Y. 2006. Museum fish specimens and molecular taxonomy: a comparative study on DNA extraction protocols and preservation techniques. *J. Applied Ichthyology*. 22(2):160-166.
<http://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00718.x>
- CHO, Y.K.; LEE, J.G.; PARK, J.M.; LEE, B.S.; LEE, Y.; KO, C. 2007. One-step pathogen specific DNA extraction from whole blood on a centrifugal microfluidic device. *Lab on a Chip*. 7(5):565-573.
<https://doi.org/10.1039/b616115d>
- CHOI, E.H.; LEE, S.K.; IHM, C.; SOHN, Y.H. 2014. Rapid DNA extraction from dried blood spots on filter paper: potential applications in biobanking. *Osong Public Health and Research Perspectives*. 5(6):351-357.
<https://doi.org/10.1016/j.phrp.2014.09.005>
- DE VRIES, J.J.C.; CLAAS, E.C.J.; KROES, A.C.M.; VOSSEN, A.C.T.M. 2009. Evaluation of DNA extraction methods for dried blood spots in the diagnosis of congenital cytomegalovirus infection. *J. Clinical Virology*. 46:S37-S42.
<https://doi.org/10.1016/j.jcv.2009.09.001>
- DEMEKE, T.; JENKINS, G.R. 2010. Influence of DNA extraction methods, PCR inhibitors and quantification methods on real-time PCR assay of biotechnology-derived traits. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 396(6):1977-1990.
<https://doi.org/10.1007/s00216-009-3150-9>
- DESQUESNES, M.; TRESSE, L. 1996. Evaluation of sensitivity of PCR for detecting DNA of *Trypanosoma vivax* with several methods of blood sample preparations. *Revue d'élevage et de Médecine Veterinaire Des Pays Tropicaux*. 49(4):322-327.
- DI PIETRO, F.; ORTENZI, F.; TILIO, M.; CONCETTI, F.; NAPOLIONI, V. 2011. Genomic DNA extraction from whole blood stored from 15-to 30-years at 20 C by rapid phenol-chloroform protocol: A useful tool for genetic epidemiology studies. *Molecular and Cellular Probes*. 25(1):44-48.
<https://doi.org/10.1016/j.mcp.2010.10.003>
- DÍAZ, M.M.; SOLARI, S.; AGUIRRE, L.F.; AGUIAR, L.M.; BARQUEZ, R.M. 2016. Clave de Identificación de los Murciélagos de Sudamérica – Chave de Identificação dos

- Morcegos da América do Sul. Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina. Publicación Especial PCMA Nro 2. Editorial Magna Publicaciones, 160p.
17. DOVE, C.J.; DAHLAN, N.F.; HEACKER, M.A.; WHATTON, J.F. 2011. Using Whatman FTA® cards to collect DNA for bird-strike identifications. *Human-Wildlife Interactions*. 5(2):218-223.
<https://doi.org/10.26077/csen-dy04>
 18. ESSER, K.H.; MARX, W.H.; LISOWSKY, T. 2006. MaxXbond: first regeneration system for DNA binding silica matrices. *Nature Methods*. 3(1):68.
<https://doi.org/10.1038/nmeth845>
 19. FICETOLA, G.F.; MIAUD, C.; POMPANON, F.; TABERLET, P. 2008. Species detection using environmental DNA from water samples. *Biology Letters*. 4(4):423-425.
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2008.0118>
 20. GARDNER, A.L. 2008. *Mammals of South America, volume 1: marsupials, xenarthrans, shrews, and bats (Vol. 2)*. University of Chicago Press (United States).
 21. GILBERT, M.T.P.; MOORE, W.; MELCHIOR, L.; WOROBAY, M. 2007. DNA extraction from dry museum beetles without conferring external morphological damage. *PloS One*. 2(3):e272.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000272>
 22. HAWKEY, C.M. 2017. *Comparative mammalian haematology: cellular components and blood coagulation of captive wild animals*. William Heinemann Medical Books. London, UK. 310p.
<https://doi.org/10.1016/C2013-0-06344-X>
 23. HENRY, P.; RUSSELLO, M.A. 2011. Obtaining high-quality DNA from elusive small mammals using low-tech hair snares. *European J. Wildlife Research*. 57(3):429-435.
<https://doi.org/10.1007/s10344-010-0449-y>
 24. HOFREITER, M. 2012. Nondestructive DNA extraction from museum specimens. *Ancient DNA Springer*. p.93-100.
https://doi.org/10.1007/978-1-61779-516-9_13
 25. IBRAHIM, N.A.; NASSAR, S.A.; ABD EL-GAWAD, A.M.; OMAR, M.F. 2018. Comparing the efficiency in DNA extraction between organic phenol and magnetic beads methods. *Forensic Med. Toxicol*. 16:10-17.
<https://doi.org/10.21608/zjfm.2018.2419.1007>
 26. KARTHIKEYAN, K.; SARANYA, R.; BHARATH, R.; VIDYA, R.; ITAMI, T.; SUDHAKARAN, R. 2020. A simple filter paper-based method for transporting and storing *Enterocytozoon hepatoopenaei* DNA from infected *Litopenaeus vannamei* tissues. *J. Invertebrate Pathology*. 169:107305.
<https://doi.org/10.1016/j.jip.2019.107305>
 27. KRAVCHENKO, A.V.; CHETVERINA, E.V.; CHETVERIN, A.B. 2006. Preservation of nucleic acid integrity in guanidine thiocyanate lysates of whole blood. *Russian J. Bioorganic Chemistry*. 32(6):547-551.
<https://doi.org/10.1134/S1068162006060070>
 28. MA, D.; ZHUO, X.Y.; BU, J.; XIANG, P.; SHEN, B.H. 2007. Research of on the stability of ethanol in preservation of ethanol in blood. *Fa Yi Xue Za Zhi*. 23(2):117-119.
 29. MALFERRARI, G.; MONFERINI, E.; DEBLASIO, P.; DIAFERIA, G.; SALTINI, G.; DEL VECCHIO, E.; ROSSI-BERNARDI, L.; BIUNNO, I. 2002. High-quality genomic DNA from human whole blood and mononuclear cells. *Biotechniques*. 33(6):1228-1230.
<https://doi.org/10.2144/02336bm09>
 30. MAYTA, H.; ROMERO, Y.K.; PANDO, A.; VERASTEGUI, M.; TINAJEROS, F.; BOZO, R.; HENDERSON-FROST, J.; COLANZI, R.; FLORES, J.; LERNER, R. 2019. Improved DNA extraction technique from clot for the diagnosis of Chagas disease. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 13(1):e0007024.
<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007024>
 31. METWALLY, L.; FAIRLEY, D.J.; COYLE, P.V.; HAY, R.J.; HEDDERWICK, S.; MCCLOSKEY, B.; O'NEILL, H.J.; WEBB, C.H.; ELBAZ, W.; MCMULLAN, R. 2008. Improving molecular detection of *Candida* DNA in whole blood: comparison of seven fungal DNA extraction protocols using real-time PCR. *J. Medical Microbiology*. 57(3):296-303.
<https://doi.org/10.1099/jmm.0.47617-0>
 32. MINAMOTO, T.; NAKA, T.; MOJI, K.; MARUYAMA, A. 2016. Techniques for the practical collection of environmental DNA: filter selection, preservation, and extraction. *Limnology*. 17(1):23-32.
<https://doi.org/10.1007/s10201-015-0457-4>
 33. MTAMBO, J.; VAN BORTEL, W.; MADDER, M.; ROELANTS, P.; BACKELJAU, T. 2006. Comparison of preservation methods of *Rhipicephalus appendiculatus* (Acari: Ixodidae) for reliable DNA amplification by PCR. *Experimental & Applied Acarology*. 38(2-3):189-199.
<https://doi.org/10.1007/s10493-006-0004-4>
 34. NAKAGAWA, M.; HYODO, F.; NAKASHIZUKA, T. 2007. Effect of forest use on trophic levels of small mammals: an analysis using stable isotopes. *Canadian J. Zoology*. 85(4):472-478.
<https://doi.org/10.1139/Z07-026>

35. NOWAK, R.M.; WALKER, E.P. 1999. Walker's Mammals of the World (Vol. 1). JHU press (United States).
36. PATTON, J.L.; PARDIÑAS, U.F.J.; D'ELÍA, G. 2015. Mammals of South America, volume 2: rodents (Vol. 2). University of Chicago Press (United States).
37. PSIFIDI, A.; DOVAS, C.I.; BRAMIS, G.; LAZOU, T.; RUSSEL, C.L.; ARSENOS, G.; BANOS, G. 2015. Comparison of eleven methods for genomic DNA extraction suitable for large-scale whole-genome genotyping and long-term DNA banking using blood samples. *PloS One*. 10(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115960>
38. RAHIKAINEN, A.L.; PALO, J.U.; DE LEEUW, W.; BUDOWLE, B.; SAJANTILA, A. 2016. DNA quality and quantity from up to 16 years old post-mortem blood stored on FTA cards. *Forensic Science International*. 261:148-153. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.02.014>
39. REY FRAILE, I.R. 2013. Museos, colecciones científicas y ADN. *Memorias de La Real Sociedad Española de Historia Natural*. 11:53-68.
40. RODRIGUES, M.S.; LIMA, L.; DAS CHAGAS XAVIER, S.C.; HERRERA, H.M.; ROCHA, F.L.; ROQUE, A.L.R.; TEIXEIRA, M.M.G.; JANSEN, A.M. 2019. Uncovering *Trypanosoma* spp. diversity of wild mammals by the use of DNA from blood clots. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 8:171-181. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2019.02.004>
41. ROHLAND, N.; HOFREITER, M. 2007. Comparison and optimization of ancient DNA extraction. *Biotechniques*. 42(3):343-352. <https://doi.org/10.2144/000112383>
42. SALGADO, A.; VIEIRALVES, T.; LAMARÃO, F.R.M.; ASSUMPÇÃO, L.L.M.; GOMES, D.; JASCONE, L.; VALADÃO, A.L.; ALBANO, R.M.; LÔBO-HAJDU, G. 2007. Field preservation and optimization of a DNA extraction method for Porifera. In: Custódio, M.R.; Lôbo-Hajdu, G.; Hajdu, E.; Muricy, G. (eds). *Porifera Research. Biodiversity, Innovation and Sustainability*. Livros de Museu Nacional 28, Rio de Janeiro. Porifera Research: Biodiversity, Innovation and Sustainability. p.555-560.
43. SANT'ANNA, M.R.V.; JONES, N.G.; HINDLEY, J.A.; MENDES-SOUSA, A.F.; DILLON, R.J.; CAVALCANTE, R.R.; ALEXANDER, B.; BATES, P.A. 2008. Blood meal identification and parasite detection in laboratory-fed and field-captured *Lutzomyia longipalpis* by PCR using FTA databasing paper. *Acta Tropica*. 107(3):230-237. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2008.06.003>
44. SCHIJMAN, A.G.; BISIO, M.; ORELLANA, L.; SUED, M.; DUFFY, T.; JARAMILLO, A.M.M.; CURA, C.; AUTER, F.; VERON, V.; QVARNSTROM, Y. 2011. International study to evaluate PCR methods for detection of *Trypanosoma cruzi* DNA in blood samples from Chagas disease patients. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 5(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000931>
45. TAN, S.C.; YIAP, B.C. 2009. DNA, RNA, and protein extraction: the past and the present. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2013/628968>
46. TANG, S.; ZHANG, H.; LEE, H.K. 2016. Advances in sample extraction. *Analytical Chemistry*. 88(1):228-249. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b04040>
47. TANG, X.W.; LIAO, C.; LI, Y.; XIE, X.M.; HUANG, Y.L. 2006. Modified guanidine hydrochloride method for DNA extraction from cord blood used in HLA genotyping. *Zhongguo Shi Yan Xue Ye Xue Za Zhi*. 14(2):363-365.
48. WILLERSLEV, E.; HANSEN, A.J.; POINAR, H.N. 2004. Isolation of nucleic acids and cultures from fossil ice and permafrost. *Trends in Ecology & Evolution*. 19(3):141-147. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.11.010>
49. WILLIAMS, E.S.; BARKER, I.K. 2008. Infectious diseases of wild mammals. John Wiley & Sons (Iowa, United States). 560p. <https://doi.org/10.1002/9780470344880>



Concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta

Heavy metals concentration and physical-chemical water quality of the Ciénaga Grande de Santa Marta

Sonia Esperanza Aguirre¹; Nelson Virgilio Piraneque²; Jean Linero-Cueto³

¹Ing. Agrónoma, M.Sc., Ph.D. Universidad del Magdalena, Ingeniería Ambiental. Santa Marta - Magdalena, Colombia; e-mail: saguirre@unimagdalena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-6975-1940>

²Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad del Magdalena, Ingeniería Agronómica. Santa Marta - Magdalena, Colombia; e-mail: npiraneque@unimagdalena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-4264-9428>

³Lic. en Ciencias Físico - Matemáticas, M.Sc., Ph.D. Universidad del Magdalena, Ingeniería Ambiental. Santa Marta - Magdalena, Colombia; e-mail: jlineroc@unimagdalena.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2868-4884>

Cómo citar: Aguirre, S.E.; Piraneque, N.V.; Linero-Cueto, J. 2021. Concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1313. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1313>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: agosto 16 de 2020

Aceptado: diciembre 17 de 2020

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es un importante ecosistema para la biodiversidad del planeta. Las actividades antrópicas generan residuos e incrementan los niveles de contaminantes, afectando la calidad del agua, la salud de la población y del ambiente. Con el objetivo de determinar el contenido de metales pesados y calidad del agua de la CGSM, se analizaron muestras de agua, en nueve sitios para las variables temperatura, sólidos disueltos totales (STD), pH, conductividad eléctrica (CE), salinidad, NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Ni, Cd, Cr, Pb, Coliformes totales y termotolerantes. La concentración de Pb, Cd, Cr y Ni fue más baja que el valor de referencia para agua marina. La máxima concentración de Pb y Cd, se presentó en el sitio 6, con 17,76 y 0,48ppb, respectivamente. La salinidad correlacionó con Ni ($r = 0,98$), pH con contenidos de Ni y Cr ($r = 0,99$ y $0,43$, respectivamente), OD se asoció con concentración de Cd y Pb ($r = 0,72$

y $0,67$, respectivamente), STD se encuentra asociado con Ni y Cr ($r = 0,97$ y $0,56$, respectivamente), DBO con concentración de Cd ($r = 0,79$). La concentración de metales pesados encontrados constituye una alerta para el ecosistema, debido a la posible bio-disponibilidad ante algunas condiciones ambientales y, a la vez, son reflejo de afectación de variables de calidad del agua del estuario, con transporte de materia orgánica, sedimentos y aportes de nutrientes. Los valores elevados de CT y CF afectan la salud del ecosistema.

Palabras clave: Plomo; Cadmio; Sedimento; Estuarios; Contaminación. (CAB Thesaurus).

ABSTRACT

The Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) is an important ecosystem for the planet's biodiversity. Anthropogenic activities increase levels of pollutants and affect the water quality, the inhabitants'

health and the environment. In order to determine the CGSM heavy metal content and water quality, samples were collected from nine sites. Temperature, total dissolved solids, hydrogen potential (pH), electrical conductivity, salinity, NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , SO_4^{2-} , N-NO_3^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Ni, Cd, Cr, Pb, total coliforms and thermotolerant coliforms were determined. The Pb, Cd, Cr, and Ni concentrations, did not exceed the reference value for seawater. The maximum concentration of Pb and Cd were observed in point 6 with 17.76 ppb and 0.48 ppb, respectively. Salinity correlated with Ni (0.98), pH with Ni and Cr contents ($r = 0.99$ and 0.43 , respectively), OD was associated with Cd and Pb concentration ($r = 0.72$ and 0.67 , respectively), TDS is associated with Ni and Cr ($r = 0.97$ and 0.56 , respectively), BOD with Cd concentration ($r = 0.79$). The heavy metals concentrations found, undoubtedly constitute an alert for the ecosystem due to the possible bioaccumulation in some environmental conditions and, it is reflection of the impact on parameters of water quality in the estuary, with the transport of organic matter, sediments, and nutrients inputs. High CT and CF values, affect ecosystem health.

Keywords: Lead; Cadmium; Sediments; Estuary; Pollution.

INTRODUCCIÓN

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), por sus características hidrológicas, ecológicas y geomorfológicas, es uno de los ecosistemas estuarinos tropicales más grande y productivos del mundo (Yáñez-Arancibia *et al.* 2014), está protegida por la convención Ramsar y declarada reserva de Biósfera (Martínez *et al.* 2009). Es un ecosistema dinámico y complejo con fluctuaciones de mareas, que afectan el aporte de sedimentos, alteran la salinidad y las concentraciones de O_2 en el agua, condiciones que aumentan la sensibilidad por la intervención antrópica y cambio climático. A su vez, la protección de los ecosistemas acuáticos es esencial para la supervivencia de los mismos. Diversos estudios ponen de manifiesto la necesidad de intervención urgente sobre el complejo lagunar CGSM para consolidar apropiación social del territorio y un trabajo interinstitucional, que unifique esfuerzos para la conservación.

Por otra parte, se ha reportado que la construcción de la carretera Barranquilla-Santa Marta generó muerte de manglares, lo que modificó el ecosistema y alteró su régimen hidrológico, perturbando su funcionalidad. Aunado a esto, la CGSM ha sido sede de conflictos e intereses económicos territoriales de autonomía particular y formas para-estatales que, por violencia, eliminó lo público y fomentó bandas criminales con el monopolio de los recursos naturales (INDEPAZ, 2012). Sus pobladores, pueblos palafitos, subsisten de la pesca; durante el recorrido, se observó la ampliación de zonas ganaderas hacia el complejo lagunar afectando a sus pobladores y el flujo natural de ríos y caños, que son desviados para la agricultura (banano, palma y arroz) (Sarmiento, 2016); dichos cambios afectan el régimen hídrico y alteran la calidad del agua. Campos (1990) argumentó que la presencia de metales pesados en la CGSM afecta cadenas tróficas e indicó la necesidad de monitorear el fenómeno.

El cambio del uso del suelo y la deforestación alrededor de la CGSM, redujo filtros naturales, lo que incrementó la contaminación difusa, escorrentía y erosión generada por la agricultura aledaña al complejo y que es considerada una de las fuentes de nitrógeno inorgánico disuelto (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), ortofosfatos (PO_4^{3-}) y sólidos totales, que llegan por lixiviación al complejo lagunar. Asimismo, los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta y del río Magdalena transportan carga de contaminantes, entre los que se encuentran metales pesados (Campos, 1990). Como consecuencia, la CGSM presenta continuas intervenciones y notables variaciones de la cantidad de oxígeno, salinidad y calidad del agua, oscilaciones que se incrementan en determinadas épocas del año y aumentan el conflicto ambiental (Vivas-Aguas *et al.* 2013; Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2016; Pérez Ortega *et al.* 2018).

Regularmente, la presencia de metales en ecosistemas acuáticos se atribuye a geología, características fisicoquímicas del medio y actividades antrópicas. Metales, como Pb, Cd, Cr, Cu, Zn y Ni, se acumulan en el suelo, pero por diversos mecanismos, se reducen y pueden ser absorbidos por vegetales o transportados al agua, donde se adhieren a sedimentos a la materia orgánica o por fluctuaciones ambientales, como alteraciones de pH, potencial redox, salinidad, carbonatos, temperatura entre otros, que se pueden liberar y ser biodisponibles. La toxicidad del metal depende de la concentración, la movilidad y su reacción con otros factores, a tener en cuenta en el entorno (Caporale & Violante, 2016).

La concentración total de metales pesados contenidos en lodos es un posible indicador de contaminación, pero no todas las especies de los mismos, muestran impactos similares, ya que presentan variación en su movilidad o biodisponibilidad, por lo cual, es necesario considerar la fracción retenida en el sedimento y la fracción disuelta en el agua. La retención de metales por material particulado es un proceso significativo para regular la concentración y la distribución de los mismos en ambientes marinos y la formación de complejos órgano-metálicos, es un elemento que regula la biodisponibilidad y toxicidad en ecosistemas acuáticos (Fernández *et al.* 2009).

El proceso de sedimentación elimina metales del agua y reduce toxicidad, operando el sedimento del fondo como sumidero o trampa; la fracción mineral puede ser transportada en suspensión o con sedimentos, procesos liderados por la dinámica de la floculación y la sedimentación de las partículas (Marcovecchio *et al.* 2010). Se deduce que la concentración de metales disueltos es comparativamente menor, debido a las transformaciones biogeoquímicas, que regulan su distribución. Asimismo, la fracción disuelta del metal, se puede trasladar por flujo de agua y dispersión (Marcovecchio & Freije, 2013); sin embargo, los metales solubles en el agua, no siempre estarán biodisponibles, se pueden ligar a la materia orgánica y formar otros complejos, lo que dificulta su determinación.

La concentración de metales en el agua retenida en los espacios de las partículas sólidas de zonas intermareales estuarinas desnudas, aumenta hacia la alcalinidad y la actividad bacteriana (reducción de azufre), incrementando la formación de sulfuros metálicos.

La oxidación de estos compuestos promueve la disponibilidad del metal y las raíces de la planta los absorbe y cuando la planta muere, se mueve hacia las capas inferiores de los sedimentos (Caetano *et al.* 2007). Precisamente, Langston *et al.* (2010) afirmaron que, en algunos estuarios, la concentración de metales en partículas suspendidas no difiere en sedimentos superficiales que mantienen el ciclo del sistema.

La calidad del agua es un indicador clave de sistemas acuáticos, por lo que se planteó caracterizar la calidad del recurso por medio de la concentración de Ni, Cd, Cr, Pb (ppb), sólidos totales disueltos (STD), NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} $\mu\text{g L}^{-1}$, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , SO_4^{2-} , N-NO_3^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- (mg L^{-1}), potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), salinidad (‰) y temperatura (T) en 9 estaciones del sistema lagunar CGSM, dichas variables, se compararon con los valores establecidos en las normas (Presidencia de la república de Colombia, 2015: Decreto 1076 de 2015) y se analizó su posible afectación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización: El trabajo, se desarrolló al Norte de Colombia, complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) Santuario de flora y fauna y reserva de biosfera internacional ubicada a $10^{\circ}43'11''\text{N}$ y $74^{\circ}16'74''\text{W}$ (Figura 1), tiene un área de 45.000ha, con profundidad media de 150cm, clima semiárido tropical, con 6 meses secos durante el año y déficit hídrico anual de 1031mm, dado que la evapotranspiración (1431mm/año) excede, significativamente, la precipitación (400mm/año), con elevada fluctuación entre años y épocas (seca y de lluvia) (MINAMBIENTE, 2018).

Muestreo: En cada una de las 9 estaciones (Tabla 1), 7 adyacentes a la desembocadura de los ríos y afluentes que drenan sus aguas

a la CGSM (Figura 1), se recolectaron cuatro sub-muestras por triplicado, para un total de 81 muestras, en sentido contrario a la corriente en recipiente plástico de 500mL (APHA-AWWA-WEF, 2012), a profundidad de 30cm. Los sitios fueron georreferenciados (GPS) y las muestras refrigeradas para ser trasladadas al laboratorio del CIAT, para su análisis físico-químico y al laboratorio de aguas de la Universidad del Magdalena, para análisis microbiológico.

Las variables analizadas fueron: conductividad eléctrica - CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$), Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), alcalinidad, pH, dureza, salinidad (‰), coliformes totales CT y coliformes termotolerantes - CF (NMP/100mL), NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ($\mu\text{g L}^{-1}$), Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , SO_4^{2-} , N-NO_3^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- (mg L^{-1}), Ni, Cd, Cr, Pb (ppb). Los procedimientos analíticos utilizados, se observan en la tabla 2 y se realizaron con el método estándar para la evaluación de agua y del agua servida, propuesto por APHA-AWWA-WEF (2012). La determinación de oxígeno disuelto y coliformes totales y fecales, se realizó a partir del método de fermentación en tubos múltiples (SM 9221 B), 48 horas y 36°C ; se incubó para CT, a 44°C , para los CF.

Análisis de información: Con los registros obtenidos de las estaciones de muestreo, se construyó la matriz de datos. Para determinar diferencias entre las variables, los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$). Para determinar la asociación entre las variables, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson. Se empleó análisis de componentes principales (ACP), a fin de reducir la magnitud de la información. Los datos, se procesaron con el programa estadístico R versión 3.5.0 (R Development Core Team, 2018) e Infostat (2015), en su versión estudiantil.

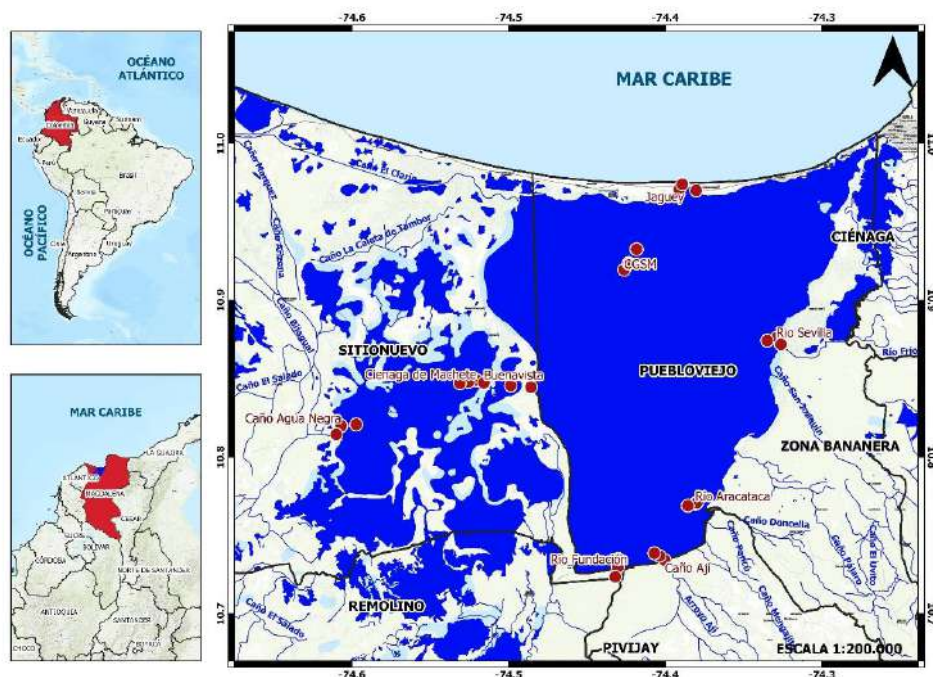


Figura 1. Localización de sitios de muestreo para determinar el contenido de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Tabla 1. Localización de las diferentes estaciones de muestreo empleadas, para determinar la concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

ESTACIÓN	SECTOR	CARACTERÍSTICAS	PUNTO	LATITUD (N)	LONGITUD (O)
E1	Río Sevilla	Influencia del río Vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta	1A	10° 52' 33,0"	74° 19' 44,6"
			1B	10° 52' 18,8"	74° 19' 34,1"
			1C	10° 52' 27,7"	74° 20' 05,5"
E2	Río Aracataca	Influencia del río Vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta	2A	10° 46' 12,7"	74° 22' 50,8"
			2B	10° 46' 15,5"	74° 22' 46,9"
			2C	10° 46' 08,3"	74° 23' 08,0"
E3	Caño Ají	Sistema lacustre del complejo lagunar	3A	10° 44' 02,6"	74° 24' 00,6"
			3B	10° 44' 13,0"	74° 24' 13,7"
			3C	10° 44' 19,2"	74° 24' 24,9"
E4	Río Fundación	Influencia del río Vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta	4A	10° 43' 47,9"	74° 25' 49,0"
			4B	10° 43' 25,0"	74° 25' 54,6"
			4C	10° 44' 05,7"	74° 25' 47,9"
E5	Ciénaga de Machete	Sistema lacustre del complejo lagunar	5A	10° 50' 56,8"	74° 31' 14,1"
			5B	10° 50' 53,3"	74° 31' 31,8"
			5C	10° 50' 49,9"	74° 31' 51,8"
E6	Caño Agua Negra	Sistema lacustre del complejo lagunar	6A	10° 49' 11,8"	74° 36' 24,4"
			6B	10° 48' 51,8"	74° 36' 36,0"
			6C	10° 49' 14,6"	74° 35' 50,1"
E7	Buenavista	Sistema lacustre del complejo lagunar	7A	10° 50' 51,0"	74° 30' 56,8"
			7B	10° 50' 44,4"	74° 29' 54,9"
			7C	10° 50' 40,7"	74° 29' 08,5"
E8	Ciénaga Grande de Santa Marta CGSM	Cuerpo de agua principal de la CGSM	8A	10° 55' 10,4"	74° 25' 34,3"
			8B	10° 55' 25,0"	74° 25' 24,0"
			8C	10° 55' 57,3"	74° 25' 05,8"
E9	Jagüey	Sistema lacustre del complejo lagunar	9A	10° 58' 15,1"	74° 23' 27,9"
			9B	10° 58' 26,7"	74° 23' 20,7"
			9C	10° 58' 12,3"	74° 22' 48,7"

Tabla 2. Procedimientos analíticos y equipos empleados para la caracterización del agua de la CGSM.

Parámetro	Técnica Analítica	Equipo	Margen de error
pH	Potenciometría	pH-metro digital Hanna HI2020	1%
Conductividad	Electrométrico	Conductímetro Hanna HI2030	1%
Nitratos	Electrodo de ion selectivo	Medidor de iones Ion Meter 692 con Electrodo Selectivo de Nitrato	5%
Sulfatos	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro ultravioleta-visible UV-VIS a 420nm	5%
Ca, Na, Mg, K, mg/L	Espectrofotometría de absorción atómica	Espectrofotómetro Unicam 969 Solar	5%
Pb, Cd, Ni, Cr, ppb	Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente -digestión en ácido (ICP)	ICP-OES Thermo Scientific™ iCAP™ 7200 DUO	5%
Dureza total mg/L CaCO ₃	Volumetría	Titulación con EDTA, SM 2340 –C	5%
Alcalinidad total mg/L CaCO ₃	Método Volumétrico	HCl, SM2320 –B	5%
Turbiedad	Turbidimetría	Turbidímetro digital HANNA hi 93703 - 0-1 FTU	5%
Color	Colorimetría	Espectrofotómetro	5%
DQO	Reflujo cerrado	Espectrofotométrico SM 5220 D	5%

Continuación Tabla 2

Parámetro	Técnica Analítica	Equipo	Margen de error
Coliformes totales (CT) y termotolerantes (CF) (NMP/100ml)	Fermentación en tubos múltiples	(SM 9221, APHA <i>et al.</i> 2005)	
Temperatura		Termométrico SM 2550B	5%

SM = Standard Methods

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de las variables estudiadas, se registran en la tabla 3. El pH exhibió características propias de agua de mar con valores aceptables para la flora y fauna de aguas cálidas marinas y estuarinas (Hernández-Ayón *et al.* 2003), el cual, varía entre 5 y 9; sin embargo, no mostró diferencias significativas. El oxígeno disuelto (OD), varió entre 2,78 y 9,7mg L⁻¹, siendo los valores máximos encontrados en

los sitios 7 y 5 (Buenavista y Ciénaga de Machete, respectivamente), lo que puede estar relacionado con intercambios con la atmósfera y a la respiración de organismos fotosintéticos, de los que se observó presencia en el agua. Los mayores valores de Coliformes Totales (CT), se encontraron en las estaciones 7 y 6, con valores de 47683 y 36716 NMP/100mL, respectivamente, mientras que los valores más bajos, se obtuvieron en la estación 1, con 11703 NMP/100mL.

Tabla 3. Características físicas, químicas y biológicas y contenido de metales pesados del agua de la CGSM.

Parámetro	Unidad	Río Sevilla	Río Aracataca	Caño Aji	Río Fundación	Caño Machete	Caño Aguas Negras	Buenavista	CGSM	Jaguey
pH	null	7,41 A	7,48 A	7,44 A	7,63 A	7,90 A	8,34 A	8,16 A	7,25 A	8,04 A
OD	mg/L	4,47 CD	2,78 D	3,26 D	4,55 CD	8,50 AB	6,01 BCD	9,70 A	7,36 ABC	7,21 ABC
DBO	mg O ₂ /L	15,57 C	12,57 C	9,47 E	22,93 A	11,33 D	19,10 BCD	22,81 A	14,68 D	11,37 D
Ce	μS/cm	25,39 A	28,27 A	36,50 A	20,52 A	24723,33 A	21038,93 A	31,08 A	39,93 A	44,66 A
Salinidad	%	9,90 BC	10,93 BC	14,00 ABC	8,20 C	9,77 BC	9,30 BC	11,13 BC	16,00 ABC	18,27 A
Alcalinidad	mg/L	22,96 A	13,50 A	15,80 A	15,74 A	17,38 A	10,66 A	12,67 A	11,00 A	13,12 A
Dureza	mg/L	1807,07	2114,24 BC	2755,96 ABC	1471,52 CD	1776,95 C	218,03 D	2442,26 ABC	3166,65 AB	3557,22 A
SO ₄	mg/L	318,65 A	668,04 A	588,58 A	605,36 A	466,54 A	97,05 A	466,00 A	734,71 A	1032,52 A
NO ₃	μg/L	6,24 D	8,47 C	10,41 B	9,11 C	10,51 B	13,92 A	14,69 A	8,31 C	6,24 D
NO ₂	μg/L	2,06 F	2,73 E	3,30 E	4,25 C	3,72 D	5,19 B	5,72 A	3,10 E	2,06 F
NH ₄	μg/L	4,28 D	6,52 CD	6,42 CD	7,31 C	8,09 BC	10,25 AB	11,40 A	5,74 CD	4,21 D
PO ₄	μg/L	24,34 B	26,27 AB	28,77 ABC	27,08 AB	29,65 A	27,68 AB	26,20 ABC	29,39 A	28,43 AB
Ca	mg/L	130,94 BC	154,37 ABC	193,12 ABC	104,76 CD	138,20 BC	28,66 D	173,17 ABC	212,64 AB	238,79 A
Mg	mg/L	359,39 C	419,77 BC	552,10 ABC	293,79 CD	347,67 C	35,56 D	488,02 ABC	639,98 AB	718,96 A
K	mg/L	140,35 BCD	159,32 BCD	211,48 ABC	111,88 D	125,46 CD	12,97 E	180,67 ABCD	232,57 AB	262,69 A
Na	mg/L	3855,00 A	4714,00 A	5168,00 A	2656,00 A	2671,00 A	786,00 A	3921,00 A	5879,00 A	6956,00 A
Ni	ppm	0,93 A	18,00 A	25,00 A	15,00 A	24,63 A	10,01 A	1,30 A	0,93 A	0,94 A
Cd	ppm	0,22 A	0,22 A	0,21 A	0,20 A	0,30 A	0,48 A	0,23 A	0,26 A	0,27 A
Cr	ppm	0,00 A	0,00 A	12,83 A	0,89 A	37,83 A	14,79 A	0,00 A	0,00 A	0,00 A
Pb	ppm	4,33 B	4,48 B	3,89 B	4,83 B	6,13 B	17,76 A	3,20 BC	3,52 B	2,74 B
TDS	mg/L	9613,33 BC	10490,00 BC	13433,33 BC	7983,33 C	9526,67 C	920,33 D	11593,33 ABC	15300,00 AB	17033,33 A
CFT	NMP/100ml	11703,33 E	13880,00 E	14580,00 E	12896,67 E	18413,33 D	36716,67 B	47683,33 A	24473,33 C	26640,00 C
CTT	NMP/100ml	10400,00 D	11323,33 D	12640,00 D	10366,67 D	14703,33 D	32363,33 B	43213,33 A	21000,00 C	23826,67 C
Temp	°C	29,03	29,70	29,20	30,47	31,20	31,50	30,80	29,70	29,40

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La CE no presentó diferencias entre sitios, se puede deducir que existe arrastre de elementos disueltos, ya que cambia con la cercanía de las desembocaduras de ríos y caños; esta variable se relaciona con la concentración de SDT y el porcentaje de salinidad, por lo tanto, la aportación de agua dulce participa en el estuario, generando gradientes salinos y estratificación, con transporte de sedimentos, materia orgánica y nutrientes (Marcovecchio & Freije, 2013), que modifican las características del sistema. El porcentaje de salinidad más alto, se encontró en la estación Jagüey, con 18%, seguido del 8, con 16%. De igual manera, estas estaciones presentaron la mayor dureza, con 3557 y 3166mg L⁻¹, respectivamente, lo que coincide con la concentración de Na (6956mg L⁻¹), en la estación Jagüey y 5879mg L⁻¹, para la estación CGSM. Estos valores indican que en el estuario predominan condiciones similares a las marinas.

El análisis de correlación expuso relación directa entre contenidos de metales y las demás variables. Ni mostró relaciones significativas con pH, salinidad, CE, TDS, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺ y dureza ($r = 0,99, 0,98, 0,88, 0,97, 0,98, 0,99, 0,74, 0,87, 0,91, 0,85, 0,88, 0,91$, respectivamente). Por su parte, Cd correlacionó positiva y significativamente con OD, DBO, Ni y Pb ($r = 0,72, 0,79, 0,97$ y $0,79$, respectivamente). Cr correlacionó con CF, NO₂⁻, HCO₃⁻ y ALC ($r = 0,72, 0,72, 0,88$ y $0,83$, respectivamente) y plomo relacionó significativamente con OD y Cd ($r = 0,67$ y $0,63$, respectivamente).

El ACP estableció cuatro componentes que dan cuenta del 82% de la variabilidad. Con relación al CP1 (SALES), que explica el 42% de la varianza, se puede destacar que las variables salinidad, CE, TDS, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, SO₄²⁻ y dureza están relacionados con elevados contenidos de sales. El CP2 (BIOLÓGICO) está explicado en 19% por las variables OD, pH, CT y CF, estrechamente relacionadas al componente microbiológico; el CP3 (METALES PESADOS), que acumula el 10% de la varianza, está definido por los contenidos de Pb, Ni, Cr y Cd y, finalmente, el CP4 (NITRÓGENO Y CARBONO), con el 8% de la varianza, está determinado por los contenidos de NH₄⁺ y NO₃⁻ (Figura 2).

Los resultados del estudio evidencian que las variables evaluadas se encuentran en valores normales para agua de condiciones marinas; sin embargo, se debe considerar que el área de análisis es un estuario del plano deltaico del río Magdalena, donde se mezcla agua dulce y salada, que forma el complejo lagunar. El pH no reportó diferencias, osciló entre 7,25 y 8,34, máximo valor presente en el sitio 6, que corresponde al caño Aguas Negras (Tabla 3). Este parámetro afecta la mayoría de los procesos hídricos y, los valores tendientes a la alcalinidad, afectan la vida y favorece la adsorción y precipitación de metales, al unirse con OH⁺ y HCO₃⁻, que interactúan entre el agua y sedimentos, siendo susceptibles a ser liberados y transportados fácilmente. Así, un incremento o cambio inesperado en pH, puede interferir la biodisponibilidad de contaminantes (Cuizano *et al.* 2010), situación que, en esta investigación, se evidencia con la asociación positiva presente, entre esta variable y el contenido de Ni y Cr.

La concentración de oxígeno disuelto OD es indispensable para la calidad de la vida acuática en lagos y lagunas, condiciona procesos de fermentación, lo que disminuye la calidad del sistema. La variable

registró diferencias significativas, siendo las estaciones Buenavista y Jagüey, las que evidenciaron valores superiores a 4mg L⁻¹ O₂. Menor concentración de OD en agua genera mayor presión, donde valores menores de 2mg L⁻¹ ocasionan la muerte de peces, por hipoxia o anoxia, evento que se reporta en épocas secas en la CGSM (IN- VEMAR, 2016a; b). El OD que requieren los organismos, depende de la especie, tamaño y la temperatura del ambiente acuático, entre otros. Si la temperatura del agua aumenta, el oxígeno disminuye. Otro factor que incide es la respiración microbiana por efecto de la degradación de compuestos orgánicos (Pradana *et al.* 2019).

La fertilización excesiva de los cultivos aledaños a la CGSM (banano y palma de aceite) incrementa la escorrentía de nitratos y fosfatos, lo cual, agudiza el proceso de eutrofización, fenómeno que reduce la concentración de oxígeno. De igual manera, las aguas provenientes de asentamientos humanos incrementan la concentración de bacterias consumidoras de oxígeno y la carga de microorganismos del sistema, situación que se ratifica en relación positiva con CF, donde las máximas concentraciones se mostraron en las estaciones 7 y 6, con valores de 43000 y 32000NMP/100mL, respectivamente. Son evidentes los valores elevados de CT y CF, al ser comparadas con los valores aceptables de agua admisible para fines recreativos; el contacto primario o secundario puede ocasionar problemas de salubridad, Decreto 1076 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015). Estos resultados evidencian la baja calidad sanitaria en este complejo lagunar.

Las variables CE, salinidad, concentración de Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², SO₄²⁻, PO₄³⁻ y dureza están asociadas (Figura 2) y ponen de manifiesto dependencia y proporcionalidad positiva entre ellas. La variable de salinidad presentó alta correlación con concentraciones de bases y TDS, donde la concentración de elementos, como K⁺, Ca²⁺, Mg⁺² y SO₄²⁻, contribuye al aumento de salinidad y, a su vez, sus concentraciones, expusieron diferencias significativas respecto al sitio de muestreo, reflejando la dinámica físico-química del agua de la CGSM, influenciada por la descarga de agua de los ríos Aracataca, Sevilla, Fundación y Magdalena, además del intercambio con el mar adyacente, lo que propicia diferentes gradientes de salinidad del estuario (Tabla 3), fenómeno que argumentó Spetter *et al.* (2013) y es propio de ecosistemas estuarinos.

El menor porcentaje de salinidad y de concentración de Na⁺, lo reportó la estación 4, con 8,2% y 1.656mg L⁻¹ de Na⁺ y la 6, con 9,3% y 786mg L⁻¹ de Na⁺ (Tabla 3). Las estaciones de muestreo CGSM y Jagüey mostraron valores altos de salinidad (16-18%), que equivalen a 160-180 partes por mil, que corresponden a hipersalinidad, posiblemente, por la cercanía al mar; en esta condición, hay menores tasas de crecimiento vegetal y de diversidad del ecosistema. La elevada concentración de sales disueltas afecta la biota y el equilibrio de la CGSM; no obstante, la salinidad se asocia con variables, como temperatura y precipitación, por lo que oscila constantemente (Kirwan *et al.* 2009).

En la figura 2, se muestra la dispersión, la distribución y la asociación de las variables y su tendencia. Se observa asociación entre porcentaje de salinidad, fósforo, sulfatos, CE y contenido de Na⁺,

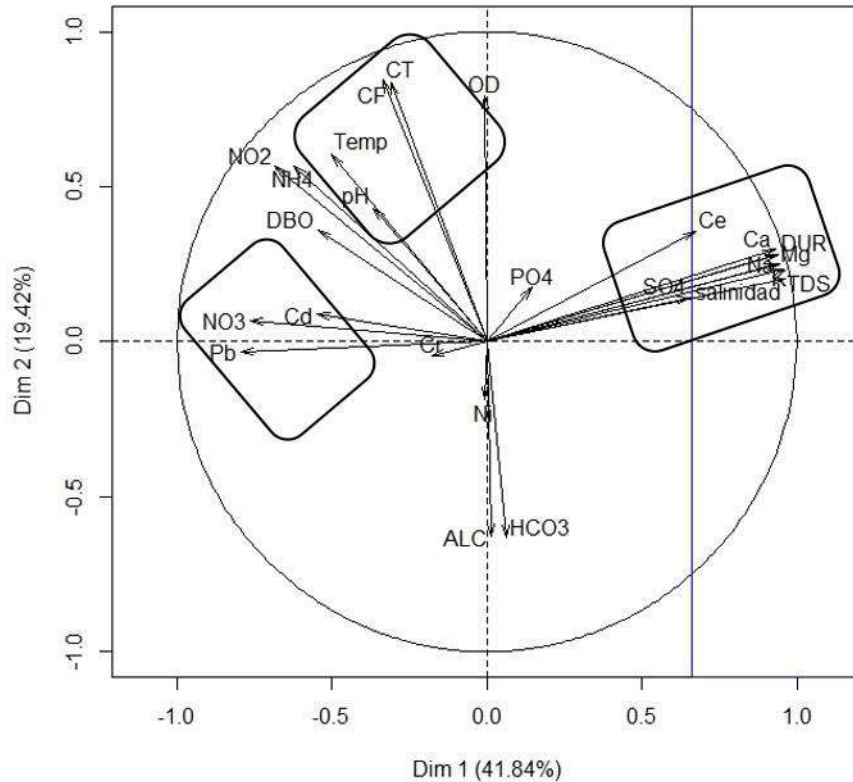


Figura 2. Análisis de componentes principales de las variables medidas, para establecer el contenido de metales pesados y la calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Ca^{+2} y Mg^{+2} . Asimismo, se estableció la relación fuerte entre nitratos, coliformes, DBO, pH, concentración de Pb y Cd. Igualmente, se observó la afinidad de las variables, alcalinidad (bicarbonatos) y concentración de Cr y Ni, lo que puede ser interpretado que, en el momento dichas variables, no representan una contribución importante en la valoración del sistema. La alcalinidad es una medida de la resistencia del agua a reducir pH cuando se le añade ácido; los resultados no evidenciaron diferencia significativa respecto al sitio de muestreo y presentaron correlación positiva con las concentraciones de HCO_3^- ($r = 0,97$) y Cr ($r = 0,83$).

Entre los mayores aportantes de nutrientes en las costas, se encuentra la descarga de afluentes, como los ríos (Spetter *et al.* 2013). Los nutrientes inorgánicos disueltos (NH_4^+ , NO_3^-), se encontraron en baja concentración (Tabla 3), lo cual, se atribuye, posiblemente, al consumo por parte del fitoplancton (Jaramillo-Londoño & Aguirre-Ramírez, 2012). Las estaciones CGSM y Jagüey fueron las de mayor concentración de ortofosfatos (Tabla 3), un indicador de la descarga de aguas residuales en la ciénaga. Por otro lado, se observaron diferencias significativas por el intercambio constante de amonio y de fósforo, entre el interior del continente (río arriba) y la concentración del agua y el sedimento (Vivas-Aguas *et al.* 2013); el incremento de N y P induce la eutrofización y acelera el crecimiento de algas que agotan oxígeno y por descomposición, cuando mueren, incrementa el problema de eutrofización.

La concentración de Pb, Cd, Cr y Ni no superó el valor de referencia para agua marina, Decreto, 1076 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015), pero por su toxicidad y biodisponibilidad deben ser monitoreadas y su presencia constituye una alerta para el ecosistema (Beltrame *et al.* 2009; Reyes *et al.* 2016). El sitio 6, que corresponde al caño de Aguas Negras, reportó mayor concentración de metales pesados, lo que coincide con el histórico del INVEMAR, que aluden esta situación a la cercanía al río Magdalena, pero de igual forma, no son valores que expresen, por el momento, riesgo ambiental, pero que es conveniente monitorear.

Los máximos niveles de Cd, se reportaron en la estación Caño de aguas negras, con 0,48 ppb, (Tabla 3), indicando que, aunque la concentración es baja, existe la posibilidad de presentar efectos adversos en organismos más sensibles, al estar disueltos en el agua; no obstante, al compararse con niveles de referencia internacionales (Tabla 4), no excede los límites permisibles. Cuando el Cd se oxida al unirse con sulfatos o Zn existe la posibilidad de generar Cd^{+2} , que es la forma más peligrosa, que aumenta conforme se disminuye el oxígeno disuelto; sin embargo, las características de salinidad del sistema pueden incrementar la tolerancia a la concentración del metal. La estación Caño de aguas negras presentó la alta concentración de plomo (Pb), con 17,76ppb, con diferencias significativas respecto a los demás puntos de muestreo.

Tabla 4. Concentración de metales pesados en sedimentos de la CGSM.

Metal	E1	E2	E3	E4	E6	Marco de referencia legislación. (ppb)				Campos
	ppb					EPA	CANADA	HOLANDA	CONAMA	1990
Cr	4,98	4,89	5,04	3,95	8,3	2	26	100	500	----
Ni	6,2	7,31	16,3	4,23	15,3	-	16	35	25	-----
Cd	0,02	1,04	0,5	1,07	<LD	2	-		10	2,04
Pb	>LD	6,12	9,04	0,98	1,94	50	36	16	-	1,69

P1, P2, P3, P4, P6: sitios de muestreo 1, 2, 3, 4, 6. Los demás sitios con datos por debajo del límite de detección (<LD).

Los sedimentos y la materia orgánica pueden retener metales por diferentes mecanismos, lo que disminuye la concentración en la columna de agua, pero los vínculos son débiles, un cambio de pH, temperatura o intercambio catiónico o aniónico, presencia de carbonatos, entre otros puede liberarlos. Así, con esta inestabilidad, el riesgo que aumenten su concentración y biodisponibilidad en la CGSM es amplio, debido a las diversas fluctuaciones del ecosistema. De otra forma, Cd y Pb son absorbidos por las raíces de las plantas y transportados hacia sus tejidos por algunas especies bioacumuladoras que, cuando mueren, facilitan su sedimentación, pero, por el contrario, si son consumidas, el metal ingresa en la cadena trófica (Beltrame *et al.* 2009).

Siendo Cd y Pb, metales calcófilos, tienen baja afinidad por O₂ y se encuentran, principalmente, en forma de sulfuros insolubles. Por otra parte, un cambio en el porcentaje de salinidad o en oxígeno lo libera de los sedimentos hacia el agua (Koretsky *et al.* 2006). El Cd, se adhiere a la superficie de las partículas y así, fácilmente, es intercambiado y forma complejos con Cl, donde puede quedar libre cuando la salinidad es alta. Al respecto, Lanjwani *et al.* (2020) encontraron correlación directa entre sales solubles (sodio, amonio, cloruros, nitratos y sulfatos), conductividad eléctrica y metales en sistemas estuarinos. Cuando el agua se evapora, las sales precipitan en forma de cristales y las costras protegen los residuos de la oxidación, evitando dejar libre los metales. Lo anterior es ratificado en la figura 2, donde se muestra la tendencia de los elementos mencionados.

Además, Abouhend & El-Moselhy (2015), concluyeron que la CE y el potencial redox tienen un efecto significativo, tanto en la adsorción como en la acumulación de metales en sedimentos; a un pH alto es más alta la concentración de Cd en los sedimentos, debido a la precipitación de Cd disuelto y la presencia Pb, que fue más alta en los sedimentos, pero no disponible para los organismos acuáticos. Las fluctuaciones del sistema pueden inducir su liberación.

Con relación a las concentraciones de Cr y Ni, se observaron variaciones entre estaciones de muestreo, obteniéndose la máxima concentración en la estación Ciénaga de Machete, situación que coincide con INVEMAR (2016a), que indicó que Ni presentó valores inferiores al límite de detección de la técnica analítica (<5µg L⁻¹), en la época lluviosa de 2013 y seca de 2014, siendo la concentración más alta hacia la cercanía del río Magdalena (4,15µg L⁻¹).

A partir del análisis, se evidenció concentración baja de oxígeno, aumento de sólidos, nutrientes disueltos y salinidad, variables que deterioran la calidad del agua de la CGSM. La contaminación por CT y CF hacen que no sea apta para contacto primario y podría afectar la supervivencia de la flora y fauna. La concentración de metales pesados fue baja, de acuerdo con los valores de referencia del Decreto 1076 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015), pero su presencia en la columna de agua puede ser riesgoso para las poblaciones y el ambiente, puesto que las condiciones de fluctuación del complejo lagunar es alta y las concentraciones cambian, por lo cual, se sugiere realizar estudios más específicos en un periodo de tiempo mayor. Ante esta situación y el análisis ambiental es necesario realizar un monitoreo continuo y un plan de manejo del ecosistema.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ABOUHEND, A.S.; EL-MOSELHY, K.M. 2015. Spatial and seasonal variations of heavy metals in water and sediments at the northern Red Sea coast. *American Journal of Water Resources*. 3(3):73-85. <https://doi.org/10.12691/ajwr-3-3-2>
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, AWWA; WATER ENVIRONMENT. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. Ed. APHA-AWWA-WEF (Washington DC). 1496p.
3. BELTRAME, M.O.; DE MARCO, S.G.; MARCOVECCHIO, J.E. 2009. Dissolved and particulate heavy metals distribution in coastal lagoons. A case study from Mar Chiquita Lagoon, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 85(1):45-56. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.04.027>

4. CAETANO, M.; FONSECA, N.; VALE, R. 2007. Mobility of Pb in salt marshes recorded by total content and stable isotopic signature. *Science of the Total Environment*. 380(1-3):84-92.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.11.026>
5. CAMPOS, C. 1990. La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Caldasia*. 16(77):231-244.
6. CAPORALE, A.G.; VIOLANTE, A. 2016. Chemical processes affecting the mobility of heavy metals and metalloids in soil environments. *Current Pollution Reports*. 2(1):15-27.
<https://doi.org/10.1007/s40726-015-0024-y>
7. CUIZANO, N.A.; REYES, U.F.; DOMÍNGUEZ, S.; LLANOS, B.P.; NAVARRO, A.E. 2010. Relevancia del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 76(2):123-130.
8. FERNÁNDEZ, M.D.; BOTTÉ, S.; HOFFMEYER, M.; MARCOVECCHIO, J. 2009. Spatial and temporal distribution of cadmium and copper in water and zooplankton in the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 85:57-66.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.03.019>
9. HERNÁNDEZ-AYÓN, M.; ZIRINO, A.; MARINONE, S.G.; CANINO-HERRERA, R.; GALINDO-BECT, M.S. 2003. Relación pH-densidad en el agua de mar. *Ciencias Marinas*. 29(4):497-508.
10. INFOSTAT. 2015. Disponible desde Internet en:
<https://infostat.uptodown.com/windows/descargar>
11. INSTITUTO DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO Y LA PAZ, INDEPAZ. 2012. VIII Informe Sobre Grupos Narco paramilitares. Bogotá. Disponible desde internet en: <http://www.indepaz.org.co/wp-content/uploads/2013/08/Informe-VIII-Indepaz-final.pdf>. (con acceso el 20/03/2019).
12. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS, INVE-MAR. 2016a. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2015, Volumen 14. Santa Marta. 181p.
13. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS, INVE-MAR. 2016b. Concepto técnico sobre la mortandad de peces en la Ciénaga Grande de Santa Marta (sector Boca De La Barra), Magdalena, ocurrida en septiembre de 2016. CPT-CAM-033-16. 11p.
14. JARAMILLO-LONDOÑO, J.C.; AGUIRRE-RAMÍREZ, N.J. 2012. Cambios espacio-temporales del plancton en la ciénaga de Aayapel (Córdoba-Colombia), durante la época de menor nivel del agua. *Caldasia*. 34(1):213-226.
15. KIRWAN, M.L.; GUNTENSPERGEN, G.R.; MORRIS, J.T. 2009. Latitudinal trends in *Spartina alterniflora* productivity and the response of coastal marshes to global change. *Global Change Biology*. 15:1982-1989.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01834.x>
16. KORETSKY, C.M.; HAAS, J.R.; MILLER, D.; NDENGA, N.T. 2006. Seasonal variations in pore water and sediment geochemistry of littoral lake sediments (Asylum Lake, MI, USA). *Geochemical Transactions*. 7(1):1-26.
<https://doi.org/10.1186/1467-4866-7-11>
17. LANGSTON, W.J.; POPE, N.D.; JONAS, P.; NIKITIC, C.; FIELD, M.; DOWELL, B.; SHILLABEER, N.; SWARBRICK, R.; BROWN, A.R. 2010. Contaminants in fine sediments and their consequences for biota of the Severn Estuary. *Marine pollution bulletin*. 61:68-82.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.12.014>
18. LANJWANI, M.F.; KHUHAWAR, M.Y.; JAHANGIR KHUHAWAR, T.M.; LANJWANI, A.H.; JAGIRANI, M.S.; KORI, A.H.; RIND, I.K.; HUSSAIN, A.; MUHAMMAD, J. 2020. Risk assessment of heavy metals and salts for human and irrigation consumption of groundwater in Qambar city: a case study. *Geology, Ecology, and Landscapes*. 4(1):23-39.
<https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1571670>
19. MARCOVECCHIO J.; BOTTE, S.; FERNANDEZ, M.; DELUCCHI, F. 2010. Geochemical Control of Heavy Metal Concentrations and Distribution within Bahía Blanca Est. (Argentina). *Aquatic Geochemistry*. 16(2):251-266.
<https://doi.org/10.1007/s10498-009-9076-1>
20. MARCOVECCHIO, J.; FREIJE, R. 2013. Procesos químicos en Estuarios. Universidad Tecnológica Nacional, México. 394p.
21. MARTÍNEZ, A.S.; HINOJOSA, S.; ROZO, O.S. 2009. Proceso y avance hacia la sostenibilidad ambiental: la reserva de biosfera Seafower, en el caribe colombiano. *Cuadernos del Caribe*. 7(13):7-23.
22. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINAMBIENTE. 2018. Resolución 0618. República de Colombia. Disponible desde Internet en: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/ed-res%20618%20de%202018.pdf> (con acceso el 07/04/2019).

23. PÉREZ ORTEGA, D.J.; SEGOVIA ORTEGA, J.A.; CABRERA MONCAYO, P.C.; DELGADO VARGAS, I.A.; MARTINS POMPÊO, M.L. 2018. Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Rev. Investigación Agraria y Ambiental*. 9(1):41-57.
<https://doi.org/10.22490/21456453.2089>
24. PRADANA, J.A.; GALLEGO, A.; GARCÍA, J.; BRAVO, J.; GARCÍA, M.; PANIAGUA, G. 2019. Criterios de calidad y gestión del agua potable. Ed. UNED (Madrid - España). 467p.
25. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. 2015. Decreto 1076 de 2015. Disponible desde Internet en: <https://www.habitatbogota.gov.co/decreto-1076-2015> (con acceso 05/08/2020).
26. R CORE TEAM. 2018. *A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
<https://www.R-project.org>
27. REYES, Y.C.; VERGARA, I.; TORRES, O.E.; DIAZ, M.; GONZALEZ E.E. 2016. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. 16(2):66-77.
28. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, J.A.; PINEDA, J.; TRUJILLO, L.; RUEDA, M.; IBARRA-GUTIÉRREZ, K. 2016. Ciénaga Grande de Santa Marta: The Largest Lagoon-Delta Ecosystem in the Colombian Caribbean. In: Milton, G.R., Prentice, R.C.; Finlayson, C.M. (eds.). *The Wetland Book: II: Distribution, Description and Conservation*. p.1-16. Springer, Dordrecht Switzerland.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_126-1
29. SARMIENTO, J.P. 2016. Justicia transicional sin transición. El caso de la masacre de Nueva Venecia. *Co-herencia*. 13(24):181-211.
<http://dx.doi.org/10.17230/co-herencia.13.24.7>
30. SPETTER, C.V.; POPOVICH, C.; ARIAS, A.; ASTEASUAIN, R.; FREIJE, R.; MARCOVECCHIO, J.E. 2013. Role of nutrients in phytoplankton development during a winter diatom bloom in a eutrophic South American estuary (Bahía Blanca, Argentina). *J. Coastal Research*. 31(1):76-87.
<https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00251.1>
31. VIVAS-AGUAS, L.J.; ESPINOZA, L.F.; PARRA-HENRÍQUEZ, L.G. 2013. Identificación de fuentes terrestres de contaminación y cálculo de las cargas de contaminantes en el área de influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*. 42(1):7-30.
<https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2013.42.1.57>
32. YÁÑEZ-ARANCIBIA, A.; DAY, J.W.; TWILLEY, R.R.; DAY, R.H. 2014. Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y Bosques*. 20:39-75.




Los componentes ambientales de la cuenca Torca: un insumo para el análisis de los escenarios de variabilidad climática en la ciudad de Bogotá, Colombia


The environmental components of the torca basin: an input for the analysis of climate variability scenarios in Bogotá city, Colombia

Grace Andrea Montoya-Rojas¹; Michael Esteban Rivera-Marroquín²

¹Agróloga, M.Sc., Ph.D. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá, Colombia; e-mail: grmontoya@udca.edu.co;

 <https://orcid.org/0000-0001-9284-1111>

²Ing. Geógrafo y Ambiental. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá, Colombia; e-mail: amicrivera@udca.edu.co;

 <https://orcid.org/0000-0002-3189-9894>

Cómo citar: Montoya-Rojas, G.A.; Rivera-Marroquín, M.E. 2021. Los componentes ambientales de la cuenca Torca: un insumo para el análisis de los escenarios de variabilidad climática en la ciudad de Bogotá, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1833. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1833>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido mayo 22 de 2019 **Aceptado:** enero 28 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Esta revisión presenta una metodología de análisis espacial de las principales interrelaciones entre los componentes ambientales: atmosférico, geosférico, hidrosférico, biosférico y antroposférico y la variabilidad climática de temperatura y precipitación, que se proyectan hasta el 2100, en la cuenca Torca, en Bogotá, D.C., Colombia. Los humedales de la cuenca son de importancia local, nacional e internacional, por los servicios ecosistémicos de soporte de flora y fauna. Para ello, mediante los sistemas de información geográfica (SIG), se establecieron apreciaciones prospectivas con resultados ya establecidos, desde 2011 al 2040, desde 2041 hasta 2070 y desde 2071 al 2100. Se identificaron, relaciones de interconectividad entre los sistemas naturales y humanos, para entender las capacidades de adaptación a las variaciones de temperatura y de precipitación,

que se proyectan en la Cuenca. Uno de los resultados más relevantes está asociado a que los análisis prospectivos multitemporales, a escalas regionales, necesitan más detalle, para generar planes de acción concretos en los ecosistemas estratégicos, como lo son los humedales de la Cuenca. Adicionalmente, la Estructura Ecológica Principal, de la cual, hace parte la cuenca Torca, que aun cumple sus funciones de regulación, pero se encuentra en peligro de degradación, debido al acelerado crecimiento de Bogotá y el fenómeno de conurbación con los municipios aledaños, como Chía, Sopó y Cajicá, lo que disminuiría sus capacidades de adaptabilidad a la variabilidad climática proyectada.

Palabras clave: Análisis multitemporal; Estructura ecológica principal; Geografía del suelo; Paisaje; Relación cuenca-ciudad.

ABSTRACT

This review presents a methodology for the spatial analysis of the main interrelationships between the environmental components: atmospheric, geospheric, hydrospheric, biospheric and anthropospheric, and the climatic variability of temperature and precipitation that are projected until the year 2100, in the Torca basin in the city from Bogota, Colombia. The wetlands of the basin are of local, national and international importance, due to the ecosystem services that support flora and fauna. Then, through geographic information systems (GIS), prospective appraisals were established with results already established from 2011 to 2040, from 2041 to 2070 and from 2071 to 2100. Interconnectivity relationships between natural and human systems were identified, to understand the capacities to adapt to variations in temperature and precipitation that are projected in the Basin. One of the most relevant results is associated with the fact that multitemporal prospective analyzes at regional scales need more detail to generate concrete plans of action in strategic ecosystems, such as the wetlands of the Basin. Additionally, the Main Ecological Structure, of which the Torca basin is part, which still fulfills its regulatory functions, but is in danger of degradation due to the rapid growth of the city of Bogotá and the phenomenon of conurbation with neighboring municipalities such as Chía, Sopó and Cajicá, which would decrease their adaptability capacities to the projected climate variability.

Keywords: Multitemporal analysis; Main ecological structure; Soil geography; Landscape; Basin-city relationship.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento demográfico de Bogotá, el aumento de la infraestructura y la malla urbana, la rápida propagación del sector industrial y, por consiguiente, el aumento en las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), inciden en la variabilidad climática asociada, principalmente, a los cambios en las temperaturas y precipitaciones, a nivel local y regional. Las condiciones climáticas cambiantes y extremas que se han venido manifestando desde mediados del siglo XX (IPCC, 2013), modifican el funcionamiento sistémico de los paisajes y el cambio en los servicios de los ecosistemas, en el ámbito mundial (MEA, 2015); por ejemplo, en Bogotá y sus municipios cercanos, se han visto afectados sus elementos estructurantes, entre ellos, la Estructura Ecológica Principal (EEP) y sus servicios ecosistémicos, el estado del paisaje y la salud humana (OMS, 2003). También, se han agravado aspectos socioeconómicos, el desarrollo territorial (López-Feldman, 2014; Montoya-Rojas *et al.* 2016) y los sectores productivos.

En la Cuenca Torca, se encuentran humedales que, por su importancia ecológica, no pasan desapercibidos en el ámbito internacional (Moya *et al.* 2005); tales ecosistemas de agua dulce, se encuentran en peligro, como consecuencia de la actividad humana (Strayer & Dudgeon, 2010). Un calentamiento del aire de 3-4°C eliminaría el 85% de todos los humedales restantes (Tockner *et al.* 2008), por lo tanto, el mantenimiento de su integridad es fundamental para la regulación hídrica. En la Cuenca hay un espacio humanizado,

donde lo biofísico se combina con elementos sociales y culturales para conformar el paisaje (Guhl, 2008), con un crecimiento urbano desordenado y una serie de conflictos ambientales, agravados por fenómenos hidrometeorológicos, como inundaciones, sequías, granizo, heladas, principalmente e hidrometeoromorfológicos, con riesgos de carácter geológico, edafológico y geomorfológico, como deslizamientos, volcamientos, caídas, reptación y flujos (Magrin, 2015).

El sistema climático es un conjunto interactivo y complejo constituido por la atmósfera, hidrosfera, criósfera, litosfera, biosfera (OMM, 2011) y la antropósfera (Ballesteros & León, 2007), por lo que, para esta investigación, fue necesario enmarcarse en el contexto de variabilidad climática, principalmente, en los elementos de temperatura y de precipitación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está dentro de Bogotá, Distrito Capital de Colombia, con una extensión cercana a los 1.636km², de los cuales, 413km² son área urbana (SDP, 2009), convirtiéndola en la ciudad más extensa del país, a 2.640m s.n.m. de altura. Posee elementos de importancia ambiental, como parques distritales metropolitanos y zonales, corredores ecológicos, ecosistemas hídricos o acuáticos continentales (humedales), zonas con remanentes de bosque nativo, reservas forestales y una red de corrientes de agua compuesta de canales y quebradas, que pertenecen a una EEP de Bogotá, la cual, corresponde al sistema con valores ambientales en el espacio construido y no construido que, interconectadas, sustentan las funciones ecológicas, sus servicios ambientales y ecosistémicos de los habitantes de la ciudad, conectando el valle aluvial del río Bogotá y los Cerros Orientales.

Los componentes ambientales y el análisis sistémico de la Cuenca. Se realizó en cinco componentes, que transforman la dinámica paisajística, que devela elementos naturales y modificaciones antrópicas (Velázquez & Levi, 2015; Montoya Rojas, 2007), en un entorno local y regional (Montoya-Rojas, 2018). Estos componentes mantienen una interacción e interconectividad funcional, por lo tanto, si un factor dentro de un componente se ve alterado por condiciones antrópicas o naturales, se ven modificadas las funciones de conectividad en el sistema estudiado. Tales factores fueron: a) del componente atmosférico: climatología y meteorología; b) del componente hidrosférico: hidrografía, hidrología e hidrogeología; c) del componente geosférico: geología, geomorfología y edafología; d) del componente biosférico: coberturas de la tierra y servicios ecosistémicos y, e) del componente antroposférico: el antroposistema, como aquellas áreas transformadas por el ser humano con infraestructura para satisfacer sus necesidades básicas y el agroecosistema, que presta beneficios ecosistémicos y servicios ambientales (Montoya-Rojas, 2018). Se consultaron insumos técnicos en bases de datos con diferentes formatos (pdf's, shapefiles), aplicando los sistemas de información geográfica, con el programa ArcGIS y geoprocamiento, con diferentes escalas de 1:25.000 a 1:250.000, escogidas con base en la disponibilidad de la información, entre el 2000 y 2018, de entidades e instituciones oficiales, como

el Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC-, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca –CAR-, el Servicio Geológico Colombiano –SGC-, el Instituto Alexander von Humboldt –IavH- y la Infraestructura Integrada de Datos Espaciales para el Distrito Capital –IDECA-. Luego, en ArcGIS, se generaron mapas de los componentes mencionados, para el análisis espacial prospectivo de los escenarios de variabilidad climática.

Análisis de los componentes ambientales con los datos climáticos de la Cuenca. Los aspectos climáticos, se analizaron con base en la clasificación climática Caldas Lang, aplicable al trópico americano. Se acotaron los siguientes lineamientos conceptuales (Pabón *et al.* 2001), aplicados como métodos para caracterizar los datos de precipitación y temperatura: a) norma climática: valores de series continuas de observaciones de variables climáticas en un periodo mayor o igual a 30 años; b) anomalía climática: desviación estadística del clima, obtenida de la comparación de la medida de una variable para un periodo específico con respecto a la medida histórica, promedio o norma para ese mismo periodo y c) la fluctuación climática: cambios en la distribución estadística usual utilizada para describir el estado del clima.

Para el clima del suelo, se tuvo en cuenta: a) el régimen de humedad del suelo, asociado con la presencia anual y profundidad del nivel freático, clasificado en: Ácuico, Árido y Tórrido, Údico, Ústico y Xérico (USDA, 2014; Montoya-Rojas, 2011a; b) el régimen de temperatura del suelo, que se da por las variaciones de la temperatura por cambios de altura sobre el nivel del mar, clasificado en: Isofrío, Isomésico, Isotérmico e Isohipertérmico (USDA, 2014). Estos regímenes controlan los procesos de formación y de evolución, actividad biológica, características químicas y físicas y distribución de los ecosistemas (Villaseca, 1990); además, la temperatura del suelo es un aislante del flujo de calor entre la tierra sólida y la atmósfera (Globe, 2005).

Se analizaron instancias internacionales relacionadas con el clima y con el ambiente, como conferencias, convenciones, decretos o informes técnicos, que van desde la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, en 1979, hasta la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París, COP 21, ambos en el 2015. Para los informes climáticos proyectados en el territorio nacional, el IDEAM recogió los datos obtenidos en la ventana 1976 – 2005, ventana de referencia por presentar robustez estadística, para generar los escenarios presentados en la 3ª Comunicación Nacional de Cambio Climático, aplicando, además, los nuevos marcos estadísticos y escenarios RCP's (por sus iniciales en idioma inglés, Trayectorias de Concentración Representativas o Representative Concentration Pathways), definidos por el IPCC. Temporalmente, se definieron los escenarios: 2011 a 2040, 2040 a 2070 y de 2071 a 2100, considerando, principalmente, dos variables de estudio: a) la precipitación, como la cantidad de agua que cae por unidad de área a la superficie terrestre (manifestada en milímetros mm) y b) la temperatura, como la condición térmica de la atmósfera en determinado lugar y tiempo (manifestada en grados centígrados °C).

Los análisis asociados a variabilidad climática. Uno de los principales mecanismos de forzamiento radiactivo del sistema climático global es la alteración de la composición atmosférica, concretamente la de los Gases Efecto Invernadero – GEI (Ballesteros & León, 2007). A partir de esto, el IPCC diseñó, para su Quinto Informe de Evaluación (AR5), cuatro escenarios RCP, que facilitarían la comprensión del comportamiento de las variables climáticas con posible concentración (no emisiones) de GEI, en un futuro. Sobre la apreciación sobre la afectación o aumento de la sensibilidad a la variabilidad climática de la Cuenca Torca, se tomaron como base las definiciones, que corresponden: a) la “predisposición a ser afectado negativamente” (IPCC, 2014) y b) el “grado en que un sistema natural o social es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos de la variabilidad climática y los episodios extremos” (IDEAM, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La discusión de los resultados, se presenta en tres secciones: al análisis de los componentes ambientales, el panorama sistémico de la Cuenca y los escenarios prospectivos de la variabilidad climática en los componentes ambientales del Cuenca Torca, en los periodos del 2011 al 2040, del 2041 al 2070 y del 2071 al 2100. Tales aspectos, se ofrecen como insumo para plantear lineamientos prospectivos sobre planificación ambiental de la Cuenca.

El análisis de los componentes ambientales. En este análisis en la Cuenca, se encontró que, en el componente atmosférico, las temperaturas oscilan entre 12 – 18°C, en la parte plana y entre 6 – 12°C, en las partes más elevadas. La distribución de la lluvia en promedio anual es mayor en las partes más elevadas, alcanzando entre los 1.000 a 1.500mm; al costado occidental del área disminuyen de 500 a 1.000mm. El clima es de frío semi-húmedo en la parte plana, en los cerros es muy frío húmedo. Al año, la evapotranspiración predomina sobre la precipitación pluvial (IGAC, 2000). Debido a la EEP, ubicación, tamaño e importancia de la misma, la Cuenca presta servicios de regulación sobre algunos elementos atmosféricos, por medio del secuestro de los GEI y almacenamiento del CO₂, convertido en carbono orgánico en el suelo (Bergkamp & Orlando, 1999; Alba *et al.* 2014). El sistema de humedales Torca - Guaymaral es sumidero de carbono terrestre y regula el sistema hídrico, si hay inundaciones (Imbach *et al.* 2010). El alto flujo vehicular por la conurbación de la Cuenca en la Sabana Norte, el desarrollo prominente hacia las localidades de Suba y Usaquén en una reducida red vial, ha elevado el material particulado y las emisiones por fuentes móviles, que han traído en detrimento la calidad del aire de la zona.

En el componente hidrosférico, la cuenca posee un eje principal de 13,06km, con un área de drenaje igual a 6.008,69 hectáreas, nace en el conjunto residencial Bosque de Pinos, en la Carrera 6 con Calle 153 hasta el río Bogotá (SDA, 2015). Tiene tres microcuencas: El Cedro, San Cristóbal y Serrezuela. El sistema está conformado por el río Bogotá, quebradas, canales y humedales: Torca - Guaymaral, con 79,93ha, de las localidades de Usaquén y Suba y el humedal La Conejera, con 58,8ha, en la localidad de

Suba. Este sistema está fragmentado por la malla vial, urbanización, rellenos, cultura agropecuaria, potrerización y contaminación, por vertimientos de aguas residenciales, industriales, desechos sólidos y residuos generados de los cementerios adyacentes. El sistema está funcionalmente desconectado (Moreno *et al.* 2002; Tockner *et al.* 2008). Desde el factor hidrogeológico, la Cuenca está en una zona intramontana de origen tectonosedimentario (Fragala & Obregón-Neira, 2011), con los complejos Acuífero Neógeno-Cuaternario y Acuitardo Paleógeno (INGEOMINAS, 2002). La descarga de acuíferos se da en estos humedales, catalogados como Ramsar, por la Importancia Internacional, especialmente, como Hábitat de Aves Acuáticas. La dinámica del nivel freático conforma suelos hidromórficos con vegetación hidrofítica con potencial de amortiguación y almacenamiento, tales características, elevan la capacidad de regulación ante inundaciones y gestionan el riesgo de los habitantes (Denis, 2010; Buytaert *et al.* 2016; Montoya Rojas, 2011b). Estos humedales tienen una importancia en la zona continental como en zonas marino-costeras, la única diferencia es que en zonas continentales representan relictos de los circos glaciares de la última desglaciación y en zonas marino-costeras son la base de ecosistemas híbridos; en ambos casos presentan suelos que acumulan material orgánico, típicos de taxonomías Histosoles (Montoya-Rojas *et al.* 2020).

En cuanto al componente geosférico, la geología estructural del área tiene el anticlinal de Usaquén y una falla longitudinal del Cerro de Cota hasta la Falla de Bogotá al sur (Velandia Patiño & De Bermoudes, 2002). Las unidades cronoestratigráficas presentes son: a) Q1-l: arcillas del pleistoceno en los cuerpos de agua; b) k6E1-Stm: arcillolitas rojizas con intercalaciones de cuarzoarenitas, mantos de carbón del Maastrichtiano-Paleoceno; c) k1k6-Stm: shales, calizas, fosforitas, cherts y cuarzoarenitas en los Cerros Orientales del Cenomaniano-Maastrichtiano; d) KPgg: arcillas y arenas depositadas por ríos y zonas pantanosas con turberas (Van der Hammen, 1986). En épocas recientes, se depositó la Formación Sabana, con depósitos lacustres del gran lago de Humboldt de la Sabana de Bogotá (Uscátegui, 1992). La geomorfología de la Cuenca de tipo aluvial y estructural con recubrimiento generalizado de cenizas volcánicas contribuye al entendimiento de la evolución del paisaje de la Sabana Norte. Las unidades geomorfológicas son: a) RLOa: los humedales y el río Bogotá, de paisaje de planicie y planos de inundación, con depósitos clásticos hidrogénicos (IGAC, 2000); b) RLQa: terrazas del río Bogotá, con depósitos clásticos hidrogénicos; c) MLVf: crestones de paisajes de montaña (en los Cerros Orientales y el Cerro La Conejera), con rocas clásticas arenosas, limoarcillosas y químicas carbonatadas; d) MLKd: glacis coluvial, erosión hídrica laminar ligera y depósitos clásticos gravigénicos (IDEA, 2006). Teniendo en cuenta la geología y la geomorfología del lugar, se comprende la marcada presencia de suelos clasificados en el orden Andisol, caracterizados por tener recubrimientos de cenizas volcánicas sobre las arcillas de la Cuenca y, los de orden Inceptisol, que se constituyen en suelos que están iniciando procesos pedogenéticos de soporte de ecosistemas. En el humedal Torca - Guaymaral y el Humedal La Conejera está la consociación Typic Endoaquepts (50%), Aeric Endoaquepts (30%) y Thaptic Hapludands (20%). En el Cerro La Conejera y los Cerros Orientales está la consociación Humic Lithic Eutrudepts (35%),

Typic Placidands (25%) y Dystric Eutrudepts (25%), mientras que, en el resto de la Cuenca, se encuentran la consociación Pachic Melanudands (50%), Andic Dystrudepts (20%), Aeric Endoaquepts (15%) y Aquic Hapludands (15%).

En el componente biosférico, el noroccidente del área presenta agroecosistemas campesinos mixtos con zonas intervenidas, con menos del 20% de ecosistemas originales remanentes; por ejemplo, hacia los Cerros Orientales, se encuentra el Bosque Andino, hacia el río Bogotá está el Bosque de Zona Inundable y en la Zona plana, el Bosque de planicie. La Cuenca, presenta ecosistemas de gran interés, debido al valor ecológico, ambiental, cultural y recreacional, que representan para Bogotá. A pesar de la fragmentación actual del sistema de humedales Torca-Guaymaral brinda una gama de servicios, como: a) lugares para el esparcimiento y la educación; b) suministro de alimento para la flora, la fauna y los seres humanos, donde están los agrosistemas de las localidades de Suba y Usaquén; c) cumple funciones de regulación hídrica, que permiten controlar inundaciones o periodos de estiaje (MINAMBIENTE, 2002), en épocas de lluvias o secas, respectivamente; d) mantiene las reservas de agua subterránea, mediante los procesos de recarga y descarga (USGS, s.f.), entre los Cerros Orientales y de Suba y la Planicie de Bogotá; e) es sumidero de carbono (Hernández, 2010) de la zona norte de Bogotá; f) junto con los otros humedales de Bogotá, la zona arraiga lazos culturales y ancestrales (Villa, 2012; Montoya-Rojas *et al.* 2014).

Finalmente, en el componente antroposférico, se encontró que en el área se está inmersa en dos localidades del Distrito Capital: a) Suba: al noroccidente de la ciudad, una de las más extensas de la Capital y b) Usaquén, al extremo nororiental de la ciudad, municipio hasta 1954, donde oficialmente se vinculó a la jurisdicción de Bogotá. Estas son las localidades de mayor crecimiento (García Serna *et al.* 2014), tanto en el área metropolitana como en los municipios aledaños, con ecosistemas multifuncionales e interconectividad dentro de la Cuenca y la ciudad (Jaramillo *et al.* 2016) (Figura 1).

Escenarios prospectivos de la variabilidad climática y su relación con los componentes ambientales en la Cuenca. Para este análisis en la Cuenca Torca, se tomaron los periodos del 2011 al 2040, del 2041 al 2070 y del 2071 al 2100. El Foro Económico Mundial (WEF, 2017) menciona la variabilidad climática, como uno de los riesgos de mayor fuerza en los próximos 10 años, que propiciaría la pérdida de biodiversidad, el colapso de ecosistemas y déficit de alimentos, los desastres ambientales provocados por acciones humanas de baja calidad y planificación, la urbanización con poblaciones con baja resiliencia, la proliferación de enfermedades, la migración involuntaria, la crisis del agua, el fracaso en la mitigación y la adaptación al cambio climático, por no contemplar análisis sistemáticos sino aislados. Esto afectaría considerablemente la sostenibilidad y la interconectividad del ambiente natural y humano, con alto potencial de afectación mutua, dentro de un sistema terrestre complejo (WEF, 2017; IPCC, 2014). El análisis de los escenarios para temperatura y para precipitación en cada uno de los RCP de 2011 a 2040, 2041 a 2070 y 2071 a 2100, fue: para los escenarios de temperatura: a) del 2011 a 2040, se espera aumento

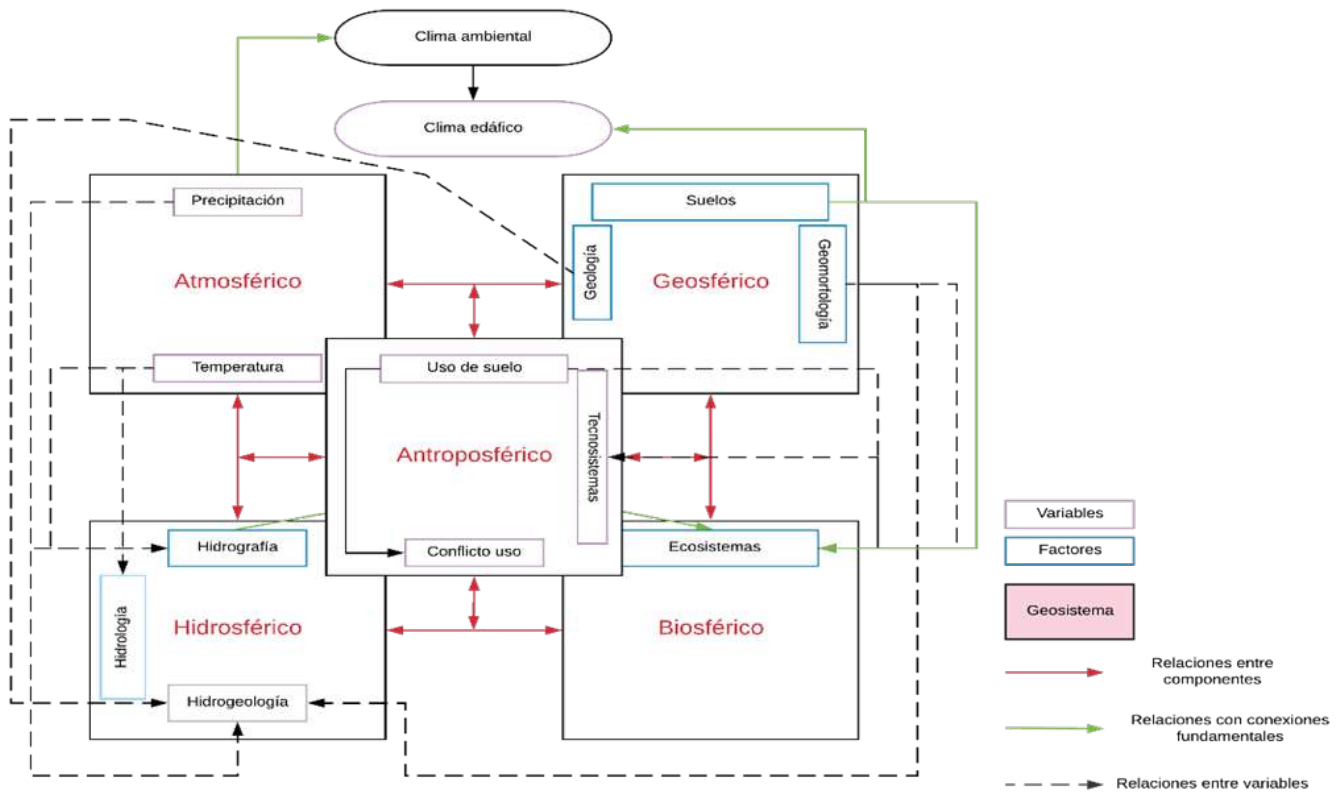


Figura 1. Perfil esquemático de la oferta sistémica de la Cuenca Torca e interacción de componentes ambientales.

en la temperatura de 0,51 a 0,8°C, con incrementos de 0 a 0,5°C, en las partes más altas de los Cerros Orientales; b) del 2041 a 2070, se espera un cambio de 1,01 a 1,2°C y de 0,81 a 1°C, en algunas partes de los Cerros Orientales y c) el 2071 a 2100, se espera un incremento de 1,21 a 1,6°C, en toda la superficie del área de estudio, con excepción de pequeños parches o zonas concentradas, donde las temperaturas irían de 1,61 a 1,8°C; esta información surge de modelos matemáticos que simulan comportamientos, por eso, para la distribución espacial, hay limitaciones. Para el escenario de precipitación del 2011 - 2040, se observa un cambio de 11 a 20%, en la mayor parte central; hacia el humedal La Conejera y el río Bogotá aumentan de 21 a 30%. Para el periodo 2040 a 2070 no hay representatividad cartográfica, por la escala de trabajo y, además, no hay una tendencia clara a aumento o disminución de la precipitación, debido a que los valores de incertidumbre son muy similares con la ventana 2011 - 2040 y comparando los RCP entre sí, las variaciones no son significativas, por lo que no hay representación gráfica de los resultados. De igual manera, no hay representación cartográfica oficial del IDEAM para la escala de este estudio, pero los datos indican que en el periodo 2071 a 2100 habrá incrementos en la precipitación de hasta un 30%, mayor a los valores actuales en algunas zonas (IDEAM *et al.* 2015) (Figuras 2, 3, 4 y 5). Las implicaciones de los escenarios de variabilidad climática con relación a los componentes ambientales de la Cuenca Torca, son:

En el componente atmosférico, se determina que el escenario RCP2,6 es el más optimista y los RCP4,5, RCP6 y RCP8,5, los más críticos (IPCC, 2014). Cada uno de estos escenarios fue definido, de acuerdo con el forzamiento radiativo total esperado: RCP2.6 (2,6 W/m²), RCP4.5 (4,5 W/m²), RCP6.0 (6 W/m²) y RCP8,5 (8,5 W/m²). En la zona andina tropical, donde se encuentra la Cuenca Torca, la temperatura aumentará entre 3°C (RCP6) y 4,8°C (RCP8,5), el escenario más crítico y, en cuanto a precipitaciones, es probable que en ese escenario RCP8,5 la precipitación media disminuya en las zonas más secas de la Cuenca, mientras que en las zonas más húmedas, la precipitación media aumentará, de manera más intensa y frecuente (IPCC, 2014). En el incremento de temperaturas y la variación de precipitaciones, se espera una transición a un clima frío semiárido, en la mayoría de la Cuenca.

En el componente hidrosférico, la variabilidad climática incidirá sobre la disponibilidad del recurso hídrico, por el aumento en la frecuencia, la intensidad y la severidad de fenómenos atmosféricos extremos (Buytaert *et al.* 2016). El aumento de la temperatura, las fuertes lluvias y sequías, aumentarán los sedimentos, lavado de nutrientes, descomposición, eutrofización y cargas de contaminantes (IPCC, 2014). Se perturbará el flujo de aguas subterráneas, que mantiene el flujo de las quebradas y humedales, sobre todo, cuando la precipitación sea escasa o baja. Será necesario regular, con rigor, la utilización y el aprovechamiento del agua subterránea, ya que por



Figura 2. Escenario prospectivo de variación de la temperatura del periodo 2011 al 2040.

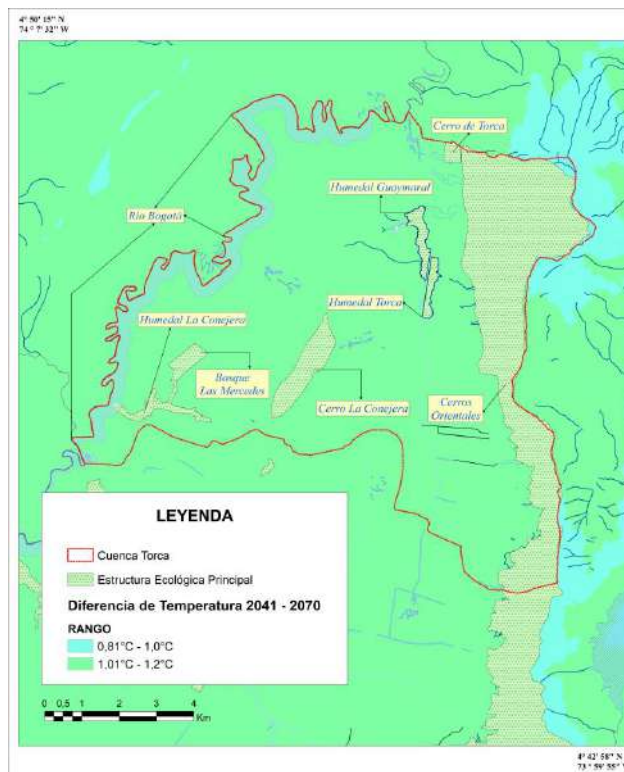


Figura 3. Escenario prospectivo de variación de la temperatura del periodo 2041 al 2070.

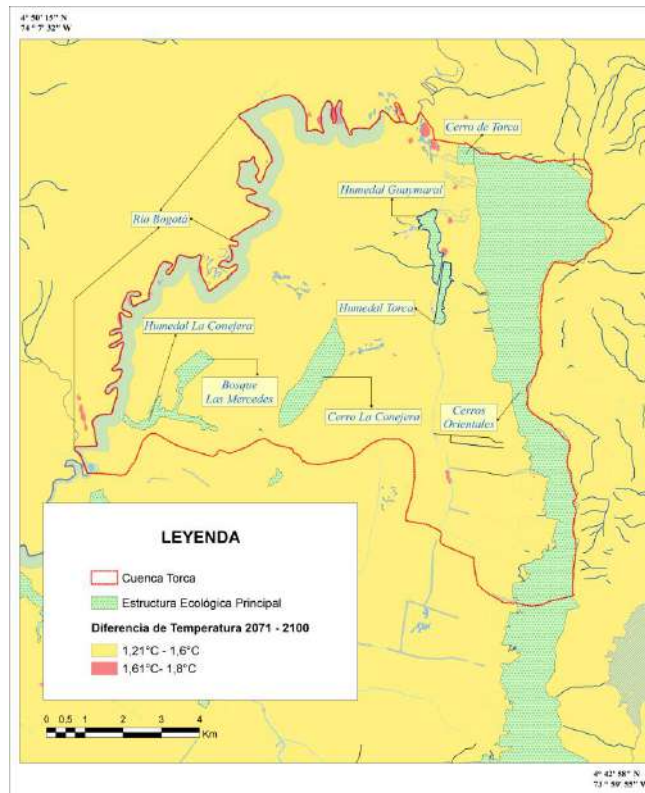


Figura 4. Escenario de variación de la temperatura del periodo 2071 al 2100.

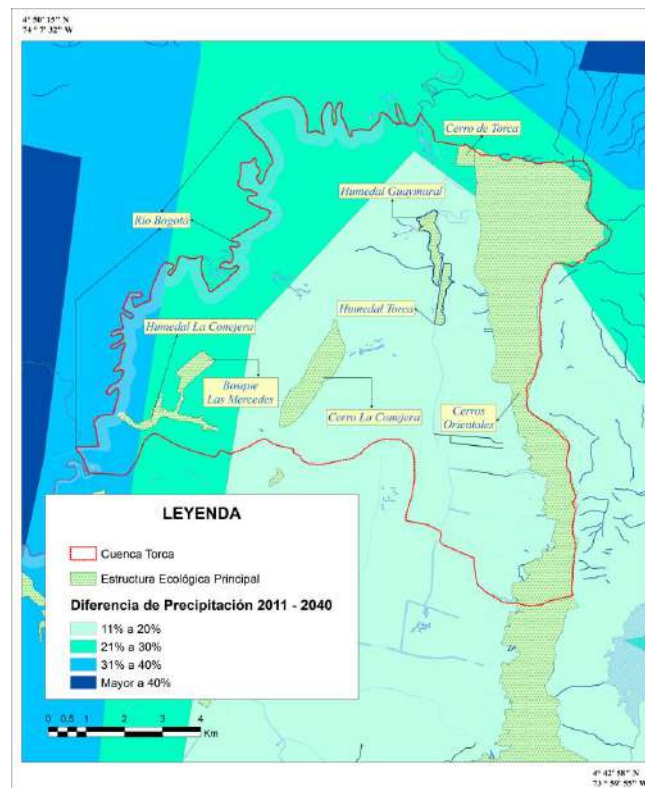


Figura 5. Escenario de precipitación en el periodo 2011 – 2040.

estar inmersa en la ciudad, hay mayor demanda por el crecimiento demográfico y de diversos sectores industriales (Foster *et al.* 2006; Sepúlveda, 2010; Suárez *et al.* 2014). Frente al aumento de lluvias es indispensable la adecuación de las infraestructuras a las inundaciones tan recurrentes en el norte de Bogotá. La EEP debe ser mantenida para co-ayudar al servicio ecosistémico de regulación del flujo hídrico en los Cerros Orientales y facilite la recarga de acuíferos sin comprometer la conectividad hidrosistémica de la EEP.

En el componente geosférico, la creciente concentración de CO₂ en la atmósfera, por la fragmentación de la EEP, que actúa como protectora del suelo que la soporta, hará que los microbios del suelo descompongan y mineralicen la materia orgánica más rápidamente, lixivándose o pudiendo liberar más CO₂ a la atmósfera, planteando así una relación de doble causalidad, que deja de manifiesto la sensibilidad edáfica frente a la variabilidad climática y, a su vez, un mal manejo de suelos contribuye a disminuir la capacidad de adaptación de los mismos (EEA, 2016). Los cambios de temperatura atmosférica proyectada elevarán la temperatura edáfica, clasificada como Isotérmica, de 14 a 22°C, originando una adaptación y redistribución de los organismos del suelo. La temperatura que varía de un horizonte a otro, siendo el horizonte A o el superficial el más sensible a las fluctuaciones de temperatura durante el día, según la época del año (Villaseca, 1990), generará procesos de translocación de nutrientes, por actividad de la biota edáfica, entre los horizontes superficiales a los subsuperficiales. Los suelos con régimen de humedad ácucos tenderán a ser más perácucos, si aumentan las precipitaciones y údicos, en las zonas en donde no hay humedales, mientras que hacia los Cerros, se mantendrán el régimen ústico. Los incrementos de temperatura aumentará la evapotranspiración y evaporación, elevando la erosión hídrica del suelo. En cuanto a las geoformas, serán más frecuentes los fenómenos de remoción en masa en las zonas con mayores pendientes.

En el componente biosférico, con las variaciones de temperatura, es fundamental promover la conectividad socio-ecosistémica, con el fin de propender por mejorar la calidad y la sostenibilidad ambiental de la Cuenca, asociada a la función reguladora del componente atmosférico. Tal como lo mencionan González Arellano & Larralde Corona (2019), la forma de las ciudades está cambiando, destacándose un crecimiento extensivo y disperso, donde hay una fragmentación directa a la EEP. Adicionalmente, al aumentar las precipitaciones, se generarán más migraciones de la micro y meso fauna del suelo, debido a que el ecosistema fragmentado no soportaría, de manera protectora, los organismos que allí habitan. Ahora bien, si se disminuyen las lluvias y se eleva la temperatura, habrá transformación de ecosistemas distintos a los que actualmente se encuentran.

En el componente antroposférico, los incrementos en la temperatura y la precipitación suponen nuevos retos para los sectores productivos pequeños, medianos e industrializados, como implementar nuevas eco-tecnologías, para que se adapten a condiciones extremas y no sufrir pérdidas. Si el antroposistema relacionado con el desarrollo vial se mejora, la calidad del aire se puede regular, pues menor combustión se alojará en un mismo lugar; sin embargo, con

relación a los materiales de construcción, el concreto, los materiales artificiales, la pavimentación excesiva y el asfalto, se contribuirá a generar el fenómeno de “isla de calor”, que se asocian con velocidades del viento y la alta humedad sobre zonas geográficas con bajas coberturas naturales y alta densificación de infraestructura, exponiendo a la población a altas temperaturas (Monsalves-Gavilán *et al.* 2013).

El presente estudio permitió evidenciar:

- En algunos casos, la resiliencia de un componente, como, por ejemplo, el geosférico, puede co-ayudar al soporte de la EEP del componente biosférico, debido al tipo taxonómico del suelo que predomina: Andisol e Inceptisol, pero si se fragmentan los paisajes, debido a las presiones del componente antroposférico, se afectarían las bondades del componente geosférico de soporte de ecosistemas y, por ende, la regulación.
- Las funciones principales de la EEP son la regulación de las temperaturas y las precipitaciones. Las AP protegen el patrimonio natural del Distrito Capital y la Región, imprescindibles para la adaptación, el funcionamiento de los ecosistemas y el desarrollo sostenible de la Cuenca en la ciudad. Las AEIE contribuyen a la regulación del ciclo hidrológico por los flujos naturales del agua superficial y subterránea. Los ECC son áreas en las que se pueden fortalecer capacidades de adaptación de la población circundante y crear proyectos de educación ambiental local.
- En la interrelación de componente geosférico e hidrosférico, el suelo desempeña procesos permanentes, cumpliendo funciones vitales para la Cuenca; sus propiedades físicas, químicas y biológicas interconectan el flujo hidrosistémico de las zonas de recarga y descarga de aguas subterráneas del área, aspectos clave para la regulación de los cambios de temperatura y de precipitaciones que se proyectan. Este hidrosistema cumple funciones ecológicas, que fomentan las capacidades de adaptación a la variabilidad climática en la Cuenca, como: a) la provisión de alimento para la EEP y los habitantes; b) intercambio de aguas superficiales y subterráneas, que promueve la buena calidad ecosistémica; c) la retención de sedimentos, que contribuye a depurar el río Bogotá y sus afluentes; d) la amortiguación y moderación de vientos, que permite mantener un microclima y sensación térmica de bienestar para los habitantes y organismos.
- Con relación al componente atmosférico, hidrosférico y biosférico, se concluye que el incremento de la temperatura y las variaciones de precipitaciones proyectadas pueden perturbar los biosistemas e hidrosistemas; por ejemplo, podrá existir proliferación de especies invasoras en los humedales que no permitan el paso de la luz al cuerpo de agua y se restrinja su flujo de oxígeno, lo que fomentaría la eutrofización.
- La presión antroposférica del área de estudio está fragmentando el paisaje sin una planeación de crecimiento urbano estratégica y ante la variabilidad climática analizada, se evidencia que es necesario innovar e implementar técnicas y sistemas productivos, que preserven corredores ecológicos funcionales, que favorezcan la regulación del flujo de aguas y la fijación de carbono.
- Analizando el diagnóstico de los componentes ambientales en

su exposición, su sensibilidad y su capacidad de respuesta, se concluyó que: a) la exposición a las variaciones de precipitación y temperatura es alta, por los fenómenos asociados a la reducción de la EEP, debido a la rápida fragmentación de los paisajes; b) la sensibilidad es media-alta, teniendo en cuenta que la intensidad y la frecuencia de las precipitaciones o las sequías, saturarán o dejarán en déficit el sistema natural y humano y, finalmente, c) al observar la exposición y la sensibilidad, se infiere, que la capacidad de respuesta de la Cuenca, en el escenario actual, es bajo, por lo que se requerirá, para futuras investigaciones, un plan de acción concreto para los tres escenarios analizados.

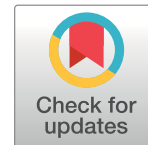
Agradecimientos: Este manuscrito, se encuentra enmarcado dentro del proyecto: “Análisis de los beneficios ecosistémicos de regulación del suelo en la historia ambiental de la relación cuenca hidrográfica-ciudad”, financiado por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y la empresa INGEOS SAS. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado por los autores, quienes declaran no tener conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

REFERENCIAS

1. AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE, EEA. 2016. El suelo y el cambio climático. Disponible desde Internet en: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico> (con acceso el 25/04/2019).
2. ALBA, A.; BURGOS, A.; CÁRDENAS, J.; LARA, K.; SIERRA, A.; MONTOYA ROJAS, G. 2014. Research panorama on the second green Revolution in the world and Colombia. *Tecciencia J (Colombia)*. 8(15):69-90. <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2013.15.6>
3. BALLESTEROS, H.; LEÓN, G. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p.
4. BERGKAMP, G.; ORLANDO, B. 1999. Los humedales y el cambio climático. Examen de la colaboración entre la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán 1971) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 35p.
5. BUYTAERT, W.; MISHRA, A.; DEMUTH, S.; CISNEROS, B.; STEWART, B.; CAPONI, C.; CUDENNEC, C. 2016. El cambio climático y los eventos extremos. En: Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016. Disponible desde Internet en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf> (con acceso el 24/02/2019).
6. DENIS, S. 2010. Determinación de amenazas en humedales urbanos: Estudio de tres humedales de Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile (Chile). 43p.
7. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS, USDA. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. XII edición (Estados Unidos de América). 450p.
8. FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. 2014. Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
9. FORO ECONÓMICO MUNDIAL, WEF. 2017. Global Risks Report 2017. Disponible en internet en: <http://reports.weforum.org> (con acceso 24/07/2018).
10. FOSTER, S.; KOUNDOURI, P.; TUINHOF, A.; KEMPER, K.; NANNI, M.; GARDUÑO, H. 2006. Los Ecosistemas Dependientes del Agua Subterránea procedimientos de caracterización y medidas de conservación. Banco Mundial: Serie de Notas Informativas. 15(1):1-8.
11. FRAGALA, F.A.; OBREGÓN-NEIRA, N. 2011. Estimación de la recarga media anual en los acuíferos de la Sabana de Bogotá. *Engineering for Development (República Checa)*. 15(1):145-169.
12. GARCÍA SERNA, M.I.; MORALES-PINZÓN, T.; GUERRERO ERAZO, J. 2014. Análisis de flujos de agua en áreas metropolitanas desde la perspectiva del metabolismo urbano. *Luna Azul (Colombia)*. 39:234-249.
13. GLOBE. 2005. Protocolo de Temperatura del Suelo. Disponible desde Internet en: <https://www.globe.gov/documents/16257217/17240639/Protocolo+de+Temperatura+del+Suelo/f7bf6f08-2779-4250-ae41-74e61c1fca38> (con acceso el 20/06/2018).
14. GONZÁLEZ ARELLANO, S.A.; LARRALDE CORONA, A.H. 2019. La forma urbana actual de las zonas metropolitanas en México: indicadores y dimensiones morfológicas. *Estudios Demográficos y Urbanos*. 34(100):11-42. <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v34i1.1799>
15. GUHL, A. 2008. Paisajes como elemento de análisis del pasado, presente y futuro de la relación entre la sociedad y su

- entorno. Cuadernos Verdes No. 12. Colegio Verde de Villa de Leyva 1986 - 2007. (Colombia). p.334-341.
16. HERNÁNDEZ, M.E. 2010. Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana* (México). 28(2):139-147.
 17. IMBACH, P.; MOLINA, L.; LOCATELLI, B.; CORRALES, L. 2010. Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos hidrológicos al cambio climático en Mesoamérica. En: Martínez-Alonso, C.; Locatelli, B.; Vignola, R.; Imbach, P. (eds.). *Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina*. CATIE. p.32-43.
 18. INGEOMINAS. 2002. Modelo hidrogeológico conceptual de la Sabana de Bogotá. Proyecto de cooperación técnica internacional OIEA-Ingeominas, aplicación de técnicas isotópicas en los estudios de aguas subterráneas col-8019. Ministerio de Minas y Energía (Colombia). p.77-85.
 19. INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEA. 2006. Plan de Manejo Ambiental del Humedal Torca - Guaymaral: Zonificación. Universidad Nacional de Colombia (Bogotá D.C., Colombia). 43p.
 20. INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y METEOROLÓGICOS, IDEAM. 2011. Metodología para el análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgos asociados en la cuenca alta del río Cauca. Programa de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. IDEAM (Colombia). p.120-140.
 21. INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y METEOROLÓGICOS, IDEAM; ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA DESARROLLO; MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE; DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN; CANCELLERÍA. 2015. Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Estudio Técnico Completo: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM (Colombia). 45p.
 22. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI, IGAC. 2000. Estudio General de Suelos y Zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Bogotá, Colombia). 420p.
 23. JARAMILLO, U.; CORTÉS-DUQUE, J.; FLÓREZ, C. 2016. Colombia Anfibia, un país de humedales. Volumen II. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT, IAVH. (Colombia). 116p.
 24. LÓPEZ-FELDMAN, A. 2014. Cambio climático, distribución del ingreso y la pobreza. El caso de México. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL (Chile). 40p.
 25. MAGRIN, G. 2015. Estudios del cambio climático en América latina: Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL (Chile). 80p.
 26. MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, MEA. 2015. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio: Informe de síntesis. Island Press (Washington, D.C., Estados Unidos de América). 43p.
 27. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MINAMBIENTE. 2002. Política Nacional para Humedales interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y Uso sostenible. Panamericana Formas e Impresos (Bogotá D.C., Colombia). 67p.
 28. MONSALVES-GAVILÁN, P.; PINCHEIRA-ULBRICH, J.; ROJO MENDOZA, F. 2013. Climate change and its effects on urban spaces in Chile: A summary of research carried out in the period 2000-2012. *Atmósfera* (México). 26(4):547-566. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71095-6](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71095-6)
 29. MONTOYA ROJAS, G. 2007. Environmental Zoning, Management and Sustainable Use of Natural Resources in Territory Planning. In: International report of Programme ALBan of High-Level Scholarships in the European Union for Latin America. Porto, Portugal. Associacao Grupo Santander - Representao em Portugal. 64p.
 30. MONTOYA ROJAS, G. 2011a. La edafología en la planeación ambiental y el desarrollo territorial. *Tecciencia* (Colombia). 6(11):56-65.
 31. MONTOYA-ROJAS, G. 2011b. Zonificación Ambiental en Cuencas Hidrográficas. Editorial Académica Española, LAP Lambert Academic Publishing GmbH (Alemania). 305p.
 32. MONTOYA-ROJAS, G. 2018. Lineamientos Epistemológicos para la aplicación de la Geografía del Suelo. Sociedad Geográfica Colombiana (Bogotá D.C., Colombia). 107p.
 33. MONTOYA-ROJAS, G.; BARRAGAN, C.; ARANGUREN, M.; MARTÍNEZ, N.; RODRÍGUEZ, R.; VILLAMIL, R. 2014. Discussion on the implications upon the environment of some technologies from the second green revolution. *J. Tecciencia*. 9(16):22-32. <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2014.16.2>

34. MONTOYA-ROJAS, G.; POSADA, A.; MARTÍN, J.; GARNICA, L.; PEÑA, P.; RAMÍREZ, A. 2016. Gestión integral de la industria cauchera en el municipio de San José del Guaviare, Colombia. *Perspectiva Geográfica*. 21(2):89-110.
<https://doi.org/10.19053/01233769.5854>
35. MONTOYA-ROJAS, G.A.; ALMARIO GARCÍA, M.; BELLO-ESCOBAR, S.; SINGH, K.P. 2020. Analysis of the interrelations between biogeographic systems and the dynamics of the Port-Waterfront Cities: Cartagena de Indias, Colombia. *Ocean and Coastal Management*. 185(1).
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105055>
36. MORENO, V.; GARCÍA, J.; VILLAALBA, C. 2002. Descripción general de los humedales de Bogotá, D.C. *Sociedad Geográfica de Colombia (Bogotá, Colombia)*. p.2-28.
37. MOYA, B.; HERNANDEZ, A.; BORRELL, H. 2005. Los Humedales ante el Cambio Climático. *Simposio Internacional Humedales 2003. Investigaciones geográficas (España)*. p.127-132.
38. ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, OMM. 2011. Guía de prácticas climatológicas (Ginebra, Suiza). Disponible desde internet en:
<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-estado-del-clima-mundial-en-2011-2015-c%C3%A1lido-y-err%C3%A1tico> (con acceso 25/05/2019).
39. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. 2003. Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas. Ginebra. Disponible desde internet en:
<http://www.who.int/globalchange/publications/en/Spanishsummary.pdf> (con acceso 25/05/2018).
40. PABÓN, J.; ZEA, J.; LEÓN, G.; HURTADO, G.; GONZÁLEZ, O.; MONTEALEGRE, J. 2001. La atmósfera, el tiempo y el clima. En: Leyva, P. *El Medio Ambiente en Colombia (Colombia)*. p.34-91.
41. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, SDA. 2015. Descripción y contexto de las cuencas hídricas del Distrito Capital (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo). Dirección de Control Ambiental, Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo (Colombia). p.21-120.
42. SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN, SDP. 2009. Conociendo Bogotá y sus localidades: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos. Alcaldía Mayor de Bogotá (Colombia). p.35-52.
43. SEPÚLVEDA, C. 2010. Uso y valor del recurso hídrico urbano. Sistema de agua potable en Culiacán (México). *Urbano*. 21:41-47.
44. STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. 2013. *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA). 222p.
45. STRAYER, D.; DUDGEON, D. 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *J. North American Benthological Society*. 29(1):344-358.
<https://doi.org/10.1899/08-171.1>
46. SUÁREZ, J.; PUERTAS, J.; ANTA, J.; JÁCOME, A.; ÁLVAREZ-C., J.M. 2014. Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema del agua urbana: Desarrollo Urbano Sensible al Agua como enfoque estratégico. *Ingeniería del Agua (España)*. p.111-123.
47. TOCKNER, K.; BUNN, S.; GORDON, C.; NAIMAN, R.; QUINN, G.; STANFORD, J. 2008. Food plains: critically threatened ecosystems. In: *aquatic Ecosystems. Aquatic Ecosystems - Trends and Global Prospects (Estados Unidos de América)*. p.45-61.
48. USCÁTEGUI, A. 1992. Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana. VII Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería (Colombia). p.1-12.
49. USGS. s.f. Landsat Data Access. Disponible desde Internet en:
https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-data-access?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con (con acceso 8/12/2020).
50. VAN DER HAMMEN, T. 1986. La Sabana de Bogotá y su lago en el pleniglacial medio. *Caldasia*. 15(71-75):249-262.
51. VELANDIA PATIÑO, F.; DE BERMOUDES, O. 2002. Fallas Longitudinales y Transversales en la Sabana de Bogotá. *Boletín de Geología*. 24(39):37-48.
52. VELÁZQUEZ, B.R.; LEVI, L.L. 2015. Espacio, paisaje, región, territorio y lugar: la diversidad en el pensamiento contemporáneo. Universidad Nacional Autónoma de México (México). p.43-49.
53. VILLA, H. 2012. Importancia histórica y cultural de los humedales del borde norte de Bogotá (Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 15(1):167-180.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.814>
54. VILLASECA, S. 1990. La temperatura del suelo. *Agricultura técnica (Chile)*. 50(2):155-160.



Evaluación de calidad del agua en la Quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia

Water quality assessment in Quebrada Jui, tributary of the Sinú river, Colombia

Urledys Hernández-Álvarez¹; José Pinedo-Hernández²; Roberth Paternina-Uribe³; José Luis Marrugo-Negrete⁴

¹Lic en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, M.Sc. Universidad de Córdoba, Maestría en Ciencias Ambientales. Montería - Córdoba, Colombia e-mail: uyhernandezalvarez@correo.unicordoba.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-5964-8344>

²Químico, M.Sc. Universidad de Córdoba, Maestría en Ciencias Ambientales. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: jjoaquinpinedo@correo.unicordoba.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-4288-1788>

³Químico Farmacéutico, M.Sc. Universidad de Córdoba, Maestría en Ciencias Ambientales. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: rpaternina@correo.unicordoba.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1994-0225>

⁴Ing. Químico, Ph.D. Universidad de Córdoba, Grupo de Aguas, Química Aplicada y Ambiental, Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: jmarrugo@correo.unicordoba.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3181-7529>

Cómo citar: Hernández-Álvarez, U.; Pinedo-Hernández, J.; Paternina-Uribe, R.; Marrugo-Negrete, J.L. 2021. Evaluación de calidad del agua en la Quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1678. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: agosto 30 de 2020 **Aceptado:** febrero 11 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La microcuenca de la quebrada Jui, enmarcada dentro de la cuenca alta del río Sinú, región Caribe de Colombia, es uno de los recursos hídricos utilizados por la población rural para consumo, riego y saneamiento; sin embargo, recibe cargas contaminadas de centros poblados en su área de influencia, que corresponden al vertimiento de aguas residuales, afluentes de laguna de oxidación, actividades ganaderas, extracción de arena, agricultura de pancoger y cultivos no formales. El objetivo de este estudio fue determinar el índice de calidad del agua (ICA) y establecer la relación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con las diferentes fuentes antropogénicas, para establecer origen común de contaminación. Además, el análisis de plaguicidas organoclorados y organofosforados, para conocer la influencia de las actividades

agrícolas. Se tomaron muestras en seis estaciones, en el periodo seco y húmedo del 2018. Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se analizaron empleando los métodos estandarizados de la American Public Health Association. Los plaguicidas, se cuantificaron por el método cromatografía de gases con espectrometría de masas (GC-MS). En promedio, el ICA fue 74,1, clasificando la fuente hídrica con buena calidad, exceptuando las estaciones (E4 y E5), en el periodo húmedo, cuya clasificación fue media, debido al aporte de coliformes fecales y turbidez. La concentración de plaguicidas, se presentó por debajo del límite de detección del método. En general, el análisis estadístico multivariado indica que las fuentes de contaminación derivan de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, excretas del ganado porcino y minería de arena.

Palabras clave: Índice de calidad del agua; Río Sinú; Recursos hídricos; Origen contaminación.

ABSTRACT

The micro-base of the Jui creek, framed within the upper Sinú River basin, Colombia Caribbean region, is one of the water resources used by the rural population for consumption, irrigation and sanitation. However, it receives contaminated loads from urban centers in its area of influence that correspond to the discharge wastewater, oxidation lagoon tributaries, livestock activities, sand extraction, agriculture and non-formal crops. The objective of this study was to determine the water quality index (ICA) and establish the relationship between the physical-chemical and microbiological parameters with the different anthropogenic sources to establish a common source of contamination. In addition, the analysis of organochlorinated and organophosphate pesticides to understand the influence of agricultural activities. Samples were taken in six seasons, in the dry and humid period of 2018. Concentrations of physical-chemical and microbiological parameters were analyzed using the American Public Health Association's standardized methods. The pesticides were quantified by the gas chromatography method with mass spectrometry (GC-MS). On average the WQI was 74.1 classifying the water source with good quality, except the seasons (E4 and E5) in the wet period, the classification of which was average, due to the contribution of fecal coliforms and turbidity. The concentration of pesticides was below the detection limit of the method. In general, multivariate statistical analysis indicates that sources of pollution are from domestic wastewater, agricultural runoff, pig excretions and sand mining.

Keywords: Water quality index; Sinu river; Water resources; Contamination origin.

INTRODUCCIÓN

Colombia, se ubica entre los países con mayor riqueza hídrica en el mundo (IDEAM, 2018); no obstante, considerando el impacto antrópico sobre diferentes cuerpos de agua, su disponibilidad es mucho menor, al superar su capacidad de autodepuración, lo cual, conlleva a obtener un índice de calidad bajo, que indica deterioro en la calidad del agua, donde la agrupación simplificada de algunos constituyentes representan un componente en el manejo global integrado de los recursos hídricos (Gualdrón Durán, 2016; Hoyos Chaverra *et al.* 2018; Pradana Pérez *et al.* 2019; Tosic *et al.* 2019).

Registros obtenidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el 2004, demuestran la problemática de contaminación, a nivel nacional, con, aproximadamente, 1.300 cuerpos de agua contaminados, destacándose, en el interior del país: los ríos Bogotá, Medellín, Cali y Sogamoso, donde la contaminación de las diferentes fuentes hídricas relacionadas con la calidad de parámetros fisicoquímicos llegó a generar condiciones anóxicas. Esta situación, asociada a que más del 80% de los asentamientos urbanos se abastecen de fuentes naturales, como ríos, arroyos, quebradas, entre otros, generan riesgo potencial en poblaciones, debido a

su utilización en diferentes actividades domésticas, ocasionando que la comunidad, en general, sea altamente vulnerable (MAVDT, 2010). En el Caribe colombiano, el río Sinú, principal arteria fluvial del departamento de Córdoba, tiene diferentes microcuencas, que aportan y que pueden generar contaminación (Lans *et al.* 2008; Feria *et al.* 2010; Marrugo-Negrete *et al.* 2017), entre ella, la quebrada Jui, ubicada en la cuenca alta de esta vertiente fluvial y una de las fuentes principales de abastecimiento, para el desarrollo de diferentes actividades en poblaciones aledañas, en el municipio de Tierralta; receptor de residuos sólidos, aguas residuales domésticas, afluentes de la laguna de oxidación, escorrentías agrícolas y ganaderas. Además, con actividades de minería de arena y deforestación en la ribera, con zonas boscosas reemplazadas, en gran proporción, por cultivos no formales y agrícolas, donde la aplicación de plaguicidas organoclorados y organofosforados, en el pasado, era de uso común, por su efectividad en el control de plagas (CVS, 2006). Cabe resaltar, que la aplicación de plaguicidas organoclorados en Colombia fue prohibida desde la década de los años setenta, acorde a la Resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura; sin embargo, la persistencia de los residuos y metabolitos generan problemas de contaminación en diferentes matrices ambientales (Svingen *et al.* 2018; Sharma *et al.* 2020); como es el caso reportado en la ciénaga grande del bajo Sinú, donde se encontraron concentraciones de plaguicidas, como α -BCH, β -BCH, γ -BCH, aldrin y heptacloro epóxido (Lans *et al.* 2008). Además, Marrugo-Negrete *et al.* (2014) en suelos agrícolas en la cuenca media y baja del río Sinú, encontraron β -BCH, lindano, α -clordano, β - endosulfan, 4,4'-DDT y 4,4'-DDE. Racero Casarrubia *et al.* (2021) reportaron concentraciones de α -BCH, β -BCH, γ -BCH, endrin, pp-DDE, pp-DDT, en murciélagos en el sector Manso-Tigre en Tierralta, Córdoba. Lo anterior, refleja la problemática ambiental por este tipo de contaminantes en zonas de influencia al área del estudio.

Aunque es conocido que existen diferentes actividades antropogénicas que pueden llegar a generar problemas de contaminación, no se encuentran evaluaciones de la calidad del agua en la quebrada Jui, recurso de gran importancia para diez comunidades aledañas con, aproximadamente, 3.535 habitantes, según último censo (Sisben, 2009). Las necesidades del agua son el consumo, la preparación de alimentos y el saneamiento personal, razón por la cual, este estudio presenta el índice de calidad del agua (ICA) y la relación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en época seca y húmeda, con las diferentes fuentes antropogénicas, para establecer origen común de contaminación; además, el análisis de plaguicidas organoclorados y organofosforados, para conocer la influencia de las actividades agrícolas, estableciendo un índice de calidad del agua, como referente para evaluar la vulnerabilidad del recurso hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El siguiente trabajo, se realizó bajo la modalidad investigativa de tipo descriptiva correlacional de campo, con el fin de evaluar la calidad del agua en la microcuenca quebrada Jui, en el municipio de Tierralta, departamento de Córdoba, mediante la determinación del índice de calidad del agua, plaguicidas e identificación de las principales fuentes de contaminación.

Área de estudio. La microcuenca de la quebrada Jui, se encuentra ubicada en la cuenca alta del río Sinú, al sur oriente del casco urbano del municipio de Tierralta, departamento de Córdoba (Figura 1). Nace en el cerro Murrucú, jurisdicción del parque Natural Paramillo, a una altitud aproximada de 1.386m s.n.m. Tiene una extensión aproximada de 290,4km² y un recorrido de 36,9km, de sur a norte, hasta desembocar en el río Sinú, con una altitud de 34m s.n.m. Recibe cargas contaminadas de centros poblados en su área de influencia, como el vertimiento de aguas residuales, afluentes de laguna de oxidación, actividades ganaderas, extracción de arena, agricultura de pancoger y otros cultivos no formales. Además, tiene la característica de ser utilizada por la población rural para consumo, riego y saneamiento (CVS, 2006).

Recolección y análisis de muestras. La figura 1 muestra las estaciones de muestreo seleccionadas en la microcuenca quebrada Jui (E1 a E6), a través de campañas de muestreo realizadas en marzo (época seca) y junio (época húmeda) 2018. Las estaciones de muestreo fueron seleccionadas en función de la dinámica flujo de la microcuenca, facilidad de acceso, seguridad, flujo permanente de agua, influencia de actividades antrópicas y ubicación de zonas de perímetro urbano (E3, E4, E5) y suburbanas o rurales (E1, E2, E6).

Las muestras fueron tomadas en recipientes de vidrio ámbar, previamente esterilizados, de 1L, para los parámetros fisicoquímicos y 0,25L, para las variables microbiológicas, refrigeradas a 4°C y transportadas al laboratorio en neveras plásticas, con monitoreo

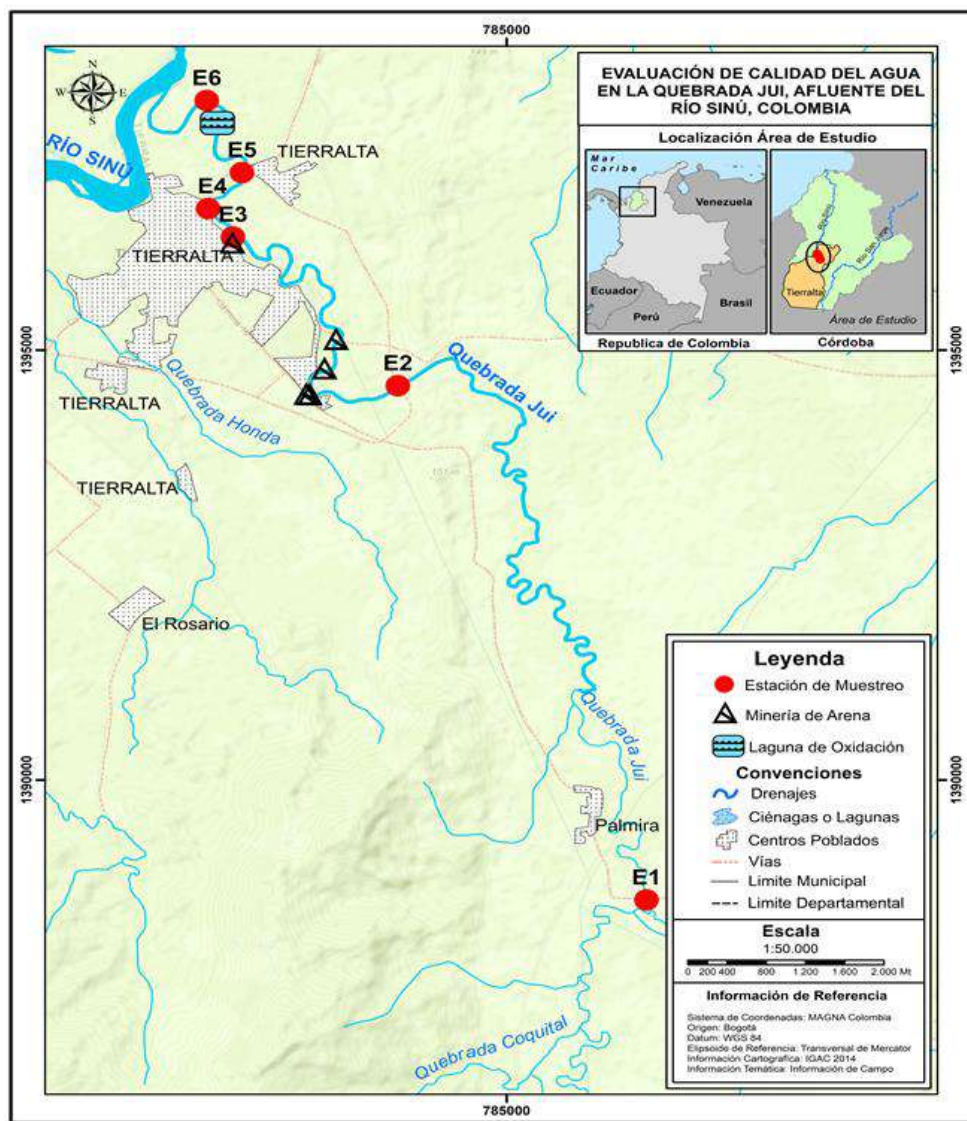


Figura 1. Microcuenca de la quebrada Jui, municipio de Tierralta, departamento Córdoba. E1: Puente de Palmira vía Revuelto; E2: Puente antes del casco urbano de Tierralta; E3: Barrio 20 de Julio antes del hospital; E4: Barrio el prado después del hospital; E5: Puente de acceso a Tierralta; E6: Desembocadura de la quebrada Jui. Fuente cartográfica: IGAC, 2014. Año 2020; Software ArcGIS, extensión ArcMAP 10.5.

de temperatura, para control de cadena de frío. Posteriormente, caracterización físico-química y microbiológica, mediante análisis de temperatura (T), turbidez (Turb), sólidos totales (ST), pH, oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitratos (NO₃), fosfatos (PO₄³⁻), coliformes totales (CT) y fecales (CF), acorde con métodos normalizados por APHA (2017); además, se determinó la concentración de plaguicidas organoclorados y organofosforados por métodos cromatográficos. Las muestras de agua, se sometieron a técnicas de extracción fase sólida y líquido-líquido con diclorometano y acetato de etilo. Los extractos orgánicos fueron mezclados y rotaevaporados. La determinación de los plaguicidas cipermetrina y clorpirifos, se realizó por cromatografía líquida de alta eficiencia, con detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD) y, el resto de los plaguicidas, por cromatografía gaseosa, con detector de espectrometría de masas (GC-MS). Se compararon los tiempos de retención y se calcularon las áreas bajo la curva de muestras y estándares según patrones analizados (Ortiz-Romero *et al.* 2015). La cuantificación de los plaguicidas organoclorados, se realizó empleando estándar interno: clorfenson pestanal®, Sigma aldrich. El límite de detección para los 11 compuestos: α -BHC, β -BHC, γ -BHC, δ -BHC, heptacloro, aldrín, heptacloro-epoxido, endosulfan, p-p' - DDE, dieldrín, endrin, endosulfan II, m-p'-DDD, endrin-aldehído, endosulfan sulfato, p-p' DDT, endrin-eetona, estuvo entre 0,05 y 0,25ug/L. Los %R para los analitos evaluados en muestras fortificadas estuvieron entre el 80 y 120%. Para el caso de los plaguicidas organofosforados, como diclorfos, Mocap, malathion, methilparation, Romel, clorpirifos y disulfoton, fueron cuantificados mediante estándar interno: organophosphorous pest mix Supelco. El límite de detección estuvo en el rango de 3 a 5ug/L y los %R estuvieron por encima del 70%.

Índice de calidad del agua (ICA). El cálculo del ICA permite realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales (Soni & Thomas, 2014). Para la determinación del ICA, se empleó la ecuación de promedio aritmético ponderado, acorde con lo descrito por Sutadian *et al.* (2016):

$$ICA = \sum_{i=1}^9 Sub_i \cdot w_i$$

Donde: Sub_i. Sudíndice del parámetro i; W_i. Factor de ponderación para el Sudíndice i. Los valores de calidad se calcularon a partir de nueve parámetros establecidos por la National Sanitation Foundation – NSF de Estados Unidos (Fontalvo Julio & Tamaris-Turizo, 2018), con factores de ponderación, dentro de la puntuación total del índice: OD, 0,17; CF, 0,15; pH, 0,12; Δ T, 0,10; DBO₅, 0,10; NO₃⁻, 0,10; PO₄³⁻, 0,10; Turb, 0,08; ST, 0,08. Los resultados, se interpretaron en función de la categorización: Nivel I (calidad excelente 91-100); Nivel II (calidad buena 71-90); Nivel III (calidad media 51-70); Nivel IV (calidad mala 26-50); Nivel V (calidad muy mala 0-25) (Gil-Marín *et al.* 2018; Pradana Pérez *et al.* 2019).

Análisis estadístico. Los resultados para cada muestra, se calcularon como la media de las determinaciones por triplicado. Se utilizó la prueba Tukey, para evaluar si había diferencias significativas entre las concentraciones promedio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos entre periodos de muestreo. Para identificar relaciones significativas y origen común entre parámetros, se realizó un análisis de Pearson, componentes principales (ACP) y conglomerados. El análisis estadístico, se efectuó con SPSS v23.0.0.0, utilizando, como criterio de significancia, $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra la concentración promedio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por estaciones y periodos de muestreo. En general, para las diferentes estaciones no se presenta variabilidad espacial y diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$); no obstante, al comparar las estaciones de perímetro urbano (E3, E4, E5) y suburbanas (E1, E2, E6), se observa que los parámetros presentaron mayores concentraciones en las estaciones ubicadas en el área de predominio de la zona urbana, caracterizadas por la influencia de actividades antrópicas, como son vertimiento de aguas residuales domésticas, residuos sólidos, ganadería porcina y minería de arena.

En cuanto a los periodos de muestreo, las concentraciones promedio de los parámetros en el periodo húmedo, fueron mayores con respecto a las obtenidas en la época seca, excepto la DQO y el NO₃⁻, que no mostraron diferencia estadísticamente significativa entre los periodos de muestreo. La temperatura, pH y el OD, se encuentran dentro del rango óptimo para el desarrollo de la biota acuática (MADS, 2015; Gualdrón Durán, 2016). Independientemente del periodo de muestreo, los resultados de DQO $> 5\text{mgO}_2/\text{L}$ indican contaminación en el recurso hídrico (Restrepo Mejía & Tobón Mejía, 2002); sin embargo, las variaciones del parámetro DBO₅ vs DQO entre periodos de muestreo son características de baja contaminación orgánica, indicando la presencia de sustancias inorgánicas, que incrementan los resultados de DQO en época seca, mientras que, en época húmeda, el aporte de condiciones anóxicas o cargas de material orgánico pueden causar incrementos en estos parámetros (Torres *et al.* 2010); no obstante, la rápida capacidad de oxigenación y asimilación de la materia orgánica por la corriente del recurso hídrico en el periodo húmedo, se refleja en los valores de OD ($> 5,0\text{mg}/\text{L}$) y parámetros, como NO₃⁻ y PO₄³⁻, que presentaron valores $< 0,5\text{mg}/\text{L}$, indicando que el recurso hídrico no demuestra procesos de eutrofización, independientemente de las diferentes fuentes antropogénicas de contaminación (Antonio Paiba & Monroy Ávila, 2015). A diferencia, los coliformes totales, fecales y la turbidez, constituyen un problema de contaminación del recurso, al superar los límites permisibles para actividades de riego y consumo (MPS-MAVDT, 2007; MADS, 2015; Morales-Durán *et al.* 2018). Lo anterior representa riesgo potencial en la salud humana y ambiental por la utilización del recurso, con mayor impacto en el periodo húmedo, donde las concentraciones de coliformes totales y fecales superan, en promedio, ocho veces el valor obtenido en época seca y la turbidez, en promedio, supera en una relación de 96 veces, relacionado con las concentraciones de ST, en época

Tabla 1. Concentración promedio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en función de estaciones y periodos de muestreo en la microcuenca quebrada Jui.

Variable/ Estación	Periodo seco							Periodo Húmedo						
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Media	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Media
T °C	29,7	30,7	30,8	32,0	32,6	33,2	31,5 ^a	26,9	28,6	28,9	29,7	29,9	31,1	29,2 ^b
Turb NTU	1,3	0,3	0,3	1,0	0,3	0,3	0,6 ^a	61,2	56,0	63,0	62,0	59,0	45,0	57,7 ^b
ST mg/L	168,7	170,0	169,3	180,7	175,3	171,3	172,6 ^a	129,3	124,7	124,0	132,7	141,3	139,3	131,9 ^b
pH Und	8,0	8,0	7,8	8,0	7,9	8,1	8,0 ^a	7,0	7,1	6,9	6,7	6,9	7,1	7,0 ^b
OD mg/L	7,3	6,7	6,3	6,7	6,7	6,7	6,7 ^a	7,0	7,3	9,3	8,6	8,7	8,7	8,3 ^b
DQO mgO ₂ /L	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	12,3	6,8 ^a	5,7	5,7	22,8	19,5	19,5	5,7	13,1 ^a
DBO ₅ mgO ₂ /L	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,5	1,4 ^a	2,8	4,5	4,2	10,5	9,8	2,9	5,8 ^b
NO ₃ ⁻ mg/L	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10 ^a	0,10	0,10	0,50	0,40	0,40	0,10	0,27 ^a
PO ₄ ³⁻ mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08 ^a	0,08	0,13	0,15	0,14	0,13	0,08	0,12 ^b
CT NMP/100ml	563	421	498	633	724	583	570 ^a	8,920	6,290	2,750	4,900	1,520	7,760	5,357 ^b
CF NMP/100ml	214	175	245	301	344	266	258 ^a	2,420	2,090	1,034	1,420	1,190	1,420	1,596 ^b

Medias con diferentes letras indican diferencia significativa entre periodos de muestreo ($p < 0,05$).

húmeda, extracción de arena y erosión, en el caso de la turbidez; actividades ganaderas, agrícolas y vertimiento de aguas residuales, para coliformes totales y fecales (Mora & Calvo, 2010; Gualdrón Durán, 2016; Martínez Santos, 2018; González-Dávila *et al.* 2019).

Cabe resaltar, que la zona de estudio presenta actividades agrícolas que pueden generar contaminación, por la aplicación de plaguicidas que, al presente, están prohibidos, asociados desde el manejo inadecuado de los mismos, sus empaques, tipos de plaguicidas y aplicación, los cuales, por escorrentía, pueden llegar a ecosistemas acuáticos (CVS, 2006); sin embargo, los plaguicidas analizados presentaron resultados por debajo del límite de detección del método, debido a su rápida absorción por sedimentos, fenómeno de dilución, solubilidad y descomposición (Rice *et al.* 2002; Usma Rios *et al.* 2008). Además, adsorción de partículas en superficie del suelo, volatilización, hidrólisis, condiciones físico-químicas del medio, pH, materia orgánica, potencial redox, humedad y estructura molecular, que influyen en la retención de este tipo de contaminantes en otras matrices ambientales, impidiendo su ingreso a ecosistemas acuáticos (Cavanagh *et al.* 1999; Sweetman *et al.* 2005; Lewis *et al.* 2016). A pesar de no encontrar en este estudio niveles de plaguicidas, existen reportes de contaminación que reflejan la persistencia de estos contaminantes y procesos de bioacumulación; por ejemplo, el estudio realizado por Racero Casarrubia *et al.* (2021) reportaron contaminación por plaguicidas organoclorados en mamíferos en zonas de influencia al área de estudio; Marrugo-Negrete *et al.* (2014) indicaron concentración de estos contaminantes en suelos agrícolas en la cuenca media y baja del río Sinú, demostrando que, a pesar de ser prohibidos, aún se presentan en suelos agrícolas y debido a su persistencia son bioacumulados y biomagnificados en la red trófica.

En general, los resultados de plaguicidas son similares (<LDM) a los reportados, a nivel nacional, en el río Otún, Risaralda (Usma Rios *et al.* 2008) y la parte baja del río Córdoba, Magdalena (Fontalvo

Julio & Tamaris-Turizo, 2018) e inferiores a los reportados por Lans *et al.* (2008), en la cuenca del río Sinú, donde se detectaron concentraciones de α -BCH (0,112 μ g/L), β -BCH (0,5861 μ g/L), γ -BCH (0,115 μ g/L), Aldrín (0,280 μ g/L) y Heptacloro-epóxido (0,549 μ g/L), por encima del límite admisible de 0,1 μ g/L, acorde con la normatividad colombiana para agua potable, según Decreto 1076 de 2015 y Resolución 2115 de 2007 (MPS-MAVDT, 2007; MADS, 2015).

Índice de calidad de aguas (ICA). La figura 3 muestra la clasificación de la calidad del agua de la quebrada Jui. Los resultados del ICA, se presentaron entre 66,7 – 79,0 (promedio: 74,1), indicando que la calidad del agua es de nivel II (agua de buena calidad). En el periodo seco, todas las estaciones mostraron calidad de agua II y en el periodo húmedo, todas las estaciones, con excepción de E4 y E5, también fueron de buena calidad; la disminución en la calidad de estas dos estaciones, se debe al aporte de coliformes fecales y turbidez. En general, las estaciones que se encuentran fuera del perímetro urbano (E1, E2, E6) presentan calidad buena, a diferencia de las estaciones cercanas a la zona urbana (E3, E4, E5), donde la calidad del agua fue media (excepto E3, donde se registra disminución de actividad antropogénica). Lo anterior, se encuentra acorde con los resultados de análisis de clúster por agrupación de estaciones (Figura 2b), donde el primer grupo se relaciona a estaciones ubicadas en zonas con baja densidad poblacional (E1, E2, E6) y con características de buena calidad del agua, para los diferentes periodos climáticos. El segundo grupo, se asocia a estaciones dentro del perímetro urbano (E3, E4, E5), con registro de cambios de calidad buena a media entre el periodo seco y húmedo. Cabe resaltar, el comportamiento de la calidad del agua en la estación E6, a pesar de estar influenciada por el vertimiento de aguas residuales de la laguna de estabilización del municipio, que presenta calidad buena, independiente del periodo de muestreo, indicando que los procesos de autodepuración ambiental aún son eficientes.

Además, la disminución en la calidad del agua de las estaciones E4 y E5 está relacionada con actividades antrópicas, como explotación de arena en la ribera, vertimiento de aguas residuales y excretas provenientes de la ganaderías porcinas, ubicadas en el perímetro de la ronda hídrica, las cuales, en su gran mayoría, no disponen de sistemas de alcantarillado (PDM, 2020). Fontalvo Julio & Tamaris-Turizo (2018) reportaron que los cambios presentados de calidad

de agua en sistemas lóticos están influenciados por la variabilidad climática mas no por las actividades antrópicas desarrolladas por los centros poblados, asociado a la capacidad de autodepuración de las fuentes, lo cual, se refleja en la zona de estudio, al presentar, para la mayoría de las estaciones, características de calidad buena, independiente de las diferentes fuentes antrópicas.

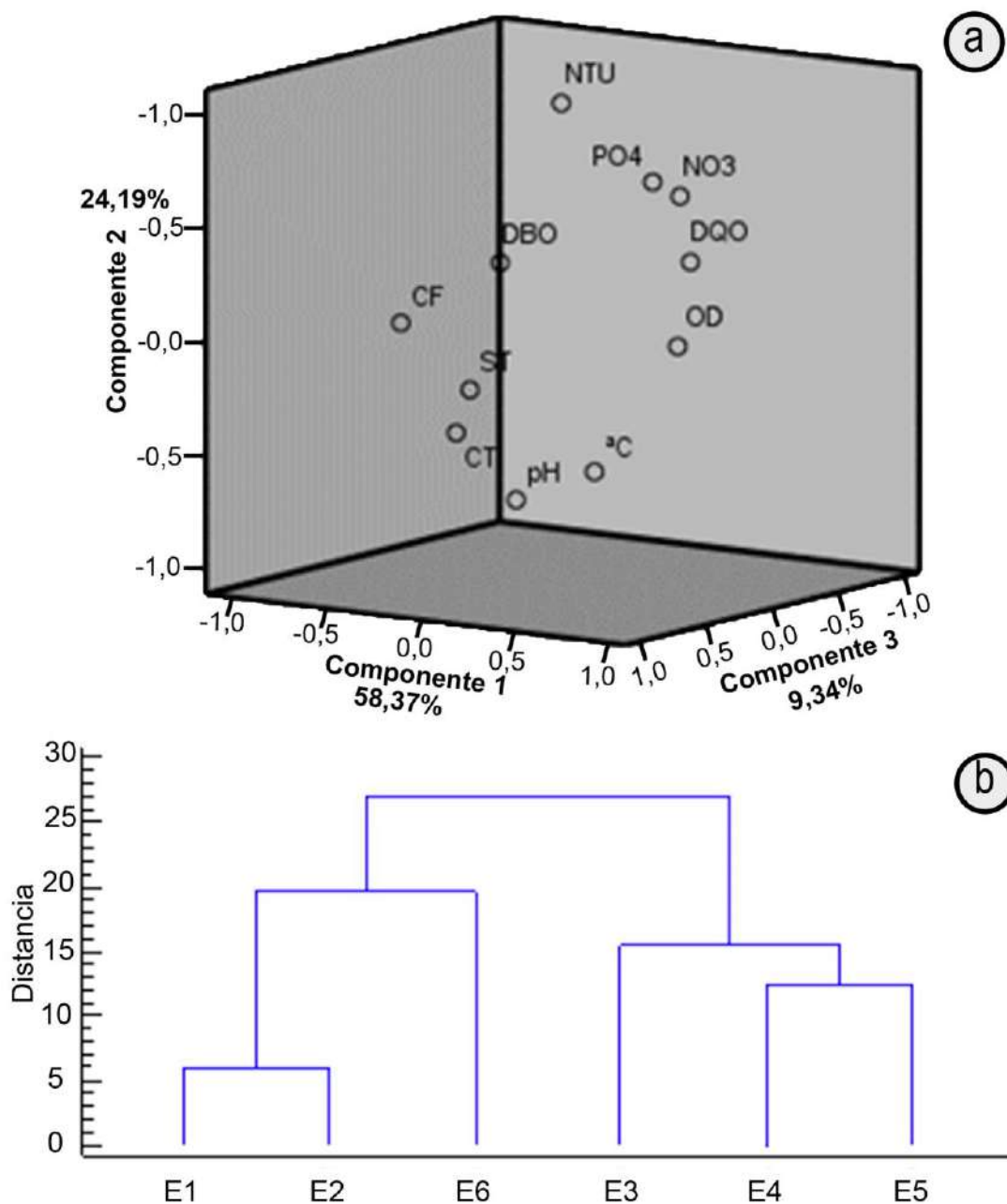


Figura 2. Métodos de agrupamiento: a. Análisis de componentes principales de los parámetros; b. Dendrograma estaciones de muestreo (Método de promedio de grupo, euclidiana cuadrada).

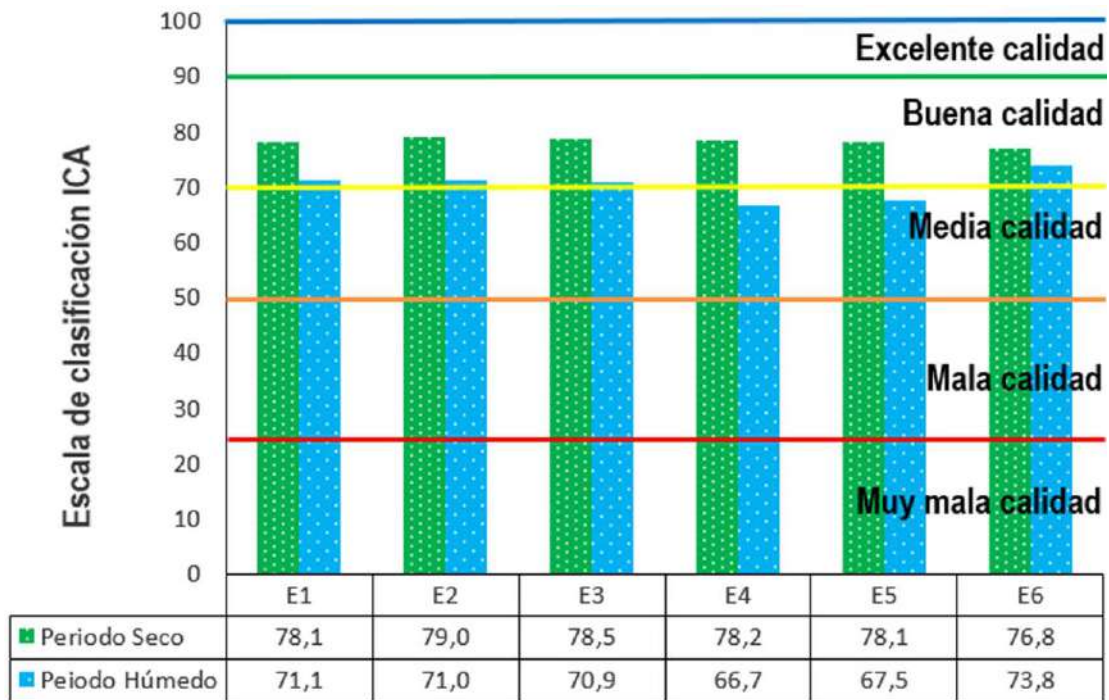


Figura 3. Resultados del ICA en función de las estaciones y periodos de muestreo en la cuenca baja de la quebrada Jui.

Los niveles de clasificación de la calidad del agua fueron similares a los reportes, en el río Otún, en el departamento de Risaralda (Usma Rios *et al.* 2008); la quebrada La Ayurá, en Antioquia (González Meléndez *et al.* 2013); cuenca baja del río Córdoba, en Magdalena (Fontalvo Julio & Tamaris-Turizo, 2018) y quebrada Mamarramos, en Boyacá (Cerón-Vivas *et al.* 2019). Además, fueron superiores a los reportados en la presa la Boquilla, en Chihuahua-México (Rubio Arias *et al.* 2014) y cuenca del Lago Taihu-China (Wu *et al.* 2018). Lo anterior confirma, que el ICA es una herramienta para calcular el potencial de contaminación y clasificar la calidad del agua de manera comprensiva, evidenciando que los cuerpos de agua se encuentran bajo algún grado de contaminación, por materia orgánica, nutrientes y microorganismos (Gil-Marín *et al.* 2018; Hernández Vargas *et al.* 2020).

El análisis de componentes principales (ACP) conduce a una reducción de la dimensión inicial del conjunto de datos a tres componentes, que explican el 92,5% de la variación total (Figura 2a). El primer componente principal (CP1) explicó 58,37% de la variabilidad total de los datos; las variables de mayor aporte fueron NO_3^- , OD y DQO, relacionado con una fuente antropogénica común, en este caso, aguas residuales domésticas, cuyos contenidos orgánicos e inorgánicos reflejan la estrecha relación de las variables del CP1 con el comportamiento químico del agua en procesos de oxidación por nutrientes; no obstante, al presentar correlaciones significativas con PO_4^{3-} , CT y CF (Tabla 2), se asocia a una fuente antropogénica mixta: escorrentía agrícola, aguas residuales domésticas y excretas del ganado porcino, provenientes del uso de fertilizantes en cultivos, descargas domésticas y materia fecal del ganado porcino. La correlación altamente significativa entre DQO y NO_3^- , revela que la fuente antropogénica de mayor incidencia son

las aguas residuales domésticas, asociados a los centros poblados que realizan vertimientos directos a la fuente hídrica. El segundo componente principal (CP2) está relacionado con PO_4^{3-} y Turb, representando el 24,19% de la variación total; se explica como una fuente antropogénica mixta: escorrentía agrícola y erosión. El uso de fertilizantes fosfatados en los cultivos y la deforestación de la ribera influyen en la presencia de PO_4^{3-} y Turb; sin embargo, la no correlación de la Turb con las diferentes variables evaluadas (Tabla 2), sugiere que la fuente de mayor aporte es la erosión, asociada a la minería de arena y deforestación. El tercer componente principal (CP3) explicó el 9,94% y está relacionado con ST y DBO₅. El CP3 deriva de una fuente antropogénica común, como aguas residuales domésticas. Los CT y CF presentan comportamiento atípico; las cargas moderadas en cada uno de los componentes sugieren la mezcla de diferentes fuentes antropogénicas.

Este estudio permite concluir, que la quebrada Jui presenta ICA con valores de calidad buena, asociados a las bajas concentraciones de parámetros evaluados y la alta capacidad de autodepuración; sin embargo, el análisis multivariado evidenció que las aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, excretas del ganado porcino y minería de arena, son las principales amenazas, que generan efectos negativos en la calidad de sus aguas, en función del tiempo, razón por lo cual, se recomienda implementar programas de monitoreo a diferentes niveles cronológicos y geográficos, así como implementar estudios en la matriz sedimentos, peces, suelos y cultivos, para conocer si las actividades agrícolas desarrolladas en el pasado con la aplicación de plaguicidas prohibidos, actualmente, persisten o se han presentado procesos de bioacumulación y biomagnificación, en función del tiempo, como lo muestra el estudio realizado por Racero Casarrubia *et al.* (2021), en área de influencia a la zona de estudio.

Tabla 2. Matriz de correlación de Pearson para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la microcuenca de la quebrada Jui.

	T	CF	CT	DBO	DQO	NO ₃ ⁻	TURB	OD	pH	PO ₄ ³⁻	ST
T	1	-0,67	-0,30	0,50	0,46	0,18	-0,64	0,65	0,03	0,06	0,74
CF		1	0,77	-0,44	-0,92*	-0,78	0,06	-0,89*	0,52	-0,56	-0,34
CT			1	-0,61	-0,82*	-0,87*	-0,37	-0,55	0,72	-0,78	-0,24
DBO				1	0,60	0,58	0,25	0,46	-0,61	0,56	0,78
DQO					1	0,95**	0,30	0,90*	-0,81	0,68	0,38
NO ₃ ⁻						1	0,57	0,72	-0,91*	0,81*	0,20
TURB							1	-0,02	-0,75	0,57	-0,25
OD								1	-0,60	0,32	0,53
pH									1	-0,65	-0,27
PO ₄ ³⁻										1	-0,02
ST											1

*correlación significativa con nivel de probabilidad 0,05.

**correlación altamente significativa con nivel de probabilidad 0,01.

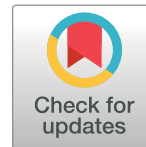
Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. La financiación de la investigación fue de recursos propios de los investigadores.

REFERENCIAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, APHA. 2017. Standards Methods for examination of water and wastewater, 23rd edition. USA. 956p.
2. ANTONIO PAIBA, A.O.; MONROY ÁVILA, E.F. 2015. Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia. Rev. Investig. Agrar. Ambient. 6(1):169-183.
3. CAVANAGH, J.E.; BURNS, K.A.; BURNSKILL, G.J.; COVENTRY, R.J. 1999. Organochlorine pesticide residues in soils and sediments of the Herbert and Burdekin River regions. North Queensland-implications for contamination of the Great Barrier Reef. Marine Pollution Bulletin. 39:367-375.
[https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00058-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00058-2)
4. CERÓN-VIVAS, A.; GAMARRA, Y.; VILLAMIZAR, M.; RESTREPO, R.; ARENAS, R. 2019. Calidad de agua de la quebrada Mamarramos. Santuario de Flora y Fauna Iguaque, Colombia. Tecnología y Ciencias del Agua (México). 10(6):90-116.
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-04>
5. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINÚ Y SAN JORGE, CVS. 2006. Plan de ordenación forestal-cerro Murrucucu, cuenca de la Quebrada Jui: Caracterización física. Ed. Universidad Nacional, sede Medellín (Colombia). 120p.
6. FERIA, J.J.; MARRUGO, J.L.; GONZÁLEZ, H. 2010. Heavy metals in Sinú River, department of Córdoba, Colombia, South America. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia. 55:35-44.
7. FONTALVO JULIO, F.A.; TAMARIS-TURIZO, C.E. 2018. Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF. Intropica. 13(2):101-111.
<http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2510>
8. GIL-MARÍN, J.A.; VIZCAINO, C.; MONTAÑO-MATA, N.J. 2018. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. Anales Científicos (Perú). 79(1):111-119.
<http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>
9. GONZÁLEZ-DÁVILA, R.P.; VENTURA-HOULE, R.; DE LA GARZA-REQUENA, F.R.; HEYER-RODRÍGUEZ, L. 2019. Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas-México. Tecnología y Ciencias del Agua. 10(1):1-28.
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-01>
10. GONZÁLEZ MELÉNDEZ, V.; CAICEDO QUINTERO, O.; AGUIRRE RAMIREZ, N. 2013. Aplicación de los

- índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada la Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*. 16(1):97-108.
11. GUALDRÓN DURÁN, L.E. 2016. Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*. 1:83-102.
<https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
 12. HERNÁNDEZ VARGAS, O.; MANCILLA VILLA, O.R.; PALOMERA GARCÍA, C.; OLGUÍN LÓPEZ, J.L.; FLÓRES MAGDALENO, H.; CAN CHULIM, A.; ORTEGA ESCOBAR, H.M.; SÁNCHEZ BERNAL, E.I. 2020. Evaluación de la calidad del agua y de la ribera en dos cuencas tributarias del río Tuxcacuesco, Jalisco, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 36(3):689-701.
<https://doi.org/10.20937/RICA.53595>
 13. HOYOS CHAVERRA, M.A.; RODRÍGUEZ BARRIENTOS, D.A.; TORRES QUINTERO, J.E. 2018. Evaluación del recurso hídrico superficial en la subcuenca hidrográfica del río frío en el departamento de Cundinamarca: oferta, demanda y calidad del agua. *Rev. Investig. Agrar. Ambient. (Colombia)*. 9(1):128-136.
<https://doi.org/10.22490/21456453.2075>
 14. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2018. Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua. Disponible desde Internet en:
http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla_ENA_%202018.pdf (con acceso el 23/06/2020).
 15. LANS, E.; MARRUGO, J.L.; DÍAZ, B. 2008. Estudio de la contaminación por pesticidas organoclorados en aguas de la ciénaga grande del valle bajo del río Sinú. *Temas Agrarios*. 13(1):49-56.
 16. LEWIS, S.E.; SILBURN, D.M.; KOOKANA, R.S.; SHAW, M. 2016. Pesticide behavior, fate, and effects in the tropics: an overview of the current state of knowledge. *J. Agric. Food Chem.* 64(20):3917-3924.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01320>
 17. MARRUGO-NEGRETE, J.; PINEDO-HERNÁNDEZ, J.; DÍEZ, S. 2017. Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinu River Basin, Colombia. *Environmental Research*. 154:380-388.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.021>
 18. MARRUGO-NEGRETE, J.L.; NAVARRO-FRÓMETA, A.E.; URANGO-CARDENAS, I.D. 2014. Organochlorine Pesticides in Soils from the Middle and Lower Sinú River Basin (Córdoba, Colombia). *Air Soil Pollut.* 225.No.2053.
<https://doi.org/10.1007/s11270-014-2053-3>
 19. MARTÍNEZ SANTOS, P. 2018. *Hidrogeología: principios y aplicaciones*. Ed. McGraw-Hill (España). 362p.
 20. MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1974. Resolución 447 de 1974. Disponible desde Internet en:
<https://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a-e55f0b5b42dc/plaguicidas-prohibidos.aspx> (con acceso el 23/11/2020).
 21. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, MAVDT. 2004. Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia. Disponible desde Internet en:
www.minvivienda.gov.co/ViceministerioAgua/plan (con acceso el 13/06/2020).
 22. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, MAVDT. 2010. Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico. Disponible desde Internet en:
http://www.minambiente.gov.co/libro_pol_nal_rec_hidrico (con acceso el 13/06/2020).
 23. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MADS. 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1076 de 2015. Disponible desde Internet en:
<http://www.corporacion.gov.co/NORMATIVIDAD/decreto1076> (con acceso el 26/06/2020).
 24. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, MPS-MAVDT. 2007. Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Resolución 2115 de 2007. Disponible desde Internet en:
http://www.minambiente.gov.co/pdf/Legislación_del_agua (con acceso el 26/06/2020).
 25. MORA, J.; CALVO, G. 2010. Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha (Costa Rica)*. 23(5):34-40.
 26. MORALES-DURÁN, N.; DE LA TORRE-GONZÁLEZ, A.; GARCÍA-SÁNCHEZ, V.; CHÁVEZ, C. 2018. Estudio de la calidad bacteriológica y parámetros fisicoquímicos del agua del Distrito de Riego 023. *Tecnología y Ciencias del Agua (México)*. 9(1):53-67.
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-01-04>

27. ORTIZ-ROMERO, L.T.; DELGADO-TASCÓN, J.G.; PARDO-RODRÍGUEZ, D.A.; MURILLO-PEREA, E.; GUIO DUQUE, A.J. 2015. Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena – tramo Tolima, Colombia. *Tumbaga*. 2(10):43-60.
28. PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL, PDM. 2020. Plan de Desarrollo 2020 – 2023. Paz, Desarrollo y Buen Gobierno del Municipio de Tierralta, Departamento de Córdoba. Disponible desde Internet en: [http://tierraltacordoba.gov.co/Transparencia/Plan%20de%20Desarrollo%2020202023/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%20\(TIERRALTA\)%202020%20-%202023.pdf](http://tierraltacordoba.gov.co/Transparencia/Plan%20de%20Desarrollo%2020202023/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%20(TIERRALTA)%202020%20-%202023.pdf) (con acceso el 10/08/2020).
29. PRADANA PÉREZ, J.A.; GARCÍA AVILÉZ, J.; GALLEGO PICÓ, A.; BRAVO YAGÜE, J.C.; GARCÍA MAYOR, M.A.; PANIAGUA GONZÁLEZ, G. 2019. Criterios de calidad y gestión del agua potable. Ed. UNED, U. Nacional de Educación a Distancia (España). 480p.
30. RACERO CASARRUBIA, J.A.; BALLESTEROS CORREA, J.; MARRUGO-NEGRETE, J.; PINEDO-HERNÁNDEZ, J.J. 2021. Plaguicidas organoclorados en murciélagos (Chiroptera) asociados al bosque húmedo tropical en Córdoba, Colombia. *Caldasia*. 43(2): Versión de impresión. <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v43n2.84862>
31. RESTREPO MEJÍA, A.P.; TOBÓN MEJÍA, O.L. 2002. Manual de calidad de aguas. Escuela de Ingeniería de Antioquia: Facultad de Ingeniería Ambiental. Medellín, Colombia.
32. RICE, C.P.; NOCHETTO, C.B.; ZARA, P. 2002. Volatilization of trifluralin, atrazine, metolachlor, chlorpyrifos, a-endosulfan and β -endosulfan from freshly tilled soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(14):4009-4017. <https://doi.org/10.1021/jf011571t>
33. RUBIO ARIAS, H.O.; ORTÍZ DELGADO, R.C.; QUINTANA MARTÍNEZ, R.M.; SAUCEDO TERÁN, R.A.; OCHOA RIVERO, J.M.; REY BURCIAGA, N.I. 2014. Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la Boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 1(2):139-150.
34. SHARMA, A.; SHUKLA, A.; ATTRI, K.; KUMAR, M.; KUMAR, P.; SUTTEE, A.; SINGH, G.; BARNWAL, R.P.; SINGLA, N. 2020. Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives. *Ecotoxicology and Environmental Safety* (United States). 201:110-812. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110812>
35. SISTEMA DE SELECCIÓN DE BENEFICIARIOS PARA PROGRAMAS SOCIALES, SISBEN. 2009. Censo Municipio de Tierralta, Córdoba.
36. SONI, H.B.; THOMAS, S. 2014. Assessment of surface water quality in relation to water quality index of tropical lentic environment, Central Gujarat, India. *Internal J. Environment*. 3(1):168-176.
37. SUTADIAN, A.D.; MUTTIL, N.; YILMAZ, A.G.; PERERA, B.J.C. 2016. Development of river water quality indices - a review. *Environmental Monitoring and Assessment* (Netherlands). 188(58):1-33. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>
38. SVINGEN, T.; CHRISTIANSEN, S.; TAXVIG, C.; VINGGAARD, A.M. 2018. Pesticides. En: Skinner, M.K. (ed). *Encyclopedia of Reproduction*. Ed. Academic Press (United States). p.624-628.
39. SWEETMAN, A.J.; VALLE, M.D.; PREVEDOUROS, K.; JONES, K.C. 2005. The role of soil organic carbon in the global cycling of persistent organic pollutants (POPs): interpreting and modelling field data. *Chemosphere*. 60(7):959-972. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.074>
40. TORRES, P.; CRUZ, C.H.; PATIÑO, P.; ESCOBAR, J.C.; PÉREZ, A. 2010. Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación* (Colombia). 30(3):86-95.
41. TOSIC, M.; RESTREPO, J.D.; LONIN, S.; IZQUIERDO, A.; MARTINS, F. 2019. Water and sediment quality in Cartagena Bay, Colombia: Seasonal variability and potential impacts of pollution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (Netherlands). 216:187-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.08.013>
42. USMA RIOS, J.M.; VILLEGAS ZULUAGA, C.M.; ARRUBLA VÉLEZ, J.P. 2008. Evaluación del grado de contaminación por pesticidas organoclorados del Río Otún, mediante GC-MS. *Scientia Et Technica* (Colombia). 14(40):234-239.
43. WU, Z.; WANG, X.; CHEN, Y.; CAI, Y.; DENG, J. 2018. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of The Total Environment* (Netherlands). 612:914-922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.293>



Gestión de llantas usadas en la ciudad de Tunja, Boyacá (Colombia)

Management of used tires in the city of Tunja, Boyacá (Colombia)

Andrea Angélica Bernal-Figueroa¹; Zulma Edelmira Rocha-Gil²; Jenny Tatiana Medina-Moreno³; Yenny Casas-Martínez⁴; Leidy Paola Buitrago-Ramírez⁵

¹Bióloga, M.Sc. Universidad de Boyacá. Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: aabernal@uniboyaca.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9024-5666>

²Bióloga, Esp., M.Sc. Universidad de Boyacá. Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: zerocha@uniboyaca.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-8331-4707>

³Ing. Ambiental, Esp., Estudiante de Maestría. Universidad de Boyacá. Tunja - Boyacá, Colombia; email: jtmedina@uniboyaca.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-0943-4919>

⁴Ing. Ambiental. Universidad de Boyacá. Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: ydcasas@uniboyaca.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1675-7222>

⁵Ing. Ambiental. Universidad de Boyacá. Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: lpbuitrago@uniboyaca.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-5456-259X>

Cómo citar: Bernal-Figueroa, A.A.; Rocha-Gil, Z.E.; Medina-Moreno, J.T.; Casas-Martínez Y.; Buitrago-Ramírez, L.P. 2021. Gestión de llantas usadas en la ciudad de Tunja, Boyacá (Colombia). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1627. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1627>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: julio 3 de 2020 **Aceptado:** abril 24 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Millones de llantas se producen anualmente para satisfacer la demanda mundial, asociada al incremento en la generación de llantas usadas. Su manejo es un desafío, considerando que la disposición en rellenos sanitarios ya no está permitida en algunos países, incluyendo Colombia, entre otras razones, por su alta resistencia biológica y química a la degradación, por lo cual, su inadecuado manejo y la falta de mecanismos de gestión, genera impactos negativos en la salud y el ambiente. Se realizó un estudio sobre la gestión de llantas usadas en Tunja, Boyacá (Colombia), con el fin de indagar aspectos relacionados con su disposición y manejo, al igual que sobre el conocimiento de programas posconsumo, aprovechamiento y cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. Para la recolección de información primaria, se aplicaron encuestas estructuradas, a empresas registradas ante la Cámara de

Comercio del municipio, que efectuaran actividades relacionadas con la generación de llantas usadas, tales como servitecas, talleres de mecánica o montallantas. El estudio mostró que los mayores generadores de este residuo son los montallantas, con una media entre 20 y 40 unidades mensuales, en mayor porcentaje de Rines 13 y 14, esto indicaría una proyección de 360 llantas anualmente por establecimiento, sin considerar los sitios no legalmente registrados. De manera general, para el avance en la gestión de llantas usadas en Tunja, se recomienda el desarrollo de alternativas, de manera articulada, entre los diferentes actores directamente involucrados, tales como productores, gestores, distribuidores y comercializadores, consumidores y autoridades ambientales regionales y municipales.

Palabras clave: Recolección; Aprovechamiento; Disposición; Neumático de desecho; Neumático fuera de uso.

ABSTRACT

Millions of tires are produced annually to satisfy the world demand, which is associated with an increase in the generation of used tire. Their management is a challenge considering that disposal in sanitary landfills is not allowed in some countries, including Colombia, due to their high biological and chemical resistance to degradation; therefore, their inadequate handling and the lack of management mechanisms generate negative impacts on health and the environment. A study was conducted on the management of used tires in Tunja, Boyacá (Colombia), to inquire aspects related to their disposal and management in the city, as well as on the knowledge of post-consumer programs, use, and compliance with current environmental regulations. For the collection of primary information, structured surveys were applied to companies registered with the Chamber of Commerce of the municipality that carry out activities related to the generation of used tires, such as service shops, mechanic shops or tire repair shops. The study showed that the largest generators of this waste are tire assemblers, with an average of between 20 and 40 units per month, with a higher percentage of rims 13 and 14, which would indicate a projection of 360 tires annually per establishment, without considering the sites that are not legally registered. In general, for the progress in the management of used tires in Tunja, the development of alternatives is recommended in an articulated manner between the different actors directly involved, such as producers, managers, distributors and marketers, consumers, and regional and municipal environmental authorities.

Keywords: Collection; Recovery; Disposal; Waste tyre; End of life tire.

INTRODUCCIÓN

Alrededor de 2,9 mil millones de llantas se produjeron en 2017, para atender la demanda mundial (Machin *et al.* 2017). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency – EPA, por sus siglas en idioma inglés, 2010) menciona que tan solo en este país, en el 2003, había 275 millones de llantas acumuladas en apilamientos, además de los 290 millones más que se generaron. En México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) calcula que, anualmente, se generan cerca de 40 millones de llantas de desecho (EPA, 2010), razón suficiente para que exista un impulso global hacia la búsqueda de alternativas para el manejo efectivo de las mismas, una vez hayan cumplido su vida útil.

Son consideradas llantas usadas aquellas de todos los diámetros que han dejado de ser útiles, por haber perdido o disminuido las funciones principales, para las que fueron diseñadas; de igual forma, se categorizan, como residuos, las llantas incompletas o pedazos de ellas, que ya no tengan utilidad o que fueron reemplazadas, por considerarse inseguras o de desecho (SEMARNAT, 2012). Según cada país, puede representar un sinónimo de palabras, como neumático, rueda o caucho, entre otros, además de la alta variedad desarrollada por los diversos avances tecnológicos (Consejo de

la Unión Europea, 2020). Para el caso de estudio, se empleará el término “llanta”, adoptado por la normatividad colombiana (Resolución 1326 de 2017).

La eliminación de este residuo es, actualmente, un desafío, considerando que su disposición en rellenos sanitarios ya no está permitida en algunos países (Oboiriena & North, 2017), incluyendo Colombia (Resolución 1326 de 2017); dentro de algunas razones, por su alta resistencia biológica y química a la degradación, por tanto, el impacto negativo que generan al medio ambiente (Oboiriena & North, 2017; Casolco *et al.* 2013).

Aragón & Espitia (2017) mencionan que, por año, en Bogotá (Colombia), aproximadamente, 750 mil llantas desechadas terminan dispuestas en andenes, parques, humedales o residencias, lo que, además de las implicaciones estéticas y paisajísticas, generan otro tipo de problemas ambientales, relacionados con la proliferación de mosquitos y plagas y vectores de enfermedades, por el estancamiento de aguas en su interior. De igual forma, son quemadas a cielo abierto para obtener el acero, generando gran cantidad de partículas de monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) (Botero *et al.* 2008).

La EPA (2010) reporta que la quema de llantas emite tóxicos, como ácidos sulfúrico y nítrico, que afectan la salud humana o pueden llegar a generar contaminantes secundarios, por interacción con otras sustancias en la atmósfera. En otros casos, Aragón & Espitia (2017) mencionan que, en Bogotá, las llantas son destinadas en un 6,2%, para uso artesanal; 19,5%, para reencauche; 2,3%, como materia prima para la producción de pavimento asfáltico, caucho y alfombras y un 71,9%, para el aprovechamiento energético en hornos cementeros y termoeléctricas, requiriendo altos controles operacionales en sus chimeneas.

Es así como se evidencia la necesidad de implementar acciones tendientes a proteger el ambiente y la salud humana, por lo cual, el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), expidió la Resolución 1457 de 2010, por la cual se establecieron los Sistemas de Recolección Selectiva (SRS) y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptaron otras disposiciones, la cual, una vez realizada su evaluación técnica, fue derogada por la Resolución 1326 de 2017 para avanzar en el fortalecimiento de dichos sistemas (Resolución 1326 de 2017).

En este contexto, se realizó un estudio sobre la gestión de llantas usadas en Tunja, Boyacá (Colombia), con el fin de indagar aspectos relacionados con su disposición y manejo en la ciudad, al igual que sobre el conocimiento de programas posconsumo, aprovechamiento y cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio, se realizó en el municipio de Tunja, Boyacá (Colombia), ubicado a una altura promedio de 2.822m

s.n.m., con coordenadas 5°32'25" N y 73°21'41" O y una extensión aproximada de 121.49km². Para la identificación de la población objeto de estudio, se consultó a la Cámara de Comercio del municipio, acerca de los establecimientos legalmente constituidos que realizaran actividades relacionadas con la generación de este tipo de residuos, tales como servitecas, talleres de mecánica o montallantas.

Recolección de datos. Para la recolección de información primaria, se visitaron 34 establecimientos, correspondientes al 91,8% del total identificados, teniendo en cuenta que, a 29 de marzo de 2016, se encontraban 37 establecimientos registrados ante la Cámara de Comercio, de los cuales, 3 no participaron en el estudio. En cada establecimiento, se aplicó una encuesta estructurada con aspectos relacionados con las actividades que realizan: generación, disposición y manejo de llantas usadas y conocimiento de programas posconsumo y puntos de recolección, entre otros aspectos. De igual forma, se efectuó la consulta de fuentes secundarias relacionadas con la generación y manejo de llantas usadas, en los ámbitos nacional e internacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividades que realizan los establecimientos. Con referencia a las actividades económicas que realizan los establecimientos evaluados, se registró en mayor porcentaje los montallantas, seguido de entidades dedicadas a la venta de llantas (Figura 1A); estos

resultados son similares a los reportados por Fonseca & Mesa (2017), quienes también encontraron que, en esta ciudad, los montallantas son los establecimientos que, en mayor proporción, se dedican al desarrollo de actividades relacionadas con la generación de llantas usadas. Al respecto, la Resolución 1326 de 2017 establece que “los montallantas deberán entregar las llantas usadas en los puntos de recolección, o mecanismos equivalentes de recolección definidos por los SRS y Gestión Ambiental de llantas Usadas”, por lo tanto, es importante involucrar activamente a estos establecimientos, como determinantes en la cadena de gestión de este residuo en el municipio.

Generación de llantas usadas. De acuerdo con la información suministrada en cuanto a la generación de llantas usadas mensualmente, el porcentaje más alto se presentó entre 20 y 40 unidades y los más bajos, se registran para las opciones entre 40 y 60 o más de 60 unidades (Figura 1B). En este caso, esto indicaría un aproximado de 360 llantas anualmente por establecimiento, sin considerar los sitios no registrados ante la Cámara de Comercio de la ciudad, que no fueron contemplados en este estudio. Con referencia al tipo de llanta generada, los porcentajes más altos se obtuvieron para los rines 13 y 14, seguido de llantas de Bus y, en menores cantidades, de camión y camioneta (Figura 1C).

Las llantas de rines 13 y 14 son las que mayormente se generan, debido a que son las utilizadas para automóviles (Espinoza *et al.*

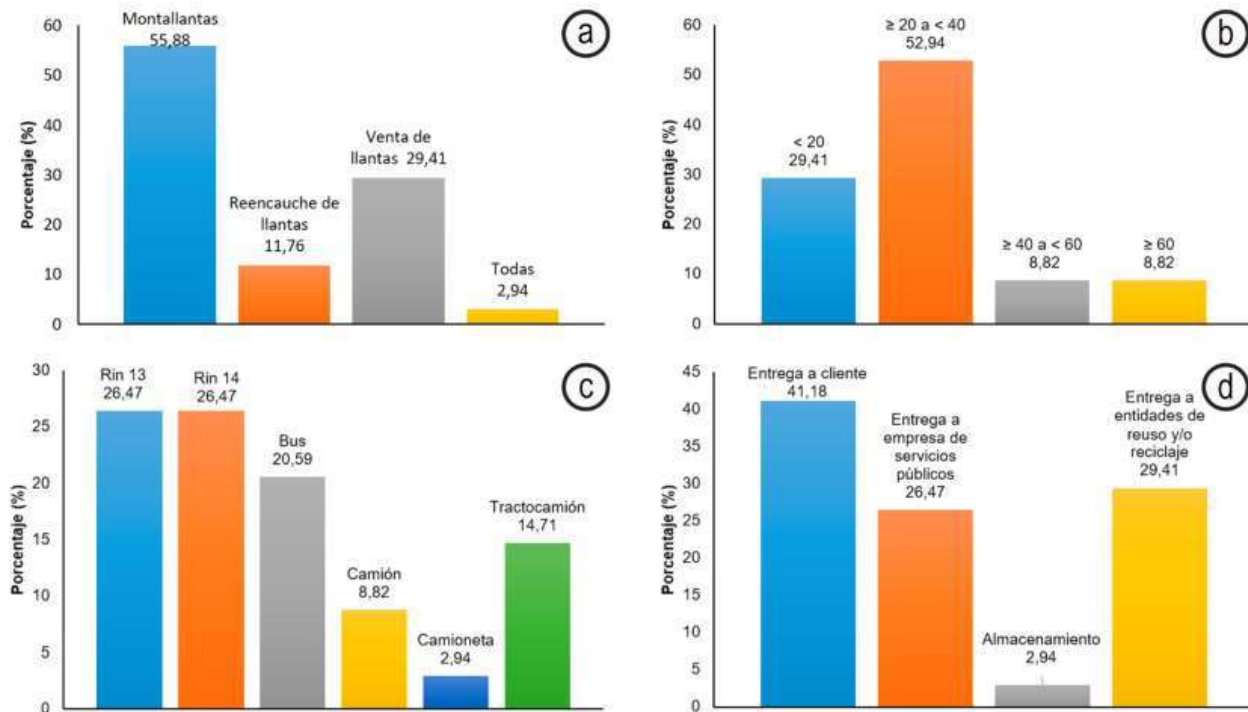


Figura 1. Resultados obtenidos de la aplicación de encuestas. a. Actividades económicas a las que se dedican los establecimientos; b. Promedio de llantas usadas generadas mensualmente en los establecimientos; c. Tipo de llantas que generan los establecimientos; d) Disposición de llantas usadas.

2020). Asimismo, el Decreto 0014 de 2019 emitido por la Alcaldía de Tunja, menciona un aumento en el registro del Parque automotor de la ciudad, donde la matrícula de vehículos de servicio particular alcanzó una tasa de crecimiento aproximada del 30%, entre el 2014 al 2017 (Decreto 0014, 2019), lo cual, de igual forma, está relacionado con una mayor generación de llantas usadas; sin embargo, como mencionan Fonseca & Mesa (2017), Tunja no cuenta con fuentes de información e indicadores exactos que establezcan la cantidad y tipo de llantas usadas dispuestas en sitios inadecuados.

Esta problemática no solo se evidencia en este municipio; la producción de llantas usadas registra un volumen creciente a nivel mundial (Casolco *et al.* 2013; Acosta *et al.* 2013; Oboiriena & North, 2017; Song *et al.* 2018). En el contexto nacional, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Resolución 1457, 2010), actualmente MADS, estimó que en Colombia se generan 61.000ton/año y en ciudades principales, como Bogotá, la apreciación es de 2,5 millones anuales (Aragón & Espitia, 2017) o en regiones, como el Valle de Aburrá (Antioquia), se reportó la generación de aproximadamente 1,3 millones, en 2007 (Botero *et al.* 2008).

A nivel internacional, la EPA menciona que durante las primeras etapas de la gestión de este residuo en Estados Unidos, se calculaba la existencia de más de 1.000 millones de llantas acumuladas en todo el territorio y en México, la SEMARNAT calculó la generación de, aproximadamente, 40 millones anuales (EPA, 2010), donde el cúmulo de llantas más grande se registró en 2008, en Ciudad Juárez, con más de 4 millones, por lo cual, manejar adecuadamente este residuo, se ha convertido en un desafío global (Song *et al.* 2018).

Disposición y manejo de las llantas usadas. De acuerdo con la información suministrada en cuanto a la disposición de llantas usadas, se encontró que la mayoría de establecimientos las entregan al cliente, seguido de la entrega a entidades para su reúso o reciclaje y un bajo porcentaje las almacena en su establecimiento (Figura 1D). Al respecto, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, ANLA (2021), resalta que se podrán emplear instrumentos de gestión para promover y lograr la devolución de las llantas usadas por parte de los consumidores, como, por ejemplo, descuentos en llantas nuevas por la devolución de las usadas; publicidad impresa; adhesivos en llantas nuevas o en facturas de venta; campañas educativas, que se podrían implementar en los establecimientos del municipio, para fomentar su recolección selectiva.

En este sentido, el informe de Gestión de la Alcaldía Mayor de Tunja (2019a) menciona que durante el periodo 2016 a 2019, se realizaron 6 jornadas de recolección de residuos especiales, que permitieron coleccionar 4,726 unidades de llantas y aunque estas iniciativas son positivas en la cadena de gestión, no contribuyen en la solución de la problemática relacionada con el inadecuado manejo y disposición de las llantas usadas, generadas en el municipio. De igual manera, no se cuenta con reportes o informes públicos acerca de la disposición que se está realizando a las llantas recolectadas, que permitan identificar posibilidades de gestión ambiental, de acuerdo con su caracterización u opciones para su manejo, disposición o aprovechamiento.

En la actualidad, en Tunja, capital del departamento, no se tienen gestores de llantas usadas ubicados en la misma ciudad, lo que limita que se promueva activamente su adecuada disposición. Al respecto, la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá, 2019), a pesar de tener 87 municipios del departamento bajo su jurisdicción, solo reporta dos empresas registradas como gestores: la “Renovadora de llantas Renoboy S.A”, que realiza actividades de reencauche y “Futuro Ambiental R&R S.A.S.”, dedicada al reciclaje de llantas, ubicadas en el municipio de Duitama (Boyacá) y, sobre las cuales, los distribuidores y los comercializadores no tienen conocimiento.

Conocimiento de programas posconsumo y puntos de recolección. Al indagar sobre el conocimiento de programas posconsumo, el 52,9% indicó conocerlos; al respecto, la Resolución 1326 de 2017, establece, como obligaciones de los distribuidores y los comercializadores, formar parte de los SRS, aceptar la devolución sin cargos para el consumidor, informar sobre los puntos de recolección, disponer de un espacio para la ubicación de estos puntos dentro de sus instalaciones y garantizar la seguridad de los mismos y diligenciar documentos para el control de las llantas que se recojan, entre otros aspectos, ante lo cual, se evidenció desconocimiento en los establecimientos evaluados y, por ende, inadecuada aplicación de la norma.

Con referencia a los puntos de recolección, solo el 58,8% manifestó identificarlos, aspecto que se debe fortalecer, considerando su importancia en la gestión del residuo; en este sentido, es significativo resaltar que los productores de las llantas que se comercializan en el país tienen la obligación de poner a disposición del público puntos de recolección que sean accesibles al consumidor, teniendo en cuenta, entre otros aspectos, el mercado y la densidad de la población, así como involucrar a los distribuidores y los comercializadores (Resolución 1326 de 2017). Al respecto, la EPA (2010) menciona que los establecimientos que se dedican a vender llantas al menudeo, pueden desempeñar un papel clave, siendo antes que faciliten el acceso a sitios de acopio o suministren información pertinente; asimismo, destaca la importancia de la difusión mediática, resaltando que la publicidad permite que la ciudadanía entienda mejor los programas propuestos y participe de manera más activa (EPA, 2010).

Por otra parte, en esta investigación, se identificó la necesidad no solamente de fortalecer la divulgación de los programas posconsumo, con fines de cumplir con la recolección selectiva en los establecimientos, sino también gestionar el fomento para el aprovechamiento de las llantas usadas en la ciudad, dado que no se cuenta con alternativas para la recuperación de materiales por medio de la reutilización, reciclaje o valorización energética, con propósitos de reincorporación en el ciclo económico y productivo, de acuerdo con lo reportado por parte de los establecimientos, consulta en la Cámara de Comercio y autoridades ambientales.

Sobre este aspecto, la gestión pública de llantas usadas en Bogotá modificó la conducta de los productores, quienes comenzaron a presentar los SRS y gestionar ambientalmente las llantas usadas, actividad que, antes del establecimiento de la política, no era realizada.

De igual forma, se generaron cambios en los comercializadores y los distribuidores de llantas, así como en constructores de obras públicas, quienes, a partir de la expedición de la Resolución 6981 de 2011, empezaron a utilizar el Grano de Caucho Reciclado (GCR) en las obras a desarrollar, cumpliendo con valores superiores a las metas establecidas por el Distrito.

En el contexto nacional, se conocen empresas, como Rueda Verde, siendo una de las principales entidades que desarrolla un sistema sostenible de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, quienes, a la fecha, cuentan con cobertura en 20 departamentos, 237 puntos de recolección y 1.382 usuarios institucionales o empresariales, entidad que ha recogido y gestionado más de 6'500.000 llantas, en menos de 4 años (Rueda Verde, 2017). Asimismo, Mundo Limpio es una organización ubicada en Rionegro (Antioquia), que presta sus servicios en todo el territorio nacional, con un enfoque hacia el aprovechamiento responsable de las llantas en desuso, de las cuales, se derivan subproductos, como caucho, acero y fibra, actividad, por la cual, gestionaron 9.000 toneladas de llantas usadas, en 2017 (Mundo Limpio, 2018).

De igual forma, la empresa Reciclaire, ubicada en Mosquera (Cundinamarca), fomenta la cultura de reciclaje y aprovechamiento de llantas, para producir gránulos de caucho, para uso en ingeniería civil, superficies de asfalto/carreteras, zonas de recreación, campos de atletismo y más (Reciclaire, 2014), por mencionar algunas de las empresas dedicadas al manejo y aprovechamiento de este residuo en el contexto nacional, con las cuales, se pueden suscribir acuerdos o motivar el acercamiento, como apoyo al manejo adecuado de las llantas desechadas en el municipio de Tunja.

Percepción acerca del aprovechamiento. Al indagar si considera que el reciclaje de llantas contribuye al cuidado del medio ambiente, el 97,1% indicó que sí, donde un 70,6% señala que favorece al mejoramiento del paisaje, eliminación de emisiones atmosféricas o disminución de riesgo de incendios; al respecto, existen múltiples investigaciones que promueven alternativas de aprovechamiento de llantas usadas, una vez han sido colectadas (Song *et al.* 2018; Oboiriena & North, 2017; Blanco *et al.* 2017; Peláez *et al.* 2017; Ospina & Villada, 2011).

Ortiz-Rodríguez *et al.* (2017) refieren que las opciones más posibles para la gestión y aprovechamiento de este residuo en Colombia son la reutilización, el reencauche, la incineración y la trituración, para generación de nuevos productos. Peláez *et al.* (2017) indican que para medianas y pequeñas empresas uno de los principales campos potenciales es utilizarlos como modificadores de pavimentos y concretos o la posibilidad de usarlos en sistemas de adsorción de contaminantes en medios acuosos, techos ecológicos y fabricación de celdas de combustible para generación de energía, aún en fase de investigación.

Ospina & Villada (2011) revisaron los métodos para caracterizar combustibles líquidos y gaseosos obtenidos de llantas en desuso; Marín (2012) indicó que pueden ser usadas para la producción de carbón activado de buena calidad, para remoción de contaminantes

en el agua; Acosta *et al.* (2013) indican que la pirólisis se ha planteado como uno de los procesos tecnológicos apropiados para el aprovechamiento y la valorización del caucho de llantas usadas y Mondelo *et al.* (2014) manifiestan que algunas de las opciones para su manejo son la regeneración del caucho, uso energético o fabricación de nuevos materiales.

En el contexto internacional, Dobrotă *et al.* (2020) proponen un método para mejorar las marcas en las llantas, de tal forma que se especifiquen los tipos de materiales empleados para su fabricación, con el fin de realizar una separación rápida de los mismos y simplificar su reciclaje; Duda & Siwowski (2020) evaluaron la presión sobre fardos rellenos de llantas; Gajendra *et al.* (2020) investigaron su uso como reemplazo parcial de agregados finos en mezclas de concreto en diferentes porcentajes; Pertunia *et al.* (2020) sintetizaron un compuesto magnético de quitosano y carbón activado a partir de llantas recicladas, como material adsorbente para eliminación de parabenos por adsorción en soluciones modelo y muestras de aguas residuales reales.

Pinto *et al.* (2020) realizaron la licuefacción directa de carbón y residuos de glicerol, polietileno y aceite de pirólisis de llantas de desecho, para disminuir la producción de hidrocarburos con impacto negativo al medio ambiente, donde encontraron que el aceite de pirólisis demostró ser un buen disolvente aportante de hidrógeno; Ren *et al.* (2020) estudiaron la generación de carbón derivado de llantas de desecho, a través de procesos de pirólisis y tratamientos de activación y Rodvalho *et al.* (2020) identificaron una mezcla litológica aplicable a carreteras que usan materiales gruesos en minas a cielo abierto, con el objetivo de aumentar la eficiencia de las llantas y reducir la generación de caucho de desecho. Aquí se destacan algunos, de los múltiples estudios que se han realizado para fomentar el aprovechamiento de este residuo en el contexto nacional y mundial.

Por otra parte, en este estudio, se encontró que las alternativas que identifican los establecimientos, como viables para el manejo de llantas usadas en la ciudad de Tunja, en mayor porcentaje, son el uso asfáltico, combustible, uso para grama sintética y fabricación de otros productos, que requieran caucho, respectivamente (Figura 2). En cuanto al potencial de mejora en su gestión, a través de la implementación de una planta de reciclaje en Tunja, el 88,2% indicó que realizaría la entrega para disposición, a nivel local. Finalmente, frente al indagar si estaría dispuesto a comprar productos que incorporen dentro de sus materiales llanta recicladas, el 82,4% indicó que sí y solo un 17,6%, no adquiriría estos productos.

Con lo anterior, se identifica la necesidad de realizar estudios de caracterización de las llantas usadas que se generan en la ciudad, con el fin de analizar alternativas, para su aprovechamiento y potenciales estrategias de manejo, así como estudios de viabilidad (sociales, económicos y ambientales), asociados a la recolección, almacenamiento y entrega a gestores o posibilidades de implementación de desarrollo tecnológico para el aprovechamiento del caucho, uso energético o fabricación de nuevos productos, entre otras opciones, que ya se encuentran disponibles en el país.

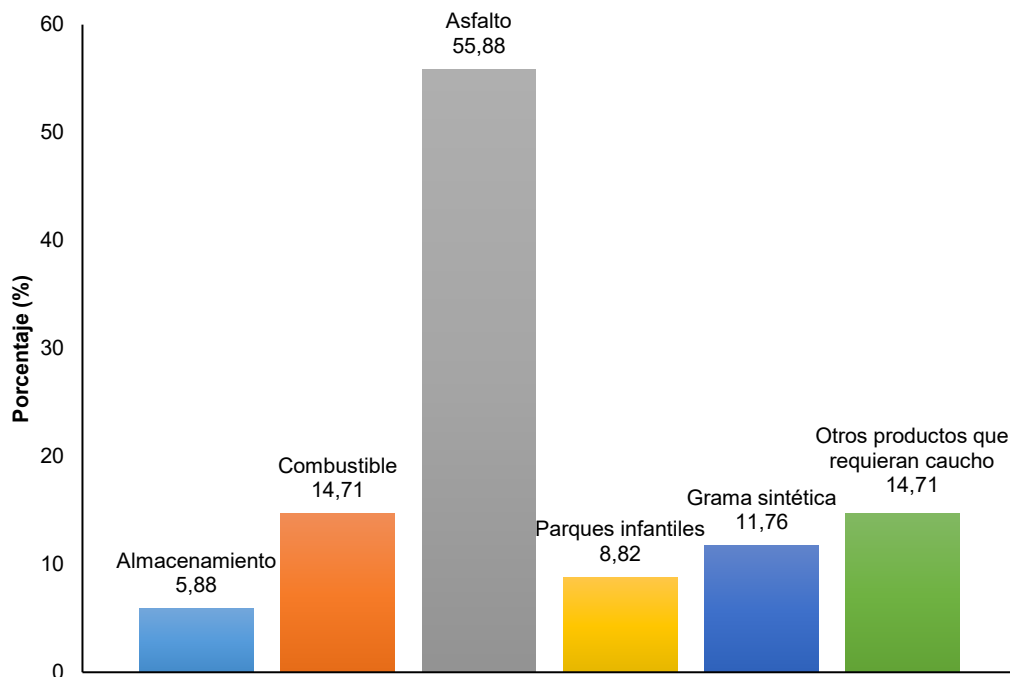


Figura 2. Percepción de los establecimientos frente a las alternativas de reúso de llantas usadas.

Otras consideraciones y recomendaciones generales. La disminución de la problemática generada por las llantas de desecho representa un reto técnico, económico, político y ambiental; Sebola *et al.* (2018) mencionan que, aunque las tecnologías e innovaciones para recuperar llantas al final de su vida útil están bien establecidas, como se mencionó en este escrito, el reciclaje de llantas de desecho no tiene éxito, a nivel mundial. Frente a esta problemática, a través del Programa Frontera 2012, que tuvo como sucesor al Programa Frontera 2020, SEMARNAT y EPA, han promovido alianzas con la industria, círculos académicos y todos los niveles de gobierno, producto del cual, han logrado el saneamiento de millones de llantas desechadas y con base en las experiencias, resaltan la importancia de informar y coordinar a estos grupos para lograr el éxito de los programas de recolección y proyectos de saneamiento, donde se requiere cooperación y alianzas (EPA, 2010), lo que, para el contexto colombiano, requiere de un mayor seguimiento a los SRS por parte de los diferentes actores involucrados, especialmente, de los productores de las llantas que se comercializan el país.

Park *et al.* (2018) mencionan que siguiendo el ejemplo de los países de la OCDE, a partir del 2007, Colombia fue uno de los primeros países en América Latina en adoptar la responsabilidad extendida del productor (EPR por sus siglas en idioma inglés Extended Producer Responsibility), para fomentar el manejo adecuado de varios productos al final de su vida útil, dentro de ellos, las llantas usadas; sin embargo, resaltan que no hay investigaciones exhaustivas publicadas acerca de cómo se ha aplicado esta estrategia en el país, por lo tanto, esta investigación contribuye a identificar cómo se está realizando, en la actualidad, la gestión de este residuo, en el municipio de Tunja. Asimismo, con base en el análisis de la situación

actual en Colombia y las lecciones de otros países, Park *et al.* (2018) sugieren que la efectividad de la REP requeriría el establecimiento de metas sólidas, pero factibles, permitiendo, al mismo tiempo, flexibilidad para cumplirlas.

Por su parte, la EPA (2010) resalta la importancia de la implementación de mercados de consumo ecológicamente aceptables y económicamente viables para las llantas de desecho, a fin de incrementar el reciclaje y la reutilización; abatir los apilamientos, buscando financiamiento e invirtiendo en centros de acopio y transferencia temporales, para facilitar su reciclaje y reutilización y apoyar programas de difusión educativa, dirigidos a diversos grupos de interés.

Teniendo en cuenta la problemática del manejo de llantas en Tailandia, Meunier *et al.* (2013) plantearon varias recomendaciones tecnológicas, políticas, institucionales, para partes interesadas y mecanismos de financiamiento, donde se resaltan algunas, que podrían ser consideradas, tanto para el municipio de Tunja como para el contexto nacional, tales como: desarrollar empresas incubadoras dedicadas a la gestión sostenible de llantas de desecho; establecer sanciones para las empresas que no cumplan con las políticas de gestión; incentivos para las empresas con prácticas comerciales respetuosas con el ambiente; incrementar la cooperación entre el sector privado y las instituciones reguladoras; ampliar la participación pública mediante el uso de campañas educativas e investigar más la información sobre las opiniones públicas y aceptación social de los sistemas de gestión de llantas desechadas, las cuales, abren muchas posibilidades de investigación y gestión, tanto en el contexto local como nacional.

Sebola *et al.* (2018) indican que las tasas de reciclaje de llantas en la Unión Europea, se acercan al 100%, resaltando que la Directiva de vehículos, al final de su vida útil (End of Life Vehicle Directive 2000/53/EC), permite a los usuarios de automóviles contribuir en la gestión de llantas desechadas; de igual forma, resaltan que el procesamiento de estos residuos es una oportunidad para la participación de la comunidad, la generación de empleo y nuevos sistemas industriales, entre otros aspectos, que podrían ser implementados para mejorar los sistemas de gestión en otros países, incluyendo Colombia.

Teniendo en cuenta los principales resultados, se concluye que la mayoría de establecimientos evaluados, en este estudio, reconocen las llantas usadas como un residuo de manejo especial, pero, a pesar de ello, la mayoría las entrega a los clientes y desconocen las obligaciones de los distribuidores y los comercializadores, relacionados con los SRS; además, no tienen conocimiento sobre gestores especiales, ni tecnologías para su aprovechamiento, aplicadas en otras regiones de Colombia. Acerca de las posibilidades para mejorar las acciones de gestión que se desarrollan actualmente, más de tres cuartas partes de los establecimientos, objeto de estudio, consideran importante el reciclaje de la llanta y están dispuestos a apoyar iniciativas de autoridades ambientales para vincularse a la recuperación de este residuo, donde es significativo considerar que una alternativa de mejora se puede proyectar a través de la destinación de una parte del pago de impuestos, para el financiamiento de la recolección selectiva.

De manera general, para el avance en la gestión de llantas usadas en Tunja, se recomienda el desarrollo de alternativas, de manera articulada, entre los diferentes actores directamente involucrados, como productores, gestores, distribuidores y comercializadores, consumidores y autoridades ambientales, regionales y municipales (Alcaldía Mayor de Tunja y Corporación Autónoma Regional - Corpoboyacá) e invitar a las instituciones académicas, de tal forma que se fomente su adecuado manejo, se faciliten los procedimientos para su devolución y se promueva, de manera eficiente, la recolección selectiva y aprovechamiento, considerando las opciones mencionadas a lo largo de este escrito.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

- ACOSTA, R.; MONCADA, S.; GAUTHIER-MARADEI, P.; NABARLATZ, A. 2013. Estudio preliminar de la producción de aceite y carbón mediante pirólisis intermedia de caucho de llantas usadas. *Rev. Invest. Univ. Quindío*. (Colombia). 24(1):139-145.
- ALCALDÍA MAYOR DE TUNJA. 2019a. Informe acta de gestión "Tunja en Equipo" 2016-2019. Disponible desde Internet en: https://alcaldiatunja.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiatunja/content/files/000713/35645_2019_29dic_informe_final_gestion_2016_2019_tunja_en_equipo.pdf (con acceso el 27/08/2020).
- ALCALDÍA MAYOR DE TUNJA. 2019b. Decreto 0014 de 2019. Por medio del cual se toman medidas para el mejor ordenamiento del tránsito de vehículos de servicio particular en las vías públicas del perímetro urbano de la ciudad de Tunja, y se dictan otras disposiciones.
- ARAGÓN, J.A.; ESPITIA, J.D. 2017. Evaluación térmica de la sustitución del material de la capa de drenaje en techos verdes por llantas usadas - análisis experimental en el II periodo húmedo climático del 2016, Bogotá. *Avances Investigación en Ingeniería*. (Colombia). 14(1):21-36.
- AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES, ANLA. 2021. Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos – Llantas Usadas. Disponible desde Internet en: <http://portal.anla.gov.co/sistema-recoleccion-selectiva-y-gestion-ambiental-residuos-srs-llantas-usadas> (con acceso el 08/03/2021).
- BLANCO, E.; TRAVIESO, D.; ANDRADE, J. 2017. Energetic valorization of waste tires. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (Irlanda del Norte). 68:306-315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.110>
- BOTERO, E.; VÉLEZ, G.F.; JARAMILLO, S.; PARRA, C.M.; VÉLEZ J.D.; LÓPEZ, J.P. 2008. Guía para el Manejo Integral de Residuos. Ed. Digital Express (Medellín, Colombia). 83p.
- CASOLCO, S.R.; GUERRA, A.; HORTEGA, R.; CASTILLO, S.; BOLAÑOS, J.L. 2013. Llantas: Situación actual y oportunidades locales para la ingeniería civil en Puebla, México. *Vislumbra, Rev. Divulgación del Tecnológico de Monterrey*. (México). 1(2):63-74.
- CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. 2020. Expediente interinstitucional 2018/0148 (COD). Disponible desde Internet en: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-14649-2019-INIT/es/pdf> (con acceso el 10/03/2021).
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE BOYACÁ, CORPOBOYACÁ. 2019. Listado de gestores de llantas usadas en jurisdicción de Corpoboyacá. Disponible desde Internet en: <https://www.corpoboyaca.gov.co/tramites-y-servicios/gestion-integral-de-residuos-especiales/gestion-de-llantas-usadas/> (con acceso el 08/03/2021).

11. DOBROT□, D.; DOBROT□, G.; DOBRESU, T. 2020. Improvement of waste tyre recycling technology based on a new tyre markings. *J. Cleaner Production* (Países Bajos). 260.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121141>
12. DUDA, A.; SIWOWSKI, T. 2020. Pressure evaluation of bridge abutment backfill made of waste tyre bales and shreds: Experimental and numerical study. *Transportation Geotechnics*. (Países Bajos). 24.
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100366>
13. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. 2010. Guía sobre aplicaciones de reciclaje y gestión de las llantas de desecho en EE.UU. y México. Ed. United States Environmental Protection Agency (Washington, D.C.). 132p.
14. ESPINOZA, L.; FARIÑO, J.; PATRICIO, Y.; MAYORGA M. 2020. Responsabilidad Social y Ambiental: Tratamiento y Disposición Final de Llantas Usadas en la Ciudad de Machala. *Gestión en el Tercer Milenio*. (Perú). 23(45):39-48.
<http://dx.doi.org/10.15381/gtm.v23i45.17405>
15. FONSECA, M; MESA, C. 2017. Modelo logístico de recolección de llantas para la ciudad de Tunja. *Revista Vínculos*. (Colombia). 14(2):108-118.
<https://doi.org/10.14483/2322939X.13196>
16. GAJENDRA, R.; SAKTHIESWARAN, N.; GANESH, O. 2020. Experimental investigation of sustainable concrete by partial replacement of fine aggregate with treated waste tyre rubber by acidic nature. *Materials Today: Proceedings*. (Reino Unido).
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.279>
17. MACHIN, E.B.; PEDROSO, D.T.; CARVALHO J.A. 2017. Technical assessment of discarded tires gasification as alternative technology for electricity generation. *Waste Management*. (Reino Unido). 68:412-420.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.004>
18. MARÍN, B.E. 2012. En favor del medio ambiente: de llantas vieja a carbón activado. *Rev. Universitas Científica*. (Colombia). 15(1):32-35.
19. MEUNIER, A.; CONNOR, K.; ISSAGALIYEVA, S.; CORTESA, S. 2013. Developing a Sustainable Waste Tire Management System for Thailand. Worcester Polytechnic Institute. Disponible desde internet en:
<https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all/1162> (con acceso el 12/08/2020).
20. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MADS. 2017. Resolución 1326 de 2017. Por la cual se establecen los sistemas de Recolección selectiva y Gestión Ambiental de Llantas usadas y se dictan otras disposiciones.
21. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, MAVDT. 2010. Resolución 1457 de 2010. Por la cual se establecen los sistemas de Recolección selectiva y Gestión Ambiental de Llantas usadas y se dictan otras disposiciones.
22. MONDELO, R.; FABRICIO, E.; GAUTON; HERNÁNDEZ, N. 2014. Uso de membrana de drenaje para evitar acumulación de agua y posibles criaderos de *Aedes aegypti* (Linnaeus 1762) (Diptera: Culicidae) en neumáticos desechables. *Rev. Cubana de Medicina Tropical*. 66(2):210-218.
23. MUNDO LIMPIO. 2018. Soluciones Ambientales Mundo Limpio. Disponible desde Internet en:
<https://www.mundolimpio.com.co/> (con acceso el 16/07/2019).
24. OBOIRIENA, B.O.; NORTH, B.C. 2017. A review of waste tyre gasification. *J. Environmental Chemical Engineering*. (Reino Unido). 5:5169-5178.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.057>
25. ORTÍZ-RODRÍGUEZ, O.; OCAMPO-DUQUE, W.; DUQUE-SALAZAR, L. 2017. Environmental impact of end-of-life tires: Life cycle assessment comparison of three scenarios from a case study in Valle del Cauca, Colombia. *Energies*. (Suiza). 10.
<https://doi.org/10.3390/en10122117>
26. OSPINA, J.; VILLADA, S. 2011. Métodos para caracterizar combustibles líquidos y gaseosos obtenidos de llantas en desuso a través de las normas ASTM. *Lámpasakos*. (Colombia). 3(6):23-31.
27. PARK, J.; DÍAZ-POSADA, N.; MEJÍA-DUGAND, S. 2018. Challenges in implementing the extended producer responsibility in an emerging economy: The end-of-life tire management in Colombia. *J. Cleaner Production*. (Países Bajos). 189:754-762.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.058>
28. PELÁEZ, G.J.; VELÁSQUEZ, S.M.; GIRALDO, D.H. 2017. Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*. (Colombia). 27(2):27-50.
<http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143>
29. PERTUNIA, G.; MPUPA, A.; NQOMBOLO, A.; MOGOLODI, K.; NOMNGONGO, P. 2020. Recyclable magnetic waste tire activated carbon-chitosan composite as

- an effective adsorbent rapid and simultaneous removal of methylparaben and propylparaben from aqueous solution and wastewater. *J. Water Process Engineering. (Reino Unido)*. 33.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101011>
30. PINTO, F.; HIDALGO-HERRADOR, J.; PARADELA, F.; COSTA, P.; ANDRÉ, R.; FRATCZAK, J.; SNAPE, C.; ANDEL, L.; KUSY, J. 2020. Coal and waste direct liquefaction, using glycerol, polyethylene waste and waste tyres pyrolysis oil. Optimisation of liquids yield by response surface methodology. *J. Cleaner Production. (Países Bajos)*. 255.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120192>
31. RECICLAIR. 2014. Reciclaire. Disponible desde Internet en: <http://www.reciclaire.com/> (con acceso el 16/07/2019).
32. REN, Q.; WU, Z.; HU, S.; HE, L.; SU, S.; WANG, Y.; JIANG, Y.; XIANG, J. 2020. Sulfur self-doped char with high specific capacitance derived from waste tire: Effects of pyrolysis temperature. *Science of The Total Environment. (Países Bajos)*. 741.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140193>
33. RODOVALHO, E.; QUAGLIO, O.; FELSCH, W.; PASCUAL, R.; DE TOMI, G.; SOARES, J. 2020. Reducing GHG emissions through efficient tire consumption in open pit mines. *J. Cleaner Production. (Países Bajos)*. 255.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120185>
34. RUEDA VERDE. 2017. Rueda Verde reciclaje de llantas. Disponible desde Internet en: <https://www.ruedaverde.com.co/> (con acceso el 16/07/2019).
35. SEBOLA, M.; MATIVENGA, P.; PRETORIUS, J. 2018. A benchmark study of waste tyre recycling in South Africa to European Union Practice. *Procedia CIRP. (Países Bajos)*. 69:950-955.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.137>
36. SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, SEMARNAT. 2012. Guía para el establecimiento de un centro de acopio de llantas de desecho. Disponible desde Internet en: <https://www.sema.gob.mx/VENTANILLA/SGA/030%20GUIA%20CENTRO%20DE%20ACOPIO%20LLANTAS.pdf> (con acceso el 11/03/2021).
37. SONG, P.; ZHAO, X.; CHENG, X.; LI, S.; WANG, S. 2018. Recycling the nanostructured carbon from waste tires. *Composites Communications. (Reino Unido)*. 7:12-15.
<https://doi.org/10.1016/j.coco.2017.12.001>



Indigenous Territoriality: External Discourses and Native Perspectives on the Space Inhabited by Tegria's U'wa Community

Territorialidad Indígena: Discursos externos y perspectivas propias del espacio habitado por la comunidad U'wa de Tegría

Oscar Fernando Gamba-Barón¹; Daniel Esteban Unigarro-Caguasango²; Nohora Inés Carvajal-Sánchez³

¹Sociologist, M.Sc. student. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en convenio con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia; e-mail: oscar.gamba01@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-3499-7702>

²Political scientist, M.Sc., Ph.D.(c). Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias del Hábitat, Bogotá, Colombia; e-mail: dunigarro@unisalle.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-6310-0223>

³Sociologist, Industrial Engineer, M.Sc., Ph.D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Bogotá, Colombia; e-mail: nohora.carvajal@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-3326-3045>

How to cite: Gamba-Barón, O.F.; Unigarro-Caguasango, D.E.; Carvajal-Sánchez, N.I. 2021. Indigenous Territoriality: External Discourses and Native Perspectives on the Space Inhabited by Tegria's U'wa Community. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1621. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1621>

Open access article published by Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, under Creative Commons License CC BY-NC 4.0

Official publication of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, University, Accredited as a High-Quality Institution by the Colombian Ministry of Education

Received: June 30, 2020 **Accepted:** January 26, 2021 **Edited by:** Ingeborg Zenner de Polanía

ABSTRACT

Tegria's community is part of the U'wa indigenous people, who have inhabited the eastern slope of the Sierra Nevada del Cocuy since the pre-Hispanic period, in the jurisdiction of the current municipality of Cubara in Boyaca (Colombia). However, this region known as Sarare has been described from anthropological, ethnohistorical, linguistical, and to a lesser extent, geographical approaches, which have generated representations of territory that ignore the historical process of indigenous people. To account for the present territoriality, it was proposed to contrast these external discourses with the community's visions on its history of occupation and the transformations of the inhabited space, compiled through participatory methodologies that sought the collaborative

construction of knowledge based on joint recognition of the place, the participant observation and the constant dialogue between indigenous and researchers. In this way, it was established that the external discourses show a territory that does not correspond to the processes of appropriation, adaptation, and reconfiguration of the space that the U'wa indigenous community has lived through and are evident in everyday settings such as the cultivation plot and the school. Therefore, it is only possible to recognize indigenous territoriality by exploring other alternatives, expressions, and perspectives that involve directly the communities and are not external to the context of the inquiry itself.

Keywords: U'wa people; Cosmovision; Collective memory; Territorial representations; Indigenous space.

RESUMEN

La comunidad de Tegría hace parte del pueblo indígena U'wa, que ha habitado desde el periodo prehispánico la ladera este de la Sierra Nevada del Cocuy, en jurisdicción del actual municipio de Cubará en el departamento de Boyacá. Colombia. Esta región, conocida como el Sarare, ha sido descrita desde enfoques antropológicos, etnohistóricos, lingüísticos y, en menor medida, geográficos, que han generado representaciones del territorio que desconocen el proceso histórico del habitar indígena. Para dar cuenta de la territorialidad presente, se contrastaron estos discursos externos con las perspectivas propias de la comunidad sobre su historia de ocupación y las transformaciones del espacio habitado, recopiladas a través de metodologías participativas que buscaron la construcción colaborativa de conocimiento a partir de la observación participante y un constante diálogo de saberes. De esta forma, se estableció que los discursos externos muestran un territorio que no se corresponde con los procesos de apropiación, adaptación y reconfiguración del espacio que la comunidad indígena U'wa ha vivido y son evidentes en escenarios cotidianos como la chagra -área destinada para cultivos rotativos- y la escuela, por lo que solo es posible reconocer la territorialidad indígena mediante la exploración de otras alternativas, lenguajes y perspectivas que involucren directamente a las comunidades y no resulten ajenas ni extrañas al propio contexto de indagación.

Palabras clave: Pueblo U'wa; Cosmovisión; Saberes propios; Representaciones territoriales; Espacio indígena.

INTRODUCTION

The U'wa indigenous people have had considerable public recognition since the 1990s, when they put into practice resistance strategies and actions to vindicate their rights against the pressure exercised by a foreign company with extraction purposes—the Occidental Petroleum Corporation (OXY)—in their ancestral territory, which extended through the jurisdiction of the current departments of Boyacá, Arauca, Norte de Santander, Santander and the neighboring state of Táchira in the Republic of Venezuela (Osborn, 1995). This resistance was considered by environmentalists and Non-Governmental Organizations (NGOs) as a paradigmatic case of the struggles carried out by ethnic groups in defense of their territorial rights. However, the production of documentary sources and academic research (Rochereau, 1914, 1961; Osborn, 1985, 1995; Pradilla, 1978; Falchetti, 2003) focusing on the struggle of the U'wa people for the territory has been discontinuous and has not attempted to understand the forms of appropriation and configuration of the inhabited geographic space produced by the communities themselves.

As a human group, the U'wa belong to the Chibcha linguistic family and have historically inhabited the slopes of the Sierra Nevada del Cocuy, which constitutes the center of their cosmology (Osborn, 1985, 1995). According to ethnohistoric sources, the ancestral U'wa territory extended eastward into to the current jurisdictions of the state of Táchira (Venezuela) and northward, in Colombia, into the

municipalities of Chinácota, Málaga, and Bucaramanga; Chiscas, Chita, Salinas de Chita and Güicán in the heart of the Sierra, in the department of Boyacá; and Tame, Támara, and Morcote towards the foothills of the Piedemonte Llanero (Osborn, 1995). At present, the U'wa people live in the eastern mountain range of the Colombian Andes, at the point where it begins to decline into the lowlands of southwestern Venezuela (Osborn, 1995), that is, between the departments of Arauca, Boyacá, Norte de Santander, and Santander (Figure 1).

Although the U'wa people and territory have been studied by the social sciences, especially by anthropology and linguistics, the documentary research showed that explicitly geographical studies are absent. For this reason, an approach to U'wa territoriality was proposed from the perspective of the space inhabited or lived by the communities themselves, which can contrast or differ from the conceptualization made by external agents, especially if it is taken into account that the territory, as an inhabited space, is the result of a process of social construction that develops over time through the appropriation by a community of a specific geographic space (Valenzuela & Figueroa, 2012). Thus, the territory shows an affective relationship with the space to the extent that it acquires meaning on account of the feelings and symbolisms that are attributed to the places therein (Carvajal, 2011), so that its scope exceeds the simple sphere of a political-administrative jurisdiction to configure itself as a referent of identity, as the receptacle of the memory of a community or, in the words of the U'wa, as the essence of life (Serje, 2011).

In a certain way, this has been recognized by the 1991 Political Constitution of Colombia when it ratifies the special character of legal and socio-political institutions such as reservations [resguardos], which are made up of an indigenous community or group that owns its territory through a community property title and is governed adjusted to their cultural traditions (Riño, 2003). In this sense, it was sought to understand the territoriality in the U'wa United Indigenous Reservation [Resguardo Indígena Unido U'wa]—established through the Incora Resolution 056 of August 6, 1999, with an area of 220,275 hectares (AsoU'wa, 2014)—and, especially, to analyze in-depth the processes and logics of appropriation of the U'wa people, not only in their cultural and cosmological aspect but also in their productive or socio-economic aspects. To achieve this goal, we worked with one of the seventeen most traditional communities of the U'wa people: the Tegría or Tagrinu'wa, whose lands—approximately 17,819.42ha, according to data obtained from the digitization of the cartography available in the Safeguard Plan of the U'wa People (AsoU'wa, 2014)—are located in the central part of the reservation. This digitization made it possible to establish that in the U'wa spatial order, the sacred communal zone is the area with the largest extension within the United U'wa Reservation, a fact consistent with the cosmological importance that the different communities give to these territories, which are mostly made up of páramo [high moorlands], superpáramo, and glaciers or perpetual snows biomes (Flórez, 1991). In terms of territorial extension, from largest to smallest occupied area, the territory of the Tegría is fourth among the U'wa communities (Table 1).

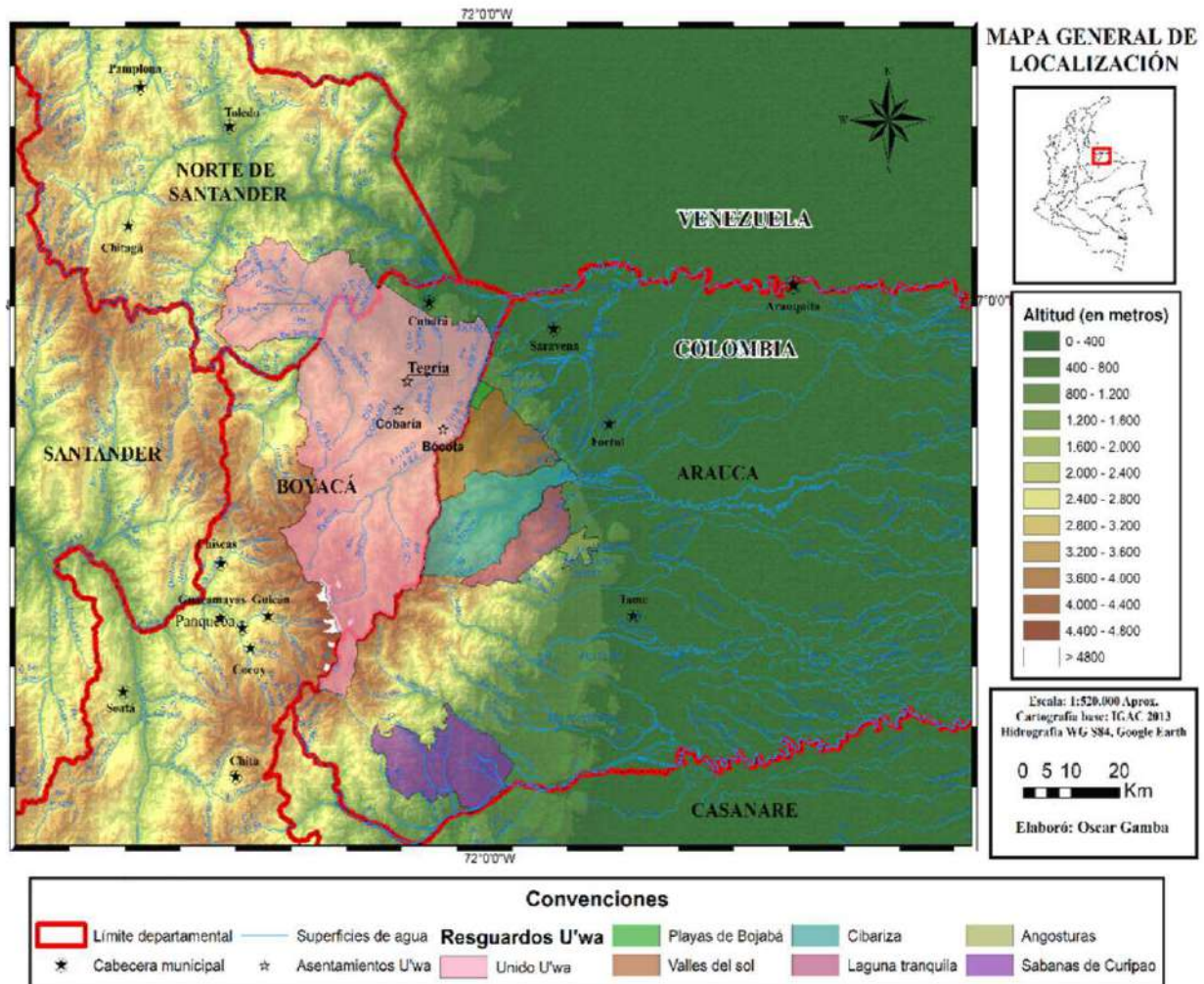


Figure 1. General map with the location of the U'wa United Reservation; the approximate location of some of the most traditional communities (Tegría and Cobaría) is included. Author: Oscar Gamba.

Table 1. Distribution of the territory by communities within the U'wa United Reservation

Community	Area (ha)
Sisuma (Sacred Zone)	47.327,12
Aguablanca	43.624,42
Bachira	31.594,85
Cascajal	18.526,36
Tegría	17.819,42
Cobaría	15.063,07
Bókota	12.375,55
Mulera	9.695,51
Barrosa	8.483,57
Rotarbaría	4.499,94
Segovia	2.814,85
Rinconada	2.388,33
Tamarana	1.801,40
Laguna	1.166,67
Unkasia	1.081,99

Source: Prepared by the author by processing the cartography digitized by the authors through Geographic Information Systems –GIS–.

MATERIALS AND METHODS

So as to approach the ancestral territoriality of the U'wa people and, specifically, the dynamics of appropriation and reproduction of space within the Tegría community, this research was divided into two phases: an initial phase focused on the search and documentary review of academic sources and aimed at identifying the discourses generated by anthropologists and linguists, among others; and the second phase of fieldwork, in which different information gathering techniques typical of qualitative research were used, such as ethnography, participative observation, and semi-structured interviews, which sought to promote the collective construction of knowledge through strategies such as workshops with the participation and collaboration of some key actors within the community, such as the ethnic-educators of the indigenous schools of the United U'wa Reservation.

The documentary research phase led to the consolidation of a corpus of texts arising from different academic discourses and areas of expertise, among which those of an anthropological and linguistic nature stand out for their abundance. The analysis of these sources made possible the identification of certain forms of representation of the U'wa territory generated by external agents and linked to a system of concepts, knowledge, and techniques that, due to the particularities of each disciplinary approach, result in the erasing of the perspectives of the communities about the territory they inhabit. Consequently, and to transcend the academic viewpoint, the second phase –fieldwork– was planned, which made possible the collection of primary information through several short stays in the field between 2017 and 2020.

In methodological terms, ethnography was the starting point for the gathering and co-construction of primary information with some key agents, especially teachers and directors of the indigenous educational centers of Tegría's U'wa community. In total, twenty-one teachers from the campuses of the municipality of Cubará (Boyacá) collaborated and participated, under the leadership of the academic coordinator of the El Chuscal Boarding School, Elizabeth Tarazona Cobaría. Thus, instead of establishing a utilitarian relationship between researchers and the community, the work with the educators of the reservation was always based on the principle of horizontality, to generate a type of collective research (Fals Borda, 1999) in which the educators received assistance in the discussion of the concerns and limitations that they identified in their context, that is, their daily pedagogical practices.

Finally, we proceeded to systematize the observations made throughout the process of assisting the teaching team of the United U'wa Reservation in their discussions, which started in 2017, and to contrast, the resulting information with that obtained from the secondary bibliographic sources that were surveyed –particularly the ethnographies about the U'wa people written in the last three decades of the 20th century (Chaves, 1974; Pradilla, 1978; Márquez, 1981; Márquez, 1983; Osborn, 1995)–, with the semi-structured interviews carried out with the teachers during field visits, as well as with the direct and participative observation carried out in the territory.

RESULTS AND DISCUSSION

The contrast between the external discourses identified in the review of the available documentary sources and the perspectives of the space inhabited by Tegría's U'wa community that were obtained during fieldwork shows a conceptual and epistemological gap in relation to the way in which the indigenous territory is internally conceived and understood, so that it becomes possible to account for the representations generated by external discourses and, subsequently, to reveal U'wa territoriality based on the meaning and sense that space has for the community.

The U'wa Territory from the point of View of External Discourses: The Expert View of Anthropologists and Linguists. The study of indigenous peoples has focused on their forms of social organization, customs, traditional practices, and rituals, in addition to their language as a means of communication and transmission of ancestral thought and knowledge; in other words, academic and scientific production has been generated from anthropology and linguistics in accordance with their methodological approaches. This has not been the exception in the case of the U'wa people, and anthropological, ethnohistoric, and ethnolinguistic research includes a description of the geographic space inhabited by the indigenous peoples as a scenario objectified from a specialized perspective that reproduces a foreign designation, namely, “Tunebo”.

In this sense, the ethnohistorical work based on sources from the colonial period reflects the pre-Hispanic presence of the “Tunebo Indians” on the western slope of the Sierra Nevada del Cocuy and their displacement towards the east during the 17th century due to the onslaught of the white *encomenderos* (Falchetti, 2003). Those who refused to be reduced and managed to evade the “civilizing process” and indoctrination received the pejorative qualification of “infidel Tunebos”: non-Christian Indians who inhabited areas not colonized by the Spanish on the eastern slope of the Sierra Nevada (Pradilla, 1978; Falchetti, 2003). During the period of colonial domination, there was a simultaneous process of deterritorialization and reterritorialization around the Sierra by the U'wa people, which led to the occupation of the territory by the different clans in three zones of different altitude, which consequently led to a division into the groups of the low, middle, and high lands (Osborn, 1985; Osborn, 1995; Falchetti, 2003). According to this classification, the Tegría community is a group of the middle lands, since its main ceremonial settlement is located between 1,500 and 2,200m a.s.l.; however, like a considerable number of the other communities, it owns lands in different areas, allowing its members to change their dwelling place throughout the year and revealing periodic migrations as a manifestation of the vertical management of the territory (Márquez, 1983; Osborn, 1995).

Regarding linguistic studies, it is possible to trace back some texts to the colonial period written by Jesuit and Augustinian missionaries who expounded on the “Tunebo language”, but the first work that stands out for its ethnological approach to the study of the language was only published in the first part of the 20th century, the research of a Eudist missionary active between 1914 and 1939

in the indoctrination of the Indians of the Sarare (Rochereau, 1914; Rochereau, 1926; Rochereau, 1961). Decades later, when missionaries of Laura's Mission settled in the region, one of them wrote about the cosmogony of the "Tunebo Indians" (Márquez, 1981; Márquez, 1983) and, years later, together with two members of the Tegría group, published a Grammar of the Tunebo language (Márquez *et al.* 1988). This work, together with the bilingual Tunebo-Spanish dictionary published by a Protestant missionary of the Summer Institute of Linguistics (Headland, 1997), constitute the most important contributions related to the language of the U'wa people. It should be noted that the understanding of specific aspects of language such as phonetics and phonology were made possible only by the decades-long contact of the communities and the missionaries, who despite aiming at the acculturation of the former, contributed significantly to the linguistic studies of the Uw'ajka.

Most of these works are the result of an extensive presence in the field by the authors: their long process of relating with the U'wa indigenous communities gave rise to studies with robust theoretical, conceptual and, methodological apparatuses rooted in anthropology and linguistics. Despite, it must be added that the resulting discourses responded to the logic of construction and production of unidirectional and objectifying scientific knowledge, typical of positivist research, which promotes a separation between the researcher and the study object. Therefore, a considerable portion reflects the presence of exotics devices and construction based on rhetoric that conceptualizes ethnicity based on the colonial perspective of figures alien the community itself, who does not acknowledge the academics, researchers, and missionaries as authors. However, it is impossible to ignore their great contribution in relation to the understanding of the cosmogony, language, and ways of inhabiting the territory of the U'wa indigenous people. Indeed, it is worth highlighting the work of Paul Rivet, a renowned French ethnologist who, without living with the U'wa communities directly, but just through the exchange of correspondence with Rochereau, offered one of the first general characterizations of this ethnic group in an anthropological key, presented a grammatical sketch of its language, and built a cartography with the location of the territory occupied by the U'wa and neighboring indigenous peoples (Rivet, 1924).

This is how although the U'wa territory was not conceived as an explicit object of study, it was characterized, defined, and described according to anthropological and linguistic discourses, thus generating a scientific representation thereof. An example of such a representation is the ethnographic description of the Eudist missionary Henri Rochereau (1961), in which, after presenting the mentality, customs, beliefs, traditions, productive activities, items of daily use, and even the plant and animal species of the surroundings, offers a presentation of "the land of the Unkasias" with the "Tunebo names" of the hills, rivers, streams, and sacred places. This is complemented by a map which privileges the location of abiotic elements of the landscape such as hydrography and shows the distribution of the area in seven large U'wa communities located in the current department of Boyacá, specifically the settlements of Sinsiga, Bokota, Tegría, Cobaria, Unkasia, Mojicones, and

Pedraza. In general, this cartographic representation downplays the importance of the most significant cosmogonic and geographic references for the U'wa people: the Sierra Nevada del Cocuy or Sisuma, in the Uw'ajka language, whose name appears at the bottom of the map, following the traditional cartographic convention of locating the geographic north above (Figure 2). In this sense, both the description and the map contribute to the construction of a scientific representation of the U'wa territory that is not only alien and strange in relation to the indigenous people's ways of inhabiting, but also ignores its appropriation logics and organization and representation of the inhabited space, that is, its territorialization process.

However, ethnographic approaches have laid the foundations for the understanding of the meaning of the U'wa territory, not only as a space configured through practices of food production and supply of goods, but as a projection of the ancestral cosmology on the inhabited space, a process that has generated a ritual ecology (Osborn, 1985; Osborn, 1995), so that spatial ordering is directly linked to ritual and cosmogonic aspects, that is, to the symbolic dimension that underpins territoriality as a process of sociocultural appropriation of space (García, 1976). Hence the importance of the super-paramo and perpetual snow areas of the Sierra that are conserved and defended by the communities through a unique environmental management which turns them into a sacred space in which productive activities are not carried out. This view is supported by the law of origin of the U'wa people and is deeply rooted in the life practices of the communities up to the present time (Osborn, 1995, Pradilla, 1978). This becomes evident, for example, in the case of the Tegría community, whose most important of the three main settlements, which functions as a ceremonial center and whose toponym replicates that of the group, is located in the highest zone, close to the communal sacred area and away from the rest of the settlements.

U'wa Territoriality from the Point of View of Native Representations and Knowledge. From the anthropological perspective, an indigenous territory is an essential space for people to access the natural resources that make their material and spiritual reproduction possible in accordance with the characteristics of their productive and social organization (Balza, 2001). This understanding of the territory goes beyond the definition of a geographical space delimited by political-administrative jurisdictions. This broader vision implies the need to make an interpretation of the processes of use, appropriation, and construction of the territory, considering the multiplicity of society-nature and space-time relationships that configure it (Viasús-Figueroa *et al.* 2016). Consequently, addressing indigenous territoriality implies an understanding that, for an indigenous community, the inhabited place is understood as a territory that is conceived under a native worldview, native insofar as it is both a material expression of social and political order as well as a collective representation of social relations (Correa, 2004).

In this sense, the indigenous territory is ordered according to native precepts emanating from the worldview and the law of origin, by virtue of which the discourse of ancestry acquires great importance



Figure 2. Map or scheme of the U'wa territory made by the French missionary Henri Rochereau, with data collected between 1914 and 1939. Source: Rochereau, 1961.

(Viasús-Figueroa *et al.* 2016) and is also incorporated into the different forms of representation of the communities that inhabit, travel, appropriate, conceptualize and express their territory on the basis of the relationships established between the parts and the whole, just like the tissue that makes up a body. Hence, one of the archetypal indigenous representations is the body-territory, in which the latter is not visualized as a set of layers, polygons, lines, points, and vectors, as in the Western cartographic tradition, but as a living organism that feeds, reproduces, and establishes relationships with other beings (Echeverri, 2004).

This type of representation configures a particular cartographic language that may represent the territory (Figure 3) as a vital element for the U'wa people from the perspective of a traditional doctor

(ASOU'WA, 2019). This is a representation of the body-territory which emphasizes the existence of a profuse network, composed mainly of mountains and rivers, which connects the different parts of the body, in particular the upper and lower extremities and the head. This representation corresponds to the model of the universe found in the U'wa cosmology, in which biotic and abiotic aspects of the landscape, such as rivers and mountains, take on special relevance and stand as ordering axes of the territories of the different clans (Serje, 2011). However, from a non-indigenous perspective this representation is difficult to understand since it does not follow the conventional parameters of cartographic representation. Therefore, the bodily figure which serves as a cosmography or representation of the U'wa universe accounts for the existence of another possible territory in which all elements are interconnected and function

in a coordinated way to stay active and sustain themselves: the mountain ranges irrigate the whole body, generating the sensation of movement that enlivens a network of places that, through their relationality, configure a territory of difference (Escobar, 2010).

The territory of the U’wa people is a living organism that transcends the notion of land as a geographical space that might be allotted to a community in accordance with agrarian criteria exclusively and ignoring the indigenous productive and socio-cultural system



Figure 3. The U’wa territory represented as a body by a traditional U’wa physician, Rúbico Cobaría. Source: AsoU’wa, 2019.

itself (Balza, 2001); such a territory ought to be simultaneously appropriated, understood, and represented, both materially and symbolically, in biophysical terms (emphasizing the interaction and mutual determination of the communities and the inhabited environment) and epistemic terms (emphasizing the systems of native knowledge and know-how in contrast with those of the modern and colonial western world). Regarding this point, figure 3 shows the process of sociocultural appropriation of nature and ecosystems from the point of view of the U’wa native relational

worldview or ontology (Escobar, 2014). However, this cosmographic representation of the U’wa world, understood as body-territory is complemented by other types of representations that account based on the daily experience of living, in which the dimension of the landscape stands out as a result of the perception of some members of the community.

As an example of the above, figure 4 shows a mural made by the students of the Indigenous Educational Institution “Escuela

Internado El Chuscal”—located in the rural area of the municipality of Cubará— which represents a bee as part of the landscape and in the foreground. The bee, or “anuba” in the uw’ajka language, is an insect of cultural and ritual importance. According to the culture and worldview of the different communities, this insect is a reflection of their practices: like the U’wa, bees are seen as highly social creatures who build houses or beehives and have songs, dances, and ceremonies where ingest beverages prepared with their saliva, honey in the case of bees and corn chicha in the case of the U’wa chicha (Osborn, 1995). In addition to this type of representations and forms of symbolic appropriation of the territory, the U’wa people have the sung myths of their oral geography, an essential aspect of the traditional ceremonies and dances celebrated by the communities throughout the year, in accordance with their calendar of rituals and harvests.

Based on these representations of the territory, the U’wa have built a particular language through a sung geography that accounts for ancestral spaces and places, and this has perpetuated not only their wisdom but also elements and references of territoriality such as the stove, the swidden, the forest, the mountains, and the rivers (ASOU’WA, 2019). Although the indigenous people do not appear in the representations, they perceive themselves as a component of the whole of which they are part, in a holistic relationship with other

living beings, plants, and animals (Vásquez & Verschoor, 2011). This principle of relationality is constitutive of and indigenous territoriality that, by means of exchanges of different nature, links the multiplicity of life trajectories of non-indigenous living beings, deities, and human beings. One type of exchange occurs with the dialogue and collective construction of knowledge about the territory between external researchers and the educators of the U’wa people. Their relationship was founded on horizontality to promote mutual recognition as subjects of enunciation with a life history, a point of view, and a voice of their own that should be more significant than the claim to scientific objectivity, given the skepticism of indigenous communities in the face of epistemic extractive practices that seek to take their ideas as raw materials to colonize and subsume them under the parameters of culture and the Western episteme (Grosfoguel, 2016).

This position was observed in the ethnoeducators of the U’wa people, and it can be interpreted as a practical exercise of territoriality, since it is configured as an alternative to manage and solve their spatial requirements and claim their territory (Balza, 2001), for which they engage in a constant struggle based on a deep understanding of life and its cosmogony as part of a pluriverse made up of an ever-changing network of relationships between human and non-human beings, which, despite Western domination over “nature”



Figure 4. Representation of the U’wa landscape by a student from the El Chuscal Boarding School, together with details of what appears to be a bee (“anuba”), an insect of cultural and ritual importance for the U’wa. Source: Oscar Gamba Archive, 2017.

on account of the exploitation caused by the capitalist production system, is not necessarily determined by the superiority of one over the other (Escobar, 2012; Escobar, 2014). Thus, understanding the territory of the U'wa people implied incorporating the dimension of social and power relations to deconstruct and denature a good part of the traditional precepts and approaches (Altschuler, 2013) generated by external discourses. The review of these sources – and its contrast to some materials published by the communities themselves as well as their practices of appropriation of space– led to the conclusion that in relation to the conventions of Western cartography and disciplines such as anthropology or linguistics, the great complexity of elements that make up the landscape and the U'wa territory appear only as ordering axes of space, like limits or natural markers alien to a process of humanization and social and historical transformation, since they are emptied of the deep cosmological meaning of the native communities.

Closing Remarks and Conclusion: From Territoriality to Feeling and Thinking the Ethno-territory. The joint research that was undertaken managed to test an alternative way to think about the territory based on the Participative and Active Research [*Investigación Acción Participativa*] methodology, which tries to blur the distinction between researchers and research subjects and rewrite history from below using novel and controversial formats (Robles & Rappaport, 2018), so that the common people may know more about their vital conditions to defend their interests against those who have monopolized knowledge, resources, techniques, and power itself (Fals Borda, 1999). This perspective allows the generation of a holistic epistemology that conceives researchers and research subjects, not as experts and clients, but as sentient beings whose diverse points of view on cohabitation must be considered side by side in order to balance the production of conscious knowledge since reason is enriched with the feeling, so that the head and the heart work together to co-reason or feel-think (Fals Borda, 1999; Escobar, 2014).

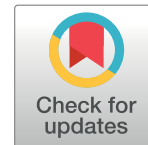
Recognizing that indigenous people feel and think with the land allowed us to understand that a cultural territory inhabited by an ethnolinguistic group such as the U'wa is configured as an ethno-territory, that is, a historical, cultural and, identity territory that is recognized as their own, since it provides more than a dwelling place, sustenance, and reproduction as a group: it provides the opportunity to reproduce culture and social practices over time (Barabas, 2008). As a place where the history of the U'wa people takes shape, it was possible to interpret the landscapes and spaces that make up the territory as appropriate from the cultural point of view, emphasizing aspects such as the worldview or history of the community. From this point of view, it must be taken into account that the territory is a memory space, as well as a receptacle that mobilizes complex symbolic and mythological senses through entities such as bodies of water, lakes, lagoons, or mountains. In the case of the U'wa territory, the exploration of all these forms of appropriation and assignment of meanings to the inhabited space by the communities appears as one of the possible paths to understand the territoriality of these indigenous people in all its complexity.

Acknowledgments: This work was made possible by the accompaniment, collaboration, and permanent guidance of the teachers of the United U'wa Reservation, particularly the coordinator of the indigenous educational centers, Professor Elizabeth Tarazona Cobaría. We are grateful to her and the entire teaching team of the municipality of Cubará, Boyacá, for allowing us to visit part of its territory, and we express the most sincere feeling of admiration for the important work that is carried out day by day to educate an entire people without forgetting what is native. **Conflict of interests:** The manuscript was prepared and reviewed by all the authors, who declared that no conflict of interest may put the validity of the results presented at risk. **Financing:** This article is the product of the research entitled “Inhabiting and Narrating the Territory: Tools to Strengthen the Ethno-educational Project of the U'wa People, Kajkrasa Ruyina”, funded by the Pedagogical and Technological University of Colombia -UPTC-.

REFERENCES

1. ALTSCHULER, B. 2013. Territorio y desarrollo: aportes de la geografía y otras disciplinas para repensarlos. *Theomai*. (Argentina). 27-28:64-79.
2. ASOCIACIÓN DE AUTORIDADES Y CABILDOS U'WA, ASOU'WA. 2014. Plan de Salvaguarda Nación U'wa Kera Chikara Obiryacquinacu, AsoU'wa. (Colombia). 167p.
3. ASOCIACIÓN DE AUTORIDADES Y CABILDOS U'WA, ASOU'WA. 2019. Proyecto Educativo Comunitario. Institución Educativa Técnica Ambiental Kera Shikara; Fondo Editorial Asou'wa (Colombia).
4. BALZA, R. 2001. Tierra, territorio y territorialidad indígena: un estudio antropológico sobre la evolución del espacio del pueblo indígena chiquitano de la ex-reducción jesuita de San José. Apoyo para el Campesino Indígena del Oriente Boliviano; Grupo Internacional de Trabajo sobre Asuntos Indígenas; Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo. (Bolivia). 356p.
5. BARABAS, A. 2008. Cosmovisiones y etnoterritorialidad en las culturas indígenas de Oaxaca. *Antípoda. Rev. Antropología y Arqueología*. (Colombia). 7:119-139.
6. CARVAJAL, N. 2011. Enfoques ascendente y descendente del ordenamiento territorial en Colombia. *Cuadernos de Geografía: Rev. Col. Geografía*. 20(1):21-28. <https://dx.doi.org/10.15446/rcdg.v20n1.23064>
7. CHAVES, A. 1974. Los tunebos: datos etnográficos. *Universitas Humanística*. (Colombia). 8-9:9-75.
8. CORREA, F. 2004. El sol del poder: simbología y política entre los muisca del norte de Los Andes. *Universidad Nacional de Colombia*. 420p.

9. ECHEVERRI, J. 2004. Territorio como cuerpo y territorio como naturaleza: ¿diálogo intercultural? En: Surrallés, A.; García, P. (dir.). *Tierra adentro: territorio indígena y percepción del entorno*. Grupo Internacional de Trabajo sobre Asuntos Indígenas. (Copenhague). p.259-275.
10. ESCOBAR, A. 2010. *Territorios de diferencia: lugar, movimientos, vida, redes*. Envión Editores (Colombia). 386p.
11. ESCOBAR, A. 2012. Más allá del desarrollo: postdesarrollo y transiciones hacia el pluriverso. *Rev. Antropología Social*. (España). 21:23-62.
https://doi.org/10.5209/rev_RASO.2012.v21.40049
12. ESCOBAR, A. 2014. *Sentipensar con la tierra: nuevas lecturas sobre desarrollo, territorio y diferencia*. Universidad Autónoma Latinoamericana. (Colombia). 184p.
13. FALCHETTI, A. 2003. La búsqueda del equilibrio: los Uwa y la defensa de su territorio sagrado en tiempos coloniales. *Acad. Col. Historia*. 268p.
14. FALS BORDA, O. 1999. Orígenes universales y retos actuales de la IAP. *Análisis Político*. (Colombia). 38:73-90.
15. FLÓREZ, A. 1991. La sierra nevada del Cocuy, Chita o Guicán. *EPG-Geografía*. (Colombia). 1(2):7-18.
16. GARCÍA, J. 1976. *Antropología del territorio*. Taller de Ediciones Josefina Betancor. (España). 350p.
17. GROSGOUEL, R. 2016. Del “extractivismo económico” al “extractivismo epistémico” y al “extractivismo ontológico”: una forma destructiva de conocer, ser y estar en el mundo. *Tabula Rasa*. (Colombia). 24:123-143.
<https://dx.doi.org/10.25058/20112742.60>
18. HEADLAND, E. 1997. *Diccionario Bilingüe. Uw Cuwa (Tunebo) – Español. Español – Uw Cuwa (Tunebo), con una gramática uw cuwa (tuneba)*. Instituto Lingüístico de Verano. (Colombia). 286p.
19. MÁRQUEZ, M. 1981. *Los indios Tunebo y su cosmogonía*. Universidad Católica Andrés Bello. (Venezuela). 189p.
20. MÁRQUEZ, M. 1983. *Trascendencia ideológica de los Tunebo*. Ed. Copymundo (Colombia). 100p.
21. MÁRQUEZ, M.; AGUABLANCA, E.; OLZA, J. 1988. *Gramática de la lengua tuneba: morfosintaxis del cobaría*. Universidad Católica del Táchira. (Venezuela). 240p.
22. OSBORN, A. 1985. *El vuelo de las tijeretas*. Banco de la República (Colombia). 153p.
23. OSBORN, A. 1995. *Las cuatro estaciones: mitología y estructura social entre los U'wa*. Banco de la República. (Colombia). 269p.
24. PRADILLA, H. 1978. *Tunebia infiel: la persecución religiosa a los Tunebo*. Universidad Nacional de Colombia. 51p.
25. RIAÑO, E. 2003. *Organizando su espacio, construyendo su territorio: transformaciones de los asentamientos Ticuna en la ribera del Amazonas colombiano*. Universidad Nacional de Colombia. 236p.
26. RIVET, P. 1924. *La langue Tunebo*. *J. Société des Américanistes*. (Francia). 16:19-92.
<https://dx.doi.org/10.3406/jsa.1924.3758>
27. ROBLES, J.; RAPPAPORT, J. 2018. Imagining Latin American social science from the global south: Orlando Fals Borda and participatory action research. *Latin American Res. Review* (Estados Unidos). 53(3):597-612.
<http://dx.doi.org/10.25222/larr.164>
28. ROCHEREAU, H. 1914. Los indios tunebos: relación de la misión científica de 1914 del P. Rochereau, Dr. R. Monsalve y Néstor Parra. *Boletín de Ciencias Naturales del Instituto de La Salle*. (Colombia). 2(7):195-197.
29. ROCHEREAU, H. 1926. *La lengua tuneba y sus dialectos: ensayo gramatical*. Diócesis de Pamplona. (Colombia). 101p.
30. ROCHEREAU, H. 1961. Los tunebos: grupo unkasia. *Rev. Col. Antropología*. 10:37-120.
31. SERJE, M. 2011. *El revés de la nación: territorios salvajes, fronteras y tierras de nadie*. Universidad de los Andes. (Colombia). 368p.
32. VALENZUELA, C.; FIGUEROA, M. 2012. Implicancias de la resignificación de la espacialidad en las categorías de análisis geográfico: la revalorización del territorio como constructo social. *Perspectiva Geográfica*. (Colombia). 17:49-70.
<https://dx.doi.org/10.19053/01233769.2262>
33. VÁSQUEZ, J.; VERSCHOOR, G. 2011. *En defensa de lo propio: hacia el perfeccionamiento de las relaciones entre el mundo Tikuna y el mundo occidental*. Wageningen University; Small World Foundation; Tropenbos Internacional. (Colombia). 79p.
34. VIASÚ FIGUEREDO, L.R.; POSADA ARRUBLA, A.; DÍAZ PERDOMO, H.J. 2016. Ordenando el territorio: entre el camino de los ancestros y la perspectiva contemporánea. Caso comunidad indígena Muisca de Bosa, Bogotá – Colombia. *Prospectiva: Rev. Trabajo Social e Intervención Social*. (Colombia). 22:141-171.
<https://dx.doi.org/10.25100/prts.v0i22.1240>



Diseño de estructuras con alambres en artesanías de Usiacurí

Design of structures with wire in Usiacurí handcrafts

Laura Vanessa Utria-Villanueva¹; Rubén Darío Felizzola-Chala²; Armando Aroca-Araujo³

¹Estudiante de Licenciatura en matemáticas. Universidad del Atlántico, Semillero diversidad matemática, Grupo de investigación horizontes en educación matemática. Barranquilla - Atlántico, Colombia; e-mail: laurautria06@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7780-4061>

²Estudiante de Licenciatura en matemáticas. Universidad del Atlántico, Semillero diversidad matemática, Grupo de investigación horizontes en educación matemática. Barranquilla - Atlántico, Colombia; e-mail: ruben98070@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6195-2422>

³Licenciado en matemáticas y física, M.Sc. Universidad del Atlántico, Grupo de Investigación Horizontes en Educación Matemática, Semillero Diversidad Matemática. Barranquilla - Atlántico, Colombia; e-mail: armandoaroca@mail.uniatlantico.edu.co; <http://orcid.org/0000-0003-2786-4848>

Cómo citar: Utria-Villanueva, L.V.; Felizzola-Chala, R.D.; Aroca-Araujo, A. 2021. Diseño de estructuras con alambres en artesanías de Usiacurí. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1865. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1865>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: marzo 17 de 2020 **Aceptado:** febrero 9 de 2021 **Editado por:** ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

El problema de investigación surge del interés por los conocimientos matemáticos presentes en la práctica artesanal del municipio de Usiacurí - Atlántico, Colombia, específicamente, en el diseño de estructuras con alambres. La justificación de esta investigación, se basa en que los resultados permiten comprender y describir la etnomatemática presente en una práctica artesanal. El objetivo principal fue analizar el diseño de las estructuras con alambres en las artesanías de Usiacurí. La metodología utilizada durante la investigación fue de tipo cualitativo, basado en la etnografía. La presente investigación, se fundamenta teóricamente en el programa etnomatemática, que tiene como propósito contribuir, tanto a la comprensión de la cultura como a la de las matemáticas y, principalmente, se interesa por la conexión entre ambos aspectos. Dentro de los resultados obtenidos en la investigación predominan las técnicas utilizadas por los artesanos en el proceso de corte y medición del alambre, la estrategia que usan para la unión entre los alambres, el diseño de las formas o figuras en alambre, entre otros conocimientos matemáticos, contextualizados en la práctica artesanal.

Palabras clave: Etnomatemática; Conocimientos geométricos; Diseñar; Estructuras en alambres; Artesanías.

ABSTRACT

The research problem arises from the interest in the mathematical knowledge present in the artisanal practice of the municipality of Usiacurí, Atlántico de Colombia, specifically in the design of wire structures. The justification for this research is based on the results, understanding and describing the ethnomathematics present in an artisan practice. The main objective was to analyze the design of the structures with wires in the crafts of Usiacurí. The methodology used during the investigation was of a qualitative type based on ethnography. The present research is theoretically based on the ethnomathematic program whose purpose is to contribute to the understanding of culture and mathematics and mainly, this research is interested in the connection between both aspects. Among the results obtained in the investigation, the techniques used by the artisans in the process of cutting and measuring the wire predominate, the strategy they use for the union between the

wires, the design of the shapes or figures in wire, among other mathematical knowledge contextualized in craft practice.

Keywords: Ethnomathematics; Geometric knowledge; Design; Structure in wire; Crafts.

INTRODUCCIÓN

La investigación, se desarrolló en el contexto sociocultural del municipio de Usiacurí, ubicado en el Departamento del Atlántico (Colombia). Sobre el particular, Rodríguez *et al.* (2017) resaltan a los habitantes de este municipio como uno de los pueblos más antiguos de la Costa Atlántica, que ha logrado destacarse y ser reconocido por la elaboración de sus artesanías.

Algunas concepciones sobre la Etnomatemática. Gerdes (2007) manifestó que no existe una sola matemática, sino que cada pueblo, sector o grupo social, de acuerdo con su cultura o factores sociales, desarrollan sus propios conocimientos, que les son útiles y pertinentes para su realidad, según su propia cosmovisión. Blanco (2008) plantea que la Etnomatemática es una manera de hacer Educación Matemática, con ojos que miran distintos ambientes culturales. Albanese (2015) destaca dos focos de interés de la etnomatemática: uno antropológico, relacionado con las matemáticas y formas de pensar matemáticamente y, otro educativo, respecto a las concepciones que se evidencian en la formación docente (inicial o permanente), sobre la naturaleza de las matemáticas. Aroca (2016) propuso un análisis de la terminología Etno-Mathema-Tica acuñada por D'Ambrosio (2011). El estudio lo realizó destacando las dos raíces *mathema* y *tica*; observó que, al pasar el tiempo, han existido variaciones en el significado de estas raíces, incluso llegando a distanciarse de su origen etimológico. Aroca propone ver la etnomatemática no solo como parte de las ciencias humanas, sino, también, de las ciencias sociales que se relaciona con las matemáticas; para el autor es valioso entender el programa de etnomatemática, como un campo de estudio transdisciplinar y holístico, cuyo fin es el enfoque cultural de la educación matemática. Fuentes (2019) presenta la etnomatemática como una línea de investigación transdisciplinar, que fija su mirada hacia la búsqueda de las realidades de comunidades que se han enfrentado a fenómenos, como la colonización, la explotación y la segregación; asimismo, plantea que la etnomatemática fomenta el estudio, análisis y socialización de los conocimientos matemáticos presentes en comunidades indígenas, grupos laborales, inmigrantes, artesanos, campesinos, comunidades negras. La sola posición de manifestar que hay matemáticas en la realización de una artesanía y que tiene tanto valor, como las matemáticas escolares, es asumir una posición política a favor de las comunidades artesanales. Por último, es importante destacar que la palabra etnomatemática no es la yuxtaposición de etno y matemáticas, consideradas en sentido estricto; eso sería un malentendido, como plantean D'Ambrosio & Knijnik (2020).

La actividad de diseñar y su relación con el concepto de estructura. Para Bishop (1999; 2005) existen seis actividades relacionadas con el entorno y cultura matemática. Una de ellas es la actividad de diseñar, que involucra, principalmente, procesos de

abstracción, geométricos, métricos y numéricos. Se plantea que la actividad del diseño no solo es valiosa, también es relevante y posibilita la elaboración del producto. Diseñar es tomar algo que ofrece la naturaleza, como la madera, la arcilla o el terrero, para hacerle una configuración y convertirla en otra cosa, por ejemplo, en un tallado o una olla. Los grupos culturales diseñan al momento de tomar algo de la naturaleza e imponen una nueva estructura. En la práctica artesanal de Usiacurí, específicamente, en la elaboración de las estructuras de las artesanías, prevalecen determinadas formas y siluetas, configuradas en alambre.

Algunos antecedentes investigativos. Una propuesta para la enseñanza de la geometría, particularmente, de la geometría transformacional, a través de medios didácticos sobre los patrones geométricos inmersos en la elaboración de mochilas de la comunidad indígena Ika, de la Sierra Nevada de Santa Marta es presentada por Aroca (2009). Fuentes (2011) expone un análisis geométrico sobre los diseños de cestería elaborados por los artesanos del municipio de Guacamayas, en Boyacá, Colombia, mientras que Duque (2012) muestra un completo estudio de 15 comunidades étnicas. Enríquez *et al.* (2012) realizaron un estudio sobre los diseños de los sombreros elaborados en iraca en Colón - Génova, Nariño. Aroca (2014) analiza los diseños de los platos de las culturas Quillacingas, de Colombia; de igual modo, presenta una manera de entender los pensamientos métricos y geométricos involucrados en la elaboración de los utensilios de las culturas prehispánicas. Morales *et al.* (2018) analizaron los patrones geométricos de las artesanías en el municipio de Usiacurí y las perspectivas de aplicación en educación matemática.

Rodríguez *et al.* (2019) realizaron un trabajo centrándose en la identificación de conocimientos matemáticos de los pescadores, un primer sistema de medida: en función de brazadas y, el segundo, en función de dedos, jemes, cuartas.

En esta investigación, el objetivo general fue analizar el diseño de las estructuras hechas en alambres de las artesanías en Usiacurí y los conocimientos matemáticos que están presentes en la práctica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se empleó en esta investigación fue de enfoque cualitativo, de carácter etnográfico, descriptivo. Hernández *et al.* (2014) consideran que este enfoque mide y evalúa la información recolectada de determinado contexto u objeto de investigación.

La población de la presente investigación son artesanos del municipio de Usiacurí, quienes realizan esta práctica ancestral, como tradición cultural; la muestra fue de tres artesanos. La selección, se hizo teniendo en cuenta la experiencia y la trayectoria en la elaboración de artesanías con estructura de alambre. Se realizaron dos trabajos de campo. Los datos generales de los artesanos son: Artesano 1, Ever, 52 años, taller artesanal, 44 años aproximadamente de experiencia; Artesano 2: Lázaro, 62 años, taller artesanal, cerca de 40 años de experiencia; Artesano 3: Manuel, 60 años, taller artesanal, 10 años aproximadamente de experiencia.

Los principales métodos de recolección de información fue la entrevista semiestructurada y la observación no participante. Para el recaudo de información, se emplearon dispositivos audiovisuales, como cámara fotográfica réflex, cámara GoPro 7, videocámara, grabadora y notas de campo, más las respectivas transcripciones de los registros audiovisuales, empleando los signos Val.Es.Co. Tal como lo expresa el Grupo Val.Es.Co (2014), la aplicación del modelo Val.Es.Co. permite la segmentación de una conversación coloquial sin residuos, así como un adecuado tratamiento de diversos fenómenos conversacionales.

La recolección de la información, se dividió en dos trabajos de campos. Durante la intervención con los entrevistados, se realizaron preguntas que fueron organizadas según las etapas del proceso de elaboración de una de las artesanías más representativas del municipio, una de ella es “la panera” y se profundizó en la fase de diseño de estructuras en alambre; el propósito fue conocer los procesos en el diseño de las estructuras geométricas hechas en alambres para la elaboración de artesanías de palma de iraca. En el primer trabajo de campo, se entrevistaron a dos artesanos.

El segundo trabajo de campo, se realizó, con el objetivo de conocer los procedimientos que se llevan a cabo con estructuras de alambres y, posteriormente, analizar las matemáticas implicadas en la elaboración de las artesanías. Se contó con la colaboración de un artesano y soldador de oficio; su especialidad es el proceso de diseño y soldadura de las estructuras en alambres. La tabla 1 muestra el conjunto de preguntas formuladas que sirvieron de base para la entrevista semi estructurada.

Para el análisis de los datos, se organizó el material recolectado, fotografías, videos y audios, en carpetas por trabajo de campo, fechas y artesanos participantes; luego, se transcribieron empleando los signos Val.Es.Co. La estructura que se estableció para el análisis de

la información consistió en el análisis de los dos trabajos de campo; asimismo, se resaltaron, en cada trabajo de campo, los datos más relevantes y se organizaron en categorías. Por ello, el principal método de análisis de la información fue la categorización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la práctica artesanal del municipio de Usiacurí, se destacan tres tipos de artesanías de palma de iraca: sin molde, con molde y con estructuras en alambres. En esta investigación, el objeto de estudio fue el análisis del diseño de las estructuras con alambres en las artesanías. El concepto que manejan los artesanos de estructura radica en la configuración que hacen con el alambre, para luego entrecillar; entrecillar es forrar al alambre con la palma de iraca. Las figuras son formas configuradas en alambre; la relación que existe entre una figura y una estructura hecha con alambre es que la primera es una parte de la estructura, como se observa en la figura 1 y que de la unión de varias figuras hace una estructura. Es precisamente la estructura la encargada de darle forma y firmeza a la artesanía.

El proceso de elaboración de las artesanías de palma de iraca inicia con la elección del alambre galvanizado, que se usa para realizar la estructura; los grosores utilizados son No. 18, 16, 14, 12 y 10. Entre mayor sea el número menor es el grosor del alambre o, de otra forma, entre menor sea el número mayor es el grosor del alambre, es decir, un alambre No. 18 es menos grueso que un alambre No.16. Los artesanos escogen el calibre del alambre, teniendo en cuenta la artesanía que van a realizar; si necesitan que el alambre se pueda moldear o sea fácil de manejar utilizan el alambre No.18 o el No.16, por el contrario, si necesitan que la estructura de la artesanía sea fuerte, optan por el alambre No.10 o No.12. El No. 14, se utiliza regularmente para hacer figuras grandes, como, por ejemplo, una panera; un alambre No. 14, les da fuerza o contextura a las artesanías.

Tabla 1. Preguntas empleadas para la entrevista semiestructurada. Estructuras en artesanías en Usiacurí.

Estructuras en alambres y moldes de las artesanías de Usiacurí y problematización de los resultados en clases de matemáticas	
Fecha de la entrevista	10-10-19
Hora de inicio	8:30 a.m.
Hora de finalización	12:30 a.m.
Duración	4 horas
Lugar	Usiacurí, municipio del departamento del Atlántico – vivienda de la señora Edilsa valdomino
Entrevistado	Edilsa valdomino, Elmer Angulo, Manuel Salas
Labor	Artesano
Entrevistadores	Laura Álvarez, Rubén Felizzola, Armando Aroca
Presentación: Se expone a los artesanos el propósito de la entrevista, el cual, fue conocer los procesos de elaboración de las estructuras geométricas hechas en alambres y el uso de moldes, para la realización de artesanías de palma de iraca.	

Continuación tabla 1.

<p>Objetivo de la entrevista: Conocer los procesos de elaboración de las estructuras geométricas hechas con alambres y el uso de moldes, para la realización de artesanías de palma de iraca, enfocándonos en la observación de las figuras geométricas y el tipo de medición que realizan los artesanos Edilsa Valdomino, Elmer Angulo y Manuel Salas.</p> <p>Proceso 1. Aprendizaje</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué los inspiran para hacer estas artesanías? 2. ¿Cómo nació el amor por este arte? 3. ¿Qué tiempo llevan realizando estas artesanías? 4. ¿Quién les enseñó este arte? 5. ¿En la actualidad enseñan este arte a otras personas? 6. ¿Motivarían a las nuevas generaciones a conocer y aprender la elaboración de las artesanías? <p>Proceso 2: Obtención de la materia prima</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. ¿Qué materiales y herramientas se utilizan en el proceso de elaboración de artesanías con palma de iraca? 8. ¿Por qué utilizan el alambre y no otro material como soporte? 9. ¿Cómo determinan la cantidad de alambre a utilizar? 10. Según el grosor del alambre, ¿qué tipos de artesanías se pueden realizar? 11. ¿Miden el alambre antes de realizar las estructuras? 12. ¿Qué tipo de alambre utilizan para la elaboración de las estructuras? <p>Proceso 3: Estructuras geométricas en alambres</p> <ol style="list-style-type: none"> 13. ¿De qué manera escogen las figuras que realizarán en el alambre? 14. ¿Pueden hacer cualquier tipo de figuras geométricas con el alambre? 15. ¿Cómo realizan las figuras a mano, usando botellas u otro objeto? 16. ¿Cuáles son las figuras más comunes que se realizan en las estructuras con alambre? 17. ¿Qué tipo de figuras geométricas utilizan (círculos, cuadrados, rectángulos, otros) para realizar las estructuras con alambre? 18. ¿Para la elaboración de las estructuras utilizan algún molde? 19. En caso de usar molde, ¿en qué figuras consideran pertinentes hacer el uso de estos? 20. ¿Cuáles son las figuras geométricas que utilizan con más frecuencia? 21. ¿Qué tipo de estructuras geométricas en alambres son las más complejas de realizar? 22. ¿Cómo determinan qué estructura geométrica emplearán al momento de realizar la artesanía? 23. ¿Qué técnicas utilizan para que las figuras geométricas queden rectas e iguales? 24. ¿Qué tipo de figura geométrica requiere más tiempo de elaboración con el alambre? 25. ¿Cuáles figuras geométricas se pueden combinar al realizar una artesanía? 26. Con base a la pregunta anterior, ¿cómo miden las figuras para una correcta combinación? 27. Para el caso de realizar combinaciones de 2 figuras, ¿cómo ubican la figura con respecto a la otra? 28. ¿Cómo realizan el proceso de medición para elaborar las estructuras en alambres? 29. ¿Cuáles son las artesanías que más elaboran? 30. ¿Realizan el proceso de soldadura para sellar la estructura? <p>Proceso 4: Cruces con la palma de iraca en las estructuras de alambre</p> <ol style="list-style-type: none"> 31. ¿Cómo realizan las puntadas de las palmas de iraca? 32. ¿Cuáles son las puntadas tradicionales más utilizadas? 33. ¿Cuáles son las diferentes puntadas que se realizan en el proceso del cruce? 34. ¿Cómo escogen los modelos para elaborar las artesanías en palma de iraca? 35. ¿Las puntadas que realizan dependen del diseño? 36. ¿Qué tipo de puntadas requiere de más tiempo? 37. ¿Qué puntadas consideran más complejas al momento de realizar el cruce? 38. ¿Tienen en cuenta la simetría de las figuras al realizar los cruces?
--

A continuación, se categorizan los resultados, resaltando las figuras geométricas elaboradas en alambres, las técnicas para su producción, los procesos de corte y medidas, inmersos en la práctica artesanal; de igual modo, los tipos de uniones del alambre y, por último, las medidas involucradas en la elaboración de dos artesanías.

El diseño de las estructuras varía según la artesanía que se desea hacer; el modelo lo escoge el artesano o, en ocasiones, el cliente. Las formas o figuras que más predominan en la elaboración son las

bolitas, cuadro, rectangular, bischocho o alfajor, entre otras, como se observa en la figura 1. El tamaño de las figuras en alambre depende de la artesanía, del diseño o de la elección del artesano; en ocasiones, las estructuras tienen combinaciones de figuras.

Durante la investigación, se observó que los artesanos, para darle forma al alambre, usan tres técnicas: la primera es con ayuda de los dedos; la segunda es ayudándose con cualquier objeto que tenga su figura y la tercera es a través de un molde. No solo hacen figuras

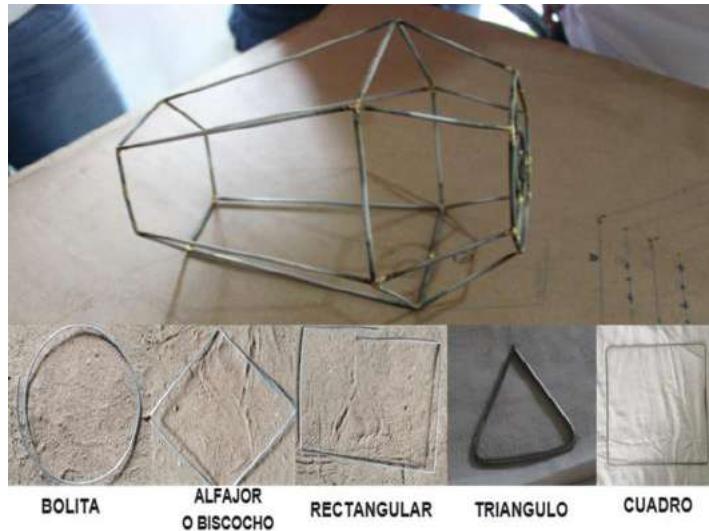


Figura 1. Figuras geométricas en alambres y estructura hecha por los artesanos de Usiacurí, Atlántico.

geométricas, también caracolitos y siluetas de animales. Con creatividad, los artesanos emplean sus dedos para darle forma al alambre. En la figura 2, se muestra la manera de hacer la forma de un círculo en alambre con ayuda de los dedos; el dedo pulgar es el encargado de moldear la figura; este método es el más tradicional. A través de esta técnica pretenden configurar el alambre con ayuda de un objeto, que le pueda brindar la forma que deseen. En la figura 2, se observa al artesano usando una olla para que el alambre tome una forma circular. Según Manuel, cuando quieren hacer bolitas más

pequeñas optan por apoyarse de tubos, como lo muestra la figura 2. En la práctica artesanal, para darle forma al alambre, se apoyan de objetos, como ollas, vasos, tubos, botellas. En ocasiones, los artesanos elaboran las figuras o estructuras en alambre, a través de moldes que son hechos en cartulina y que tienen medidas establecidas. En el segundo trabajo de campo, se observó al artesano usar un molde que está en una de sus mesas de trabajo, como se visualiza en la figura 3.



Figura 2. Artesanos dándole forma al alambre con los dedos y con objetos.

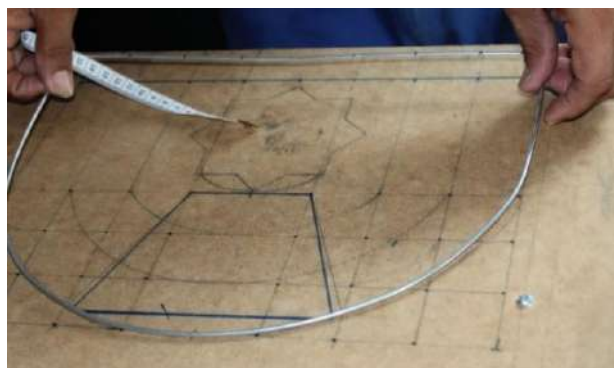


Figura 3. Uso del molde para hacer la figura en alambre.

Los artesanos hacen cortes, teniendo en cuenta la figura que van a elaborar. Al soldar la estructura o figura, el corte lo hacen en cualquier parte del alambre; sin embargo, en el caso de no soldar los alambres, es decir, cuando la unión la hacen con la palma de iraca, hacen un corte a la mitad de uno de los lados de la figura, dejando unos centímetros más de alambre, para que se pueda unir. En algunas ocasiones realizan el corte al ojo, ad-óculos, por estimación, si la figura es sencilla. Para que el alambre tenga el corte que deseen, se apoyan de la pinza y alicates. Las medidas de las figuras en alambre son fundamentales, puesto que eso evita que la artesanía salga torcida, por eso realizan medidas de manera constante durante su elaboración. Para medir los lados de las estructuras utilizan cinta métrica o flexómetro, recurren a usarlos cuando necesitan medidas exactas.

Para la unión entre alambres, se tienen dos opciones: 1) montando una punta del alambre sobre otra y haciendo un amarre con la fibra de iraca y 2) la unión que se realiza con soldadura. Las primeras se realizan haciendo un entrecillado entre las dos figuras de alambre, para juntarlos, quedando sólida la estructura, como se observa en la figura 4. Para que se logre la unión con el amarre de la palma cortan el alambre por la mitad de uno de los lados de la figura. Las uniones con soldadura las realizan los artesanos para que quede la estructura más sólida y exacta; al realizar el proceso de soldadura, el valor de la artesanía aumenta; este tipo de unión le da mucha más firmeza a la artesanía.

Medidas involucradas en la elaboración de dos artesanías de Usiacurí. En los dos trabajos de campo, se observó el proceso de

elaboración de dos artesanías representativas, la panera y la lámpara. Se presentará el paso a paso de creación y se enfatiza en las medidas involucradas en su elaboración.

Elaboración de la panera y las medidas relacionadas en el proceso. Para realizar una panera, lo primero que se tiene que hacer es elaborar ocho bolitas; se comienza construyendo la bolita central y luego seis bolitas con la misma medida en su diámetro; la medida del diámetro depende del tamaño de la bolita central, puesto que el diámetro de las seis bolitas laterales, siempre tienen que ser 2cm más pequeñas al diámetro de la bolita central, como se observa en la figura 4. Luego, el artesano procede a realizar el entrecillado sobre las siete bolitas ya construidas; al terminar esta actividad, comienzan a hacer las uniones entre estas con la palma de iraca. Primero colocan, como base, la bolita del centro, para luego, hacer la unión con las otras seis bolitas. Después, se procede a realizar la octava bolita (Figura 4).

Al construir la octava bolita, se comienza a unirla con las bolitas laterales, a través del entrecillado, para, posteriormente, hacer los acabados que hacen parte del diseño; de esta manera, se finaliza la construcción de una panera. De manera general, se establecen unas medidas y las relaciones entre los diámetros de la bolita central con las bolitas laterales. En la práctica artesanal estas medidas las clasifican, teniendo en cuenta el tamaño de la panera, como se muestra en la tabla 2.

Elaboración de la lámpara y las medidas relacionadas en el proceso. Los artesanos tienen en cuenta tres medidas diferentes de los lados

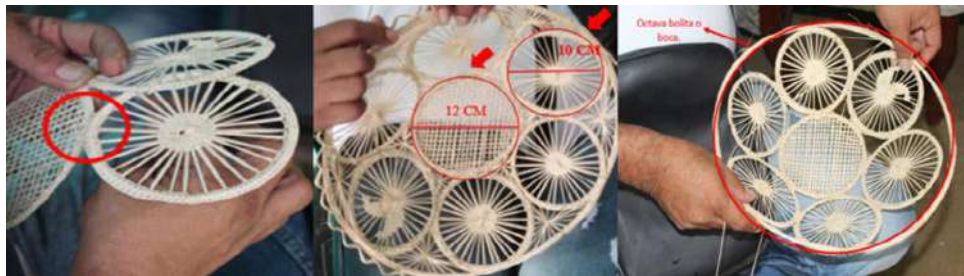


Figura 4. Partes de una panera y su unión con palma de iraca.

Tabla 2. Medidas relacionadas en la elaboración de la panera y la lámpara.

Tamaño de la panera	Medidas involucradas	
Grande	El diámetro de las 6 bolitas será 23cm y el diámetro de la bolita del centro es de 25cm	
Mediana	El diámetro de las 6 bolitas será 10cm y el diámetro de la bolita del centro es de 12cm	
Pequeña	El diámetro de las 6 bolitas será 6cm y el diámetro de la bolita del centro es de 8cm	
Lámparas	Medida de lados de hexágono inferior y superior	Medida de lados de hexágono del medio
Grande	8cm	12cm
Mediana	6cm	10cm
Pequeña	4cm	8cm

de los hexágonos, como base para la lámpara. Se utiliza un molde para la elaboración de la lámpara; la longitud de los lados de los hexágonos varía según el tamaño de la artesanía. El hexágono de la parte inferior debe tener la misma medida que el hexágono de la parte superior y el hexágono del medio tendrá 4cm más grande en sus lados. Durante la elaboración de la lámpara, se tiene en cuenta las medidas de los lados de los hexágonos, según el tamaño de la artesanía que desee hacer. El artesano establece tres tamaños de lámparas, la grande, la mediana y la pequeña y cada una tiene las medidas determinadas en los lados de sus hexágonos (Tabla 2). Para hacer una lámpara mediana, se hacen 3 hexágonos en alambres; 2 de estos, con lados de 6cm de longitud y la tercera, con 10cm, para cada lado. Luego, realiza la unión entre los 3 hexágonos, a través de pedazos de alambres, que unen los vértices del hexágono inferior con los vértices correspondientes del hexágono de la mitad; de igual manera, toma otros seis pedazos de alambre, para hacer la unión de los vértices del hexágono del medio con los vértices del superior, finalizando la elaboración de la estructura. Se termina la artesanía con el entrecillado de palma de iraca, en toda la estructura.

A continuación, se presentará una discusión a partir de dos ejes, el primero de ellos, sobre el uso del lenguaje matemático de los artesanos y, el segundo, sobre los conocimientos matemáticos, que se evidenciaron en el diseño de estructuras.

El uso del lenguaje matemático de los artesanos. Los hallazgos obtenidos en los dos trabajos de campo permiten afirmar que los artesanos de Usiacurí manejan un rico lenguaje matemático. Dentro de la comunidad artesanal existe el uso de términos de elementos matemáticos acuñados por ellos mismos, que es reconocido en el contexto socio cultural de su población. Los artesanos denotan palabras, como alfajor o bischocho, refiriéndose al rombo; rectangular, refiriéndose al rectángulo; cuadro, al cuadrado; bolita, refiriéndose a la circunferencia; caracolito, a la espiral. Por otro lado, Albanese *et al.* (2016) afirman que, a través del lenguaje, las matemáticas constituyen un producto sociocultural. Esta investigación, de igual manera, destaca el uso del lenguaje propio en las prácticas culturales.

Algunos artesanos, a pesar de no poseer un saber matemático escolarizado, manejan un conocimiento matemático propio, que lo llevan al mundo que los rodea, afirmando ellos que existe un conocimiento matemático implícito en su práctica. Este conocimiento matemático se expresa, entre otras, a través de tres dimensiones, a saber:

Los espirales y figuras geométricas una muestra de la creatividad en el diseño. En la elaboración de las estructuras en alambre prevalecían diversas figuras geométricas, en la mayoría de los casos, los artesanos realizan combinaciones entre estas. Los espirales, llamados caracolitos por los artesanos, predominan en el diseño de las estructuras, al ser usados con frecuencia. Los artesanos configuran el alambre para resaltar su estilo propio, a través de espirales y figuras geométricas. Se evidenció el desarrollo del pensamiento geométrico de los artesanos para diseñar y elaborar las estructuras. Los investigadores deducen la existencia de la geometría en el diseño. Lo anterior reafirma lo planteado por Fuentes (2011), quien obtiene resultados similares a

los de esta investigación y resalta que existen estrategias geométricas en las artesanías de la cestería.

La importancia de estimar el diámetro en el diseño de la estructura de la panera. Dentro del análisis de la información, se evidenció que, al momento de construir la panera, primeramente, se realizaron ocho bolitas; seis de ellas, tenían el mismo diámetro y las otras dos tenían un diámetro mayor. Los artesanos utilizan la medida del diámetro de las bolitas en el diseño de la estructura de la artesanía; los artesanos denominan radio al diámetro. Las medidas del diámetro de estas circunferencias hechas en alambres son importantes, puesto que evita defectos o deformidades en la artesanía. El conocimiento empírico de los artesanos permite que ellos sepan que el diámetro de la bolita central tenga 2cm más que el de las bolitas laterales; en caso de no ser así, la estructura de la artesanía queda deforme. Con base a lo planteado, se destaca el estudio de Bernardino & García (2012), quienes proponen que la geometría se encuentra inmersa en la práctica cultural. Los hallazgos de su investigación presentan ciertas similitudes a la nuestra, al plantear la existencia de nociones de geometría, incluso complejas, empleadas por los grupos culturales.

Congruencia y semejanza en el diseño de la estructura de la lámpara. En la elaboración de la estructura en alambre de la lámpara, se pudieron observar procesos matemáticos inmersos, como son congruencia y semejanza de figuras planas. El artesano realiza los tres hexágonos, apoyándose de un molde en el que tiene establecidas las medidas de los lados y los ángulos internos de cada figura; la longitud de los lados varía según el tamaño de la artesanía. En la investigación etnográfica, se observó la elaboración de la estructura de la lámpara grande (Figura 1), las medidas de los lados de 2 de sus hexágonos son de 8cm y el hexágono central de 12cm, como se muestra en la tabla 2. Se dedujo, que existen dos conceptos geométricos, la congruencia y la semejanza, presentes en el diseño de la estructura.

La proyección de la investigación con estos temas matemáticos inmersos en la elaboración de las artesanías, está guiada a aplicarlo en el aula de clases, de esta forma, se podrían realizar planes para la enseñanza de geometría, en la que se destaque, de manera paralela, las matemáticas presentes en la práctica cultural y las matemáticas escolarizadas. Por consiguiente, se concuerda con Fuentes (2013), que concluye que es importante resaltar el rol de la etnomatemática en la escuela, al trazar la relación entre el contexto sociocultural del estudiante y el aprendizaje de la matemática en la escuela, respetando los distintos saberes constituidos por los diversos grupos al interior de estos. También, se presenta concordancia con lo propuesto por Morales *et al.* (2018), quienes resaltan las nociones geométricas presentes en el diseño de las artesanías, que pueden ser aprovechadas para el diseño e implementación de medios didácticos, en el aula de clases de matemáticas.

Para concluir, en esta investigación se muestran los conceptos geométricos presentes en la elaboración de las estructuras de las artesanías usiacureñas; por un lado, se evidenció el manejo de figuras planas en su diseño, algunas de las más usadas por los artesanos son las circunferencias, cuadrados, triángulos, rombos, entre otras.

Se observó que, en la práctica artesanal, los expertos en el oficio realizan diferentes modelos de las artesanías con estructuras, usando diversas combinaciones de formas o figuras hechas en alambres; en ocasiones, suelen realizar figuras repetidas, llegando a ser congruentes o semejantes. También, se encontró que los artesanos, durante el proceso de elaboración de sus artesanías, utilizan ciertas medidas estipuladas, además un dialecto propio y expresiones matemáticas diferentes, para denominar las figuras geométricas y espirales. Finalmente, los hallazgos obtenidos sirven como material de apoyo para crear medios o situaciones didácticos relacionadas con temas geométricos y matemáticos, al mismo tiempo que estas actividades pueden ser problematizadas en el aula de clase.

Agradecimientos: Agradecemos la colaboración y la disposición durante el desarrollo de la investigación etnográfica a los artesanos Ever Padilla Jiménez, Lázaro Salazar Silvera, Manuel Salas Herrera y a su esposa Edilsa Valdmino, quienes nos abrieron las puertas de sus casas y compartieron los conocimientos de su quehacer, ofreciéndonos aportes significativos al estudio. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. La financiación de la investigación fue de recursos propios de los investigadores.

REFERENCIAS

- ALBANESE, V. 2015. Etnomatemáticas en artesanías de trenzado y concepciones sobre las matemáticas en la formación docente. Enseñanza de las Ciencias. Rev. Investigación y Experiencias Didácticas. (España). 33(1):277-278. <http://hdl.handle.net/10481/35195>
- ALBANESE, V.; PERALES, F.J.; OLIVERAS, M.L. 2016. Matemáticas y lenguaje: concepciones de los profesores desde una perspectiva etnomatemática. Perfiles educativos. (México). 38(152):31-50. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2016.152.57586>
- AROCA, A. 2009. Geometría en las mochilas arahuacas. Por una enseñanza de las matemáticas desde una perspectiva cultural. Editorial Universidad del Valle (Cali). 234p.
- AROCA, A. 2014. La lógica de elaboración en los diseños de los platos de las culturas prehispánicas de Nariño. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 17(2):587-596
- AROCA, A. 2016. La definición etimológica de Etnomatemática e implicaciones en Educación Matemática. Educación Matemática (México). 28(2):175-195.
- BERNANDINO, N.; GARCÍA, J. 2012. Nociones de geometría presentes en la elaboración del güilile: un estudio de casos. World Wide Web electronic publication. Disponible desde Internet en: https://www.researchgate.net/publication/318470694_Nociones_de_Geometria_presentes_en_la_elaboracion_del_Guilile_Un_estudio_de_casos (con acceso el 07/01/2020).
- BISHOP, A. 1999. Enculturación matemática: La educación matemática desde una perspectiva cultural. Ed. Ibérica S.A./ Paídos, SAICF. (Buenos aires). 239p.
- BISHOP, A. 2005. Aproximación sociocultural a la educación matemática. Programa Editorial Universidad del Valle. (Cali). 199p.
- BLANCO, H. 2008. Entrevista al profesor Ubiratan D' Ambrosio. Revista Latinoamericana de Etnomatemática. (Colombia). 1(1):21-25.
- D'AMBROSIO, U. 2011. Etnomatemática. Elo entre as tradições e a modernidade. Belo Horizonte. Autêntica Editora. (Brasil). 109p.
- D'AMBROSIO, U.; KNIJNIK, G. 2020. Ethnomathematics. En: Lerman, S. (ed.). Encyclopedia of Mathematics Education. Second Edition. Springer (Switzerland). p.283-288.
- DUQUE, C. 2012. Lenguaje creativo de etnias indígenas de Colombia. Grupo Suramericana S.A. (Medellín). 533p.
- ENRÍQUEZ, W.; MILLÁN, B.; AROCA, A. 2012. Análisis a los diseños de los sombreros de iraca elaborados en Colón - Génova, Nariño. Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. (Colombia). 15(1):227-237. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.820>
- FUENTES, C. 2011. Algunos procedimientos y estrategias geométricas utilizadas por un grupo de artesanos del municipio de Guacamayas en Boyacá, Colombia. Rev. Latinoamericana de Etnomatemática. (Colombia). 4(1):55-67.
- FUENTES, C. 2013. Etnomatemática y escuela: algunos lineamientos para su integración. Rev. Científica. (Colombia). 14:46-50.
- FUENTES, C. 2019. Etnomatemática para comprender la realidad: analizando la calidad de vida en algunos países de Latinoamérica. Rev. Latinoamericana de Etnomatemática. (Colombia). 12(1):25-43.
- GERDES, P. 2007. Geometría y Cestería de los Bora en la Amazonía Peruana (1ra ed.). Centro de Investigación Etnomatemática - Cultura, Matemática, Educación. (Maputo). 182p.
- GRUPO VALES.CO. 2014. Las unidades del discurso oral. Estudios de Lingüística del Español. 35:13-73.
- HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C.; BAPTISTA, P. 2014. Metodología de la investigación. Editorial McGraw Hill. (México). 656p.

20. MORALES, M.; AROCA, A.; ÁLVAREZ, L. 2018. Etnomatemáticas y educación matemática: análisis a las artesanías de Usiacurí y educación geométrica escolar. *Rev. Latinoamericana de Etnomatemática (Colombia)*. 11(2):120-141.
21. RODRÍGUEZ, A.L.; RODRÍGUEZ, C.E.; GUTIÉRREZ, S.M.; NOVOA, A. 2017. *Memorias de oficio: iraca Usiacurí. Artesanías de Colombia*. (Bogotá).
22. RODRÍGUEZ-NIETO, C.; MOSQUERA, G.; AROCA, A. 2019. Dos sistemas de medidas no convencionales en la pesca artesanal con cometa en Bocas de Ceniza. *Rev. Latinoamericana de Etnomatemática (Colombia)*. 12(1):6-24.



Brote inusitado de leishmaniasis cutánea en zona rural de Ibagué: desafíos de la notificación

Unusual outbreak of cutaneous leishmaniasis in rural Ibagué: notification challenges

Blanca Lisseth Guzmán-Barragán¹; Catalina Ballesteros-González²; Daniela Torres-González³; Yessica Lorena Guzmán⁴

¹MVZ, Ph.D. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A, Grupo Ciencia Animal. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: blanalissethguz@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3465-1114>

²Estudiante de MV. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A, Semillero de Epidemiología y Salud Pública Veterinaria. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: anballesteros@udca.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-1603-4435>

³Estudiante de MV. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A, Semillero de Epidemiología y Salud Pública Veterinaria. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: danielatorres@udca.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9017-4589>

⁴MVZ. Unidad de Salud de Ibagué, Grupo Ibagué Saludable. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: ylguzman@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2232-3826>

Cómo citar: Guzmán-Barragán, B.L.; Ballesteros-González, C.; Torres-González, D.; Guzmán, Y.L. 2021. Brote inusitado de leishmaniasis cutánea en zona rural de Ibagué: desafíos de la notificación. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1502. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1502>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: marzo 17 de 2020 **Aceptado:** enero 20 de 2021 **Editado por:** Ingeborg Zenner de Polanía

INTRODUCCIÓN

La leishmaniasis es una infección de amplia distribución mundial. Es causada por un protozoo del género *Leishmania*, que incluye más de 20 especies (Torres *et al.* 2017). La leishmaniasis presenta tres formas clínicas: cutánea, con presentación de ulcera cutánea; mucosa, afectando la mucosa del tabique nasal, paladar y faringe y visceral, afectando órganos internos y la médula ósea casi siempre fatal (Handler *et al.* 2015). Esta enfermedad es transmitida por un insecto vector del género *Lutzomyia* (Diptera: Psychodidae) y los animales domésticos y animales silvestres pueden actuar como reservorios, aumentando el potencial de transmisión (Calderón *et al.* 2018). En zonas endémicas, la enfermedad es asociada con las condiciones de pobreza, falta de saneamiento básico, malas condiciones de viviendas, malnutrición, desplazamiento de la población,

condiciones higiénico-sanitarias, el sistema inmunitario (Alvar *et al.* 2006).

La OMS estima 12 millones de personas en el mundo infectadas por leishmaniasis y 350 millones más, en riesgo de infectarse; cada año ocurren alrededor de 0,9 y 1,6 millones de casos nuevos de leishmaniasis en el mundo, causando entre 20.000 a 30.000 muertes por año (WHO, 2019). La leishmaniasis cutánea es la forma más frecuente; en el mundo, se reportan entre 600.000 y 1 millón casos nuevos al año, principalmente, en las Américas, la cuenca del Mediterráneo, Oriente Medio y Asia Central (WHO, 2019). En América Latina, entre el periodo de 2001–2017, se reportaron un total de 940.396 casos nuevos de leishmaniasis cutánea y mucosa, provenientes de 17 de los 18 países endémicos; los países con mayor reporte son Brasil seguido de Colombia, Perú y Nicaragua (OPS, 2019; Karimkhani

et al. 2016). En Colombia, entre el 2008 a 2018, se han notificado 110.366 casos, en sus tres formas clínicas; el 98,50% de ellos corresponden a leishmaniasis cutánea (INS, 2018).

La leishmaniasis presenta desafíos para su control por su diversidad etiológica, compleja epidemiología, dificultades diagnósticas y falta de herramientas para un adecuado y oportuno tratamiento (Antinori *et al.* 2012; Alvar *et al.* 2006). Un objetivo frente a las enfermedades infecciosas desatendidas (EID) y al plan de acción de Leishmaniasis es la disminución de la letalidad de leishmaniasis visceral y la proporción de casos de leishmaniasis cutánea en los ≤ 10 años en el mundo (OPS, 2019). El objetivo de este estudio fue describir el brote de leishmaniasis cutánea inusitado ocurrido en la zona rural del municipio de Ibagué, en el 2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

El brote de leishmaniasis cutánea ocurrió en veredas del municipio de Ibagué, ubicado en el centro-occidente de Colombia, en la región andina, coordenadas geográficas 4° 26' 16" N y 75° 12' 02" O, temperatura anual entre 25 a 28°C, a una altitud de 1.250 y 1.400m s.n.m., las precipitaciones fluctúan entre 2.000 y 3.000mm anuales. Las veredas afectadas fueron Honduras, con 133 habitantes; San Cristóbal, 214; San Francisco, 268 habitantes; Caucho Parte Alta, con 71; Charo Rico, 258, pertenecientes a la cuenca mayor del río Combeima, subcuenca del río Coello, con un clima tropical boscoso. El análisis del brote fue elaborado a partir de información epidemiológica reportada en documentos, reportes, encuestas, comités y diagnósticos. Se realizó un análisis descriptivo de los casos, considerando el tiempo y el espacio, las características sociodemográficas, las características clínicas, el diagnóstico, el tratamiento, la evolución de las lesiones y las medidas de control y prevención.

El diagnóstico, se realizó mediante análisis parasitológicos e histopatológicos en el laboratorio de parasitología de la USI E.S.E, a partir de muestras tomadas de los pacientes, con lesiones activas. Técnicas moleculares fueron realizada en un paciente de 60 años, la muestra fue enviada y procesada por el laboratorio de parasitología

de la Universidad Nacional de Colombia, mediante: (a) reacción en cadena de la polimerasa (PCR) gen ribosomal de *Leishmania* spp.18S; (b) reacción en cadena de la polimerasa (PCR) gen de *Leishmania* spp. Hsp 70 y (c) restricción con enzimas HaeIII y BclI. Para el estudio entomológico, se instalaron trampas de capturas de insectos de CDC de luz incandescente en el intradomicilio, peridomicilio y extradomicilio de las viviendas de las veredas Cauchos Parte Alta, Charco Rico y Honduras. Se georreferenció cada vivienda, se registraron los datos de altitud, temperatura y la humedad relativa. La identificación taxonómica de los vectores, se realizó en el laboratorio departamental de salud pública.

Se llevó a cabo una caracterización socioambiental, mediante una encuesta semiestructurada, aplicada a todas las 226 viviendas de las veredas afectadas y un total de 1.072 personas, aplicada por los técnicos de saneamiento básico de la Secretaría de Salud y la USI E.S.E., con previo consentimiento informado. Los resultados de la encuesta fueron sistematizados y analizados descriptivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El brote inició el 30 de mayo de 2017, con un total de 39 casos, entre la semana 17 a la 51, del 2017; los casos pertenecen a la vereda San Cristóbal, 48,7%; Honduras, 20,5%; San Francisco, 20,5%; Charco Rico, 7,7% y Cauchos Parte Alta, 2,6% (Figura 1). La región Andina es la que presenta mayor número de casos de leishmaniasis cutánea; entre el 2009 a 2010, se alcanzó un total de 12.847 casos, mostrando un aumento significativo de la incidencia en el departamento del Tolima (Herrera *et al.* 2018). La caracterización demográfica de los casos muestra que el 56,4% fueron del género masculino y 43,6%, femenino. Los grupos de edad más afectados son los comprendidos entre el 35 a 39 años, con el 23,1% y de 40 a 44, de 15,4%, edad con mayor actividad laboral; el 33,4% fueron menores de 19 años, siendo registrados casos en menores de 5 años. La principal actividad económica fue agricultores, 51,2%, seguido de ama de casa, 28,2% y 20,6%, otros. El 79,5% de los casos pertenecieron al régimen subsidiado y el 15,4%, al contributivo; el 5,1% no presenta una afiliación en el sistema de salud.

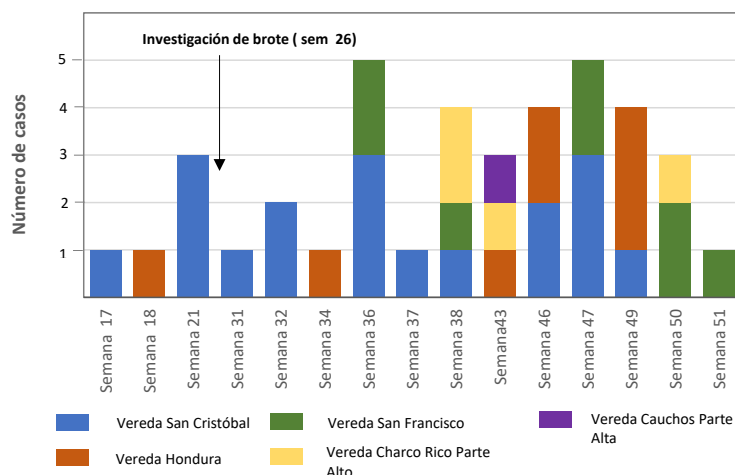


Figura 1. Curva epidémica del brote de leishmaniasis cutánea en zona rural de Ibagué, 2017.

Las lesiones comenzaron en el sitio de la picadura: el 33,3%, piernas; 20%, brazos; 8,9%, espalda; 6,7%, abdomen; 4,4%, cara y 2,2%, orejas (Figura 2). El 28,2% de los pacientes refiere tener menos de un mes de evolución de la lesión; 38,5% refiere un mes de evolución; 20,5%, 2 meses y 12,8%, 3 meses. Se realizó el tratamiento a 26 pacientes con glucantime inyectable (Antimoniato de meglumina), a los pacientes menores de edad y a los que presentaban complicaciones cardíacas y renales (3 pacientes), se les suministró miltefosina

oral o anfotericina B liposomal. Los principales efectos adversos fueron dolores osteomusculares, malestar general y fiebre; ningún tratamiento fue suspendido. Se evidencia amplias distancias para acceder al tratamiento, puesto que los pacientes recorren entre 10,2 a 20,3km desde las veredas hasta la USI E.S.E., ubicada en el casco urbano; los resultados evidencian una subnotificación de casos. En Colombia, la transición al actual modelo de salud ha centralizado la asistencia en salud en los cascos urbanos, dificultando la asistencia sanitaria en la zona rural (Vargas *et al.* 2010).



Figura 2. Lesiones de los casos de Leishmaniasis cutánea en el brote ocurrido en zona rural de Ibagué, 2017. Fuente: Secretaría de Salud de Ibagué.

El diagnóstico molecular identificó la especie *Leishmania (Vannia) guyanensis*. En Colombia, se ha registrado a *L. guyanensis* en la región Andina, Caribe, Amazonas y Orinoquia (Salgado-Almarino *et al.* 2019); recientemente, se reportó en la región Pacífica (Martínez

et al. 2021). Su amplia distribución puede estar relacionada a desplazamiento, causado por el conflicto interno, la migración de los reservorios y la participación de nuevos actores epidemiológicos (Martínez *et al.* 2021). El diagnóstico de la especie es necesario para

establecer tratamientos más adecuados, considerando la variabilidad en la sensibilidad en el tratamiento. La *L. guyanensis* es menos sensible a los antimoniales pentavalentes (Arevalo *et al.* 2007); en Manaus (Brasil), se demostró que la miltefosina era más efectiva que el antimonial pentavalente, para obtener la mejoría de las lesiones de Leishmaniasis cutánea (Chrusciak-Talhari *et al.* 2011). En Colombia, se requiere fortalecer el diagnóstico en los casos reportados, en el vector y para la identificación de reservorio.

Se recolectaron un total de 106 flebotomos: 14,1% (15), en domicilio; 32,1% (34), peridomicilio y el 53,8% (57), en extradomicilio, pertenecientes a la especie de *Lutzomyia longiflora*. A nivel nacional es la segunda especie con mayores registros, después de la *L. gomezi*; su distribución en el país es amplia, principalmente, en la región del Caribe, el Pacífico y los Andes (Ferro *et al.* 2015). Se observa un aumento de la distribución geográfica y de altitud, considerando que las veredas colindan con el municipio endémico de Rovira, ubicado a 870mm y las veredas, entre 1.556mm-1.846mm de altitud, con una distancia de 12,3km a 15,9km, entre las veredas y el municipio de Rovira. Peterson *et al.* (2017) sugieren la transmisión intradomiciliaria a partir de la presencia de *L. longipalpis* en el domicilio; la ampliación geográfica de *L. longipalpis* ha sido asociados a factores ambientales, deforestación, transformación de los ecosistemas, cambios en la temperatura resultado del cambio climático o la transformación de los ecosistemas.

El levantamiento socioambiental mostró condiciones favorables para la presencia de la *Lutzomyia* spp.; en el 65,1% de las viviendas, las paredes son de ladrillo y cemento; el 24,7%, de adobe y bahareque y un 10,2%, en madera. El 86,2%, los techos son de eternit y el 30,1% presenta piso de tierra. La disposición de basuras (54,8%), la realiza a campo abierto; 34,9%, quemadas y 10,3%, enterradas. El 65,1% posee inodoro en las viviendas y el 100% de los hogares no cuenta con suministro de agua tratada. Las viviendas, en su mayoría, cuentan con gallineros y cocheras y presencia de animales domésticos. Asimismo, los pobladores, en su mayoría, se dedican a la caficultura, ambiente adecuado para el vector y su reproducción (Alexander *et al.* 2001).

Entre las acciones de prevención y de control, se realizó aplicación de insecticida, promoción de prácticas de protección personal y entrega de toldillos y repelentes, así como el fortalecimiento de las capacidades de respuesta de los actores del SGSS. Los resultados de la encuesta muestran que el 18,5% utilizaban algún tipo de implementos contra mosquitos; el 74,5% reporta la ausencia e intermitencia de los programas de salud pública y el 82,3% manifiestan desconocer la enfermedad.

Debilidades de los programas de salud pública en Colombia, como la descentralización parcial, procesos de contratación, prácticas clientelistas, capacidad técnica, falta de personal idóneo, inestabilidad financiera de las instituciones, pueden influenciar la implementación de programas de prevención de la Leishmaniasis (Marín *et al.* 2016).

REFERENCIAS

- ALEXANDER, B.; AGUDELO, L.A.; NAVARRO, F.; RUIZ, F.; MOLINA, J.; AGUILERA, G.; QUIÑONES, M.L. 2001. Phlebotomine sandflies and leishmaniasis risks in Colombian coffee plantations under two systems of cultivation. *Med and Vet Entomol (United Kingdom)*. 15(4):364-373.
<https://doi.org/10.1046/j.0269-283x.2001.00322.x>
- ALVAR, J.; YACTAYO, S.; BERN, C. 2006. Leishmaniasis and poverty. *Trends Parasitol.* 22(12):552-557.
<https://doi.org/10.1016/j.pt.2006.09.004>
- ANTINORI, S.; SCHIFANELLA, L.; CORBELLINO, M. 2012. Leishmaniasis: new insights from an old and neglected disease. *Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis. (Alemania)*. 31(2):109-118.
<https://doi.org/10.1007/s10096-011-1276-0>
- AREVALO, J.; RAMIREZ, L.; ADAUI, V.; ZIMIC, M.; TULLIANO, G.; MIRANDA-VERASTEGUI, M.; LOZANO, M.; LOAYZA-MURO, R.; DE DONCKER, S.; MAURER, A.; CHAPPUIS, F.; DUJARDIN, J.; LLANOS-CUENTAS, A. 2007. Influence of *Leishmania (Viannia)* species on the response to antimonial treatment in patients with American tegumentary leishmaniasis. *J. Infect. Dis. (EE.UU)*. 195(12):184-651.
<https://doi.org/10.1086/518041>
- CALDERÓN-ANYOSA, R.; GAVLEZ-PETZOLDT, C.; GARCIA, P.; CARCAMO, C. 2018. Housing characteristics and Leishmaniasis: A Systematic Review. *Am. J. Trop. Med. Hyg. (EE.UU)*. 99(6):1547-1554.
<https://doi.org/10.4269/ajtmh.18-0037>
- CHRUSCIAK-TALHARI, A.; DIETZE, R.; CHRUSCIAK-TALHARI, C.; DA SILVA, R.; GADELHA, Y.; DE OLIVEIRA, P.; LIMA, P.; TALHARI, S. 2011. Randomized controlled clinical trial to access efficacy and safety of miltefosine in the treatment of cutaneous leishmaniasis caused by *Leishmania (Viannia) guyanensis* in Manaus. *Am. J. Trop. Med. Hyg. (EE.UU)*. 84(2):255-260.
<https://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0155>
- FERRO, C.; LOPEZ, M.; FUYA, P.; LUGO, L.; CORDOVEZ, J.; GONZÁLEZ, C. 2015. Spatial distribution of sand fly vectors and eco-epidemiology of cutaneous leishmaniasis transmission in Colombia. *PloS one*. 10(10).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139391>
- HANDLER, M.; PATEL, P.; KAPILA, R.; AL-QUBATI, Y.; SCHWARTZ, R. 2015. Cutaneous and mucocutaneous leishmaniasis. *J. Am. Acad. Dermatol. (EE.UU)*. 73(6):897-908.
<https://doi.org/10.1016/j.jaad.2014.08.051>

9. HERRERA, G.; THERAN, A.; PRADILLA, I.; VERA, M.; RAMIREZ, J.D. 2018. Geospatial-temporal distribution of tegumentary Leishmaniasis in Colombia (2007-2016). PLOS Negl Trop Dis (EE.UU). 12(4):e0006419. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006419>
10. INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, INS. 2018. LEISHMANIASIS CUTÁNEA, MUCOSA Y VISCERAL. Instituto nacional de salud. INS. Disponible desde Internet en: https://www.ins.gov.co/buscadoreventos/Informes-deevento/LEISHMANIASIS_2018.pdf (con acceso 3/11/18)
11. KARIMKHANI, C.; WANGA, V.; COFFENG, L.E.; NAGHAVI, P.; DELLAVALLE, R.P.; NAGHAVI, M. 2016. Global burden of cutaneous leishmaniasis: a cross-sectional analysis from the Global Burden of Disease Study 2013. Lancet Infect Dis (EE:UU). 16(5):584-591. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)00003-7](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00003-7)
12. MARÍN, G.M.; RAMIREZ, A.; RUIZ, A. 2016. Tensiones en las decisiones en salud pública en el sistema de salud colombiano: el bien común en confrontación con los intereses y prácticas particulares. Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública "Héctor Abad Gómez" (Medellín). 504p.
13. MARTÍNEZ ABAD, L.P.; PATERNINA, L.E.; PATERNINA-GÓMEZ, M.; PÉREZ DORIA, A.; BEJARANO MARTÍNEZ, E.E. 2021. Un nuevo registro de *Leishmania* (*Viannia*) *guyanensis* (Trypanosomatidae) de la costa pacífica de Colombia. Acta Biol. Colomb. 26(1). <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v26n1.78321>
14. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS. 2019. Leishmaniasis Informe epidemiológico de las Américas, marzo de 2019. Disponible desde Internet en: <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/50505> (con acceso 13/09/2020).
15. PETERSON, A.T.; CAMPBELL, L.P.; MOO-LLANES, D.A.; TRAVI, B.; GONZALEZ, C.; FERRO, M.C.; FERREIRA, G.E.M.; BRANDAO-FILHO, S.P.; CUPOLILLO, E.; RAMSEY, J.; LAFFER, A.M.C.; PECH-MAY, A.; SHAW, J.J. 2017. Influences of climate change on the potential distribution of *Lutzomyia longipalpis sensu lato* (Psychodidae: Phlebotominae). Int. J. Parasitol. (Netherlands). 47(10-11):667-674. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2017.04.007>
16. SALGADO-ALMARIO, J.; HERNANDEZ, C.; OVALLE, C. 2019. Distribución geográfica de las especies de Leishmania en Colombia, 1985-2017. Biomedica. 39(2):78-90. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v39i3.4312>
17. TORRES-GUERRERO, E.; QUINTANILLA-CEDILLO, M.; RUIZ-ESMENJAUD, J.; ARENAS, R. 2017. Leishmaniasis: a review. F1000Res (United Kingdom). 26(6):750. <https://doi.org/10.12688/f1000research.11120.1>
18. VARGAS-LORENZO, I.; VAZQUEZ-NAVARRETE, M.; MOGOLLON-PEREZ, A. 2010. Acceso a la atención en la salud en Colombia. Rev Salud Pública. (Colombia). 12(5):701-712. <https://doi.org/10.1590/S0124-00642010000500001>
19. WORD HEALTH ORGANIZATION, WHO. 2019. Leishmaniasis en las Américas - Hoja informativa para los trabajadores de salud. WHO; Washington. Disponible desde Internet en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=13648:leishmaniasis-fact-sheet-health-workers&Itemid=40721&lang=es



Comparación de dos métodos de extracción de ADN a partir de hojas secas de guayaba (*Psidium guajava* L.) para estudios moleculares

Comparison of two methods of DNA extraction from dried guava leaves (*Psidium guajava* L.) for molecular studies

Enrique Pardo-Pérez¹; José Luis Coronado-González²; Mauricio Begambre-Hernández³

¹Lic. en Biología-Química, M.Sc., Ph.D. Universidad de Córdoba. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: epardop@correo.unicordoba.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-6467-5790>

²Biólogo. Universidad de Córdoba. Montería, Córdoba, Colombia; e-mail: jcoronadogonzalez@correo.unicordoba.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-8532-800X>

³Biólogo. Universidad de Córdoba. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: mbegambre@correo.unicordoba.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2032-3996>

Cómo citar: Pardo-Pérez, E.; Coronado-González, J.L.; Begambre-Hernández, M. 2021. Comparación de dos métodos de extracción de ADN a partir de hojas secas de guayaba (*Psidium guajava* L.) para estudios moleculares. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(1):e1504. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1504>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: marzo 22 de 2020

Aceptado: diciembre 12 de 2020

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que en el último siglo se viene presentando un incremento en el detrimento de la diversidad genética en los cultivos agrícolas y de la biodiversidad de los ecosistemas naturales (Angarita *et al.* 2017), se hace necesario concretar esfuerzos para la preservación de los recursos fitogenéticos de este importante recurso, que ocupa en Colombia, el tercer lugar con mayor demanda interna y el séptimo, de mayor producción (Asohofrucol, 2019).

Buena parte de los protocolos existentes, para aislar y purificar DNA de buena calidad, se basan en la técnica del bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB), por ser económico (Sahu *et al.* 2012). También existen en el mercado kits comerciales para la extracción de ADN, convenientes para obtener ADN de plantas, pero con

mayores costos económicos (Whitehouse & Hottel, 2007), que se diferencian en rendimiento de ADN, tipo y cantidad de muestra, tecnología de aislamiento y volumen de elución; deben ser adecuados para la extracción de múltiples muestras y producir exiguos residuos perjudiciales (Pipan *et al.* 2018).

Las hojas de guayaba contienen compuestos polifenólicos, flavonoides (Camarena-Tello *et al.* 2018), ácidos fenólicos y ácidos hidroxicinámicos (Narváez-Cuenca *et al.* 2020). Los fenólicos y los polisacáridos, se unen o coprecipitan con los ácidos nucleicos (Azmat *et al.* 2012), lo cual, puede acarrear al deterioro, a la contaminación y al bajo rendimiento del ADN (Sika *et al.* 2015). Nerdo *et al.* (2004) reportan éxito parcial en dos de los ocho métodos que utilizaron para extraer el ADN de las hojas jóvenes de guayaba, al igual que Kumari *et al.* (2018) y Kumar *et al.* (2020).

Cuando se trabaja en lugares apartados y no se dispone de lo necesario para congelar las muestras, éstas deben ser deshidratadas, utilizando gel de sílice. La obtención de ácidos nucleicos de tejidos vegetales secos, se suele dificultar, ya que la mayoría de los protocolos están estandarizados para trabajar con muestras frescas (Kumari *et al.* 2018 y Kumar *et al.* 2020). Ante esto, el presente estudio tuvo como objetivo la comparación de dos métodos de extracción de ADN, a partir de hojas secas de *Psidium guajava* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del material vegetal. Se colectaron hojas en fase madura de 10 árboles de guayaba, ubicados en el campus central de la Universidad de Córdoba (8°47'31.0" N y 75°51'45.0" W), las cuales, se colocaron en una bolsa pequeña resellable, que tenía, previamente, sílica gel y, después, almacenadas a temperatura ambiente.

Obtención del ADN. Se evaluaron dos metodologías de extracción: el comercial Kit de extracción Wizard Genomic de Promega® (USA, Promega A1120) (Kit Promega) y el Mini-prep de Doyle & Doyle (1987) modificado (MMpD&D). En el primero, se siguieron las recomendaciones del fabricante y para el segundo método, se realizaron las siguientes modificaciones: se reemplazó el octanol por alcohol isoamílico, se redujo la centrifugación a 13.000 rpm y se realizó la precipitación del ADN, con una solución de etanol absoluto + acetato de sodio en reemplazo del isopropanol.

Visualización del ADN. Se utilizó una electroforesis en gel de agarosa al 1% (p/v), utilizando TBE 1X teñido con Gel-Red 30X, que se visualizaron en un transiluminador DyNA Light™ UV (Labnet International Inc.) y documentados, mediante el fotodocumentador ENDURO™ GDS (Labnet International Inc.).

Cuantificación del ADN. El ADN obtenido fue cuantificado en un espectrofotómetro Colibri Microvolume Spectrometer (Titertek-Berthold, Berthold Detection Systems GmbH, Bleichstrasse, Pforzheim, Germany), se estimó la pureza del ADN, por medio de la relación de absorbancia (A260/A280nm).

Evaluación de la calidad del ADN. Se realizó mediante los marcadores *mPgCIR03*, *mPgCIR16*, *mPgCIR09* y *mPgCIR19* (Risterucci *et al.* 2005). La reacción en cadena de la polimerasa (PCR), se desarrolló en un volumen final de 25µL, que contenían 1U de Taq polimerasa (Thermo Scientific, Uklam-USA), 10pM de cada primer (forward y reverse), 0,2mM de dNTPs, buffer de PCR 1X (GIBCO-BRL, Groningen, Netherlands), 2,5mM de MgCl₂,

20ng/µL de ADN y agua estéril, hasta alcanzar el volumen final. El programa empleado es: 95°C, 3min; 95°C, 30s; 45°C, 30s; 72°C, 2min, con repetición de 40 ciclos del paso 2 al 4 y un paso final de extensión de 72°C, 10min. La PCR, se realizó en un termociclador Bioard T100 #1861096 (Los Ángeles, USA).

Amplificación del ADN. Para la verificación de cada producto PCR obtenido, se prepararon geles de agarosa al 1% (p/v), teñido con el reactivo GelRed™, las cuales, se corrieron en una cámara de electroforesis horizontal Mini-Sub® Cell GT Bio-Rad SF1704467 (Los Ángeles, USA), a 100 V y 50 mA por 40 minutos. Los geles, se visualizaron en un Transiluminador DyNA Light UV (Labnet International Inc., Cary, North Carolina, USA); los registros, se tomaron en un Fotodocumentador ENDURO™ GDS (Labnet International Inc., Cary, North Carolina, USA).

Análisis estadístico. Se utilizó el software SPSS para Windows, versión 17.0 (SPSS Inc., 2008). Para cada uno de los métodos de extracción, se calcularon las medias y las desviaciones estándar (s). Para identificar el método que presenta diferencias significativas en la concentración y calidad de ADN, se utilizaron las pruebas de Tukey y Dunnet (Miller, 1996). Para el análisis de las amplificaciones de los marcadores, se comprobó la proporción de éxito, mediante la prueba de Chi-cuadrado (Halos *et al.* 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio mostraron la eficacia del MMpD&D al compararlo con el Kit Promega, en cuanto a la extracción, pureza y rendimiento del ADN obtenido y mejora lo reportado por otros autores para la misma especie, quienes extrajeron ADN de hojas frescas de guayaba. Los resultados del análisis de absorbancia mostraron una concentración promedio de ADN en las muestras tratadas con el MMpD&D de 9,76ng/µL (s 2,028); asimismo, para la pureza del ADN, el valor obtenido en la relación A260/A280 fue 1,8 (s 0,128), mientras la concentración promedio de ADN obtenido con el Kit Promega fue 155,9ng/µL (s 91,8), mientras para la pureza del ADN el valor obtenido en la relación A260/A280 fue 1,12 (s 0,04) (Tabla 1).

Los ADN obtenidos mediante el kit Promega, se mostraron pegajosos, viscosos, oscuros, lo cual, indicaría la presencia de polifenoles de elevada densidad, que se co-purifican con el ADN, afectando la calidad del ácido nucleico obtenido (Deshmukh *et al.* 2007); además, Rojas *et al.* (2011) afirman que el color oscuro del pellet final evidencia la contaminación. Mediante el MMpD&D, se obtuvo un ADN

Tabla 1. Concentración y pureza del ADN de hojas secas de *Psidium guajava* L. obtenido con los protocolos utilizados.

Concentración y pureza	Kit Promega	Método Mini-prep
Índice de calidad 260/280	µ (±s)	
	1,12 (0,04)	1,8 (0,128)
ADN (ng/µL)	155,9 (91,8)	9,76 (2,028)

incoloro, mostrando que se logró separar en el ADN componentes, como proteínas, polisacáridos y polifenoles. De igual forma, para la extracción de ADN, se puede adicionar el acetato de sodio por su utilidad para separar polisacáridos (Michiels *et al.* 2003).

Si bien las cantidades de ADN obtenidos en los dos métodos utilizados reveló una menor concentración de ADN al utilizar el MMpD&D respecto al Kit Promega (Tabla 1), estos valores sugieren que durante la extracción hay pérdida de ADN por factores, como la maceración con nitrógeno líquido, ya que al romperse las membranas los componentes celulares son liberados y la acción de polifenoles hace que gran parte del ADN se degrade o precipite con ellos (Cota *et al.* 2006). Los resultados revelaron que el MMpD&D presentó un mayor nivel de pureza de 1,8 en comparación con el Kit Promega, que mostró valores de 1,12 (Tabla 1). Según Gerstein (2001), un ADN puro y de calidad debe estar en un rango de 1,7 a 2,0, para la relación de absorbancias 260/280; valores mayores a 2,0 indican la presencia de ARN y valores menores a 1,7, contaminación con proteínas.

Al aplicar la prueba de Tukey, los resultados obtenidos en la concentración de ADN en ambos métodos mostraron diferencias

significativas, lo cual, indica que, en ambos casos, no fue posible obtener buena cantidad de ADN. Al comparar los resultados mediante la prueba de Dunnett, se encontraron diferencias significativas y mayores concentraciones de ADN para el método Kit de Promega (Tabla 1); se encontraron diferencias en cuanto a la relación A260/A280. Es importante resaltar que la relación A260/A280 fue de 1,12 (Tabla 1) para el método comercial, sugiriendo la probable presencia de contaminantes, tales como proteínas (Manning, 1991), mientras dicha relación fue de 1,8 para el MMpD&D, obteniéndose así un ADN puro y de calidad.

Como se observa en la tabla 2, el mayor porcentaje de éxito en la amplificación, se obtuvo con el MMpD&D para los marcadores *mPgCIR16* y *mPgCIR19* (100%), seguido por el marcador *mPgCIR03* (90%) y el marcador *mPgCIR09* (80%). Los resultados obtenidos con el Kit de Promega, no mostraron amplificaciones, produjo ADN de mala calidad para obtener productos de PCR, lo cual, se pudo deber a que el ADN pudiera presentar contaminantes o bien se ha degradado; resultado similar a lo expresado por Ferreira & Grattapaglia (1998), quienes expresaron que la presencia de metabolitos secundarios en el ADN, inhiben la acción de la Taq polimerasa.

Tabla 2. Eficiencia de amplificación de los protocolos de extracción de ADN evaluados.

Locus	Protocolos evaluados	Número de Amplificaciones	Porcentaje de Amplificación
<i>mPgCIR03</i>	A	0	0%
	B	9	90%
<i>mPgCIR16</i>	A	0	0%
	B	10	100%
<i>mPgCIR09</i>	A	0	0%
	B	8	80%
<i>mPgCIR19</i>	A	0	0%
	B	10	100%

A: Kit de extracción Wizard de Promega®; B: Mini-prep modificado.

Las modificaciones realizadas al MMpD&D para la extracción de DNA de *P. guajava* permitieron optimizar un protocolo para obtener DNA de buena calidad y cantidad, a partir de hojas secas; obtener mayor calidad en la pureza y la integridad del DNA y la total amplificación de los marcadores moleculares utilizados.

Agradecimientos. La presente investigación, se realizó gracias al financiamiento de la Universidad de Córdoba, mediante el proyecto FCB -17-08. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe conflicto de interés que pondría en peligro la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ANGARITA, M; TORRES, M.I.; DÍAZ, A.K. 2017. Técnicas de Biología Molecular en el desarrollo de la investigación. Revisión de la literatura. Revista Habanera de Ciencias Médicas. (Cuba). 16(5):796-807
2. ASOCIACIÓN HORTIFRUTÍCOLA COLOMBIANA, ASO-HOFRUCOL. 2019. Balance del sector hortifrutícola de Colombia en 2019. Disponible desde Internet en: <http://www.asohofrucol.com.co/index.php> (con acceso 12/08/2020).

3. AZMAT, M.A.; KHAN, I.A.; CHEEMA, H.M.N.; RAJWANA, I.A.; KHAN, A.S.; KHAN, A.A. 2012. Extraction of DNA suitable for PCR applications from mature leaves of *Mangifera indica* L. J. Zhejiang University: Science B. (China). 13(4):239-243.
<http://dx.doi.org/10.1631/jzus.B1100194>
4. CAMARENA-TELLO, J.C.; MARTÍNEZ-FLORES, H.E.; GARNICA-ROMO, M.G.; PADILLA-RAMÍREZ, J.S.; SAAVEDRA-MOLINA, A.; M.C.; RODILES-LÓPEZ, J.O. 2018. Quantification of phenolic compounds and in vitro radical scavenging abilities with leaf extracts from two varieties of *Psidium guajava* L. Antioxidants. (Suiza). 7:34.
<https://doi.org/10.3390/antiox7030034>
5. COTA, J.H.; REMARCHUK, K.; UBAYASENA, K. 2006. Ready-to-use DNA extracted with a CTAB method adapted for herbarium specimens and mucilaginous plant tissue. Plant Molecular Biology Reporter. (Estados Unidos). 24(2):161-167.
<https://doi.org/10.1007/BF02914055>
6. DESHMUKH, V.P.; THAKARE, P.V.; CHAUDHARI, U.S.; GAWANDE, P.A. 2007. A simple method for isolation of genomic DNA from fresh and dry leaves of *Terminalia arjuna* (Roxb.) Wight and Argot. Electronic J. Biotechnology. (Chile). 10(3):468-472.
<https://doi.org/10.2225/vol10-issue3-fulltext-5>
7. DOYLE, J.J.; DOYLE, J.L. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochemical Bulletin. (Estados Unidos). 19:11-15.
8. FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D. 1998. Introducción al uso de marcadores moleculares en el análisis genético. Brasilia, BR, EMBRAPA. 220p.
9. GERSTEIN, A. 2001. Molecular Biology Problem Solver: A Laboratory Guide. ISBNs: 0-471-37972-7
10. HALOS, L.; JAMAL, T.; VIAL, L.; MAILLARD, R.; SUAU, A.; LE MENACH, A.; BOULOUIS, H.J.; VAYSSIER-TAUSSAT, M. 2004. Determination of an efficient and reliable method for ADN extraction from ticks. Veterinary Research. (Reino Unido). 35:709-713.
<http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2004038>
11. KUMAR C.; KUMAR, R.; SINGH, S.; GOSWAMI, A.K.; PALIWAL, R.; SINGH, R. 2020. Development of novel g-SSR markers in guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda and their application in genetic diversity, population structure and cross species transferability studies. PLoS ONE. (Estados Unidos). 15(8): e0237538.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237538>
12. KUMARI, S.; ARUMUGAM, N.; SINGH, R.; SRIVASTAV, M.; BANOTH, S.; MITHRA, A.C.; ARUN, M.B.; GOSWAMI, A.K.; KHAN, A.J. 2018. Diversity analysis of guava (*Psidium guajava*) germplasm collection. Indian J. Agr. Sciences. 88(3):489-497
13. MANNING, K. 1991. Isolation of nucleic acids from plants by differential solvent precipitation. Analytical Biochemistry. (Estados Unidos). 195:45-50.
[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(91\)90292-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(91)90292-2)
14. MICHIELS, A.N.; VAN DEN ENDE, W.; VAN RIET, L.; VAN LAERE, A. 2003. Extraction of high-quality genomic DNA from latex-containing plants. Analytical Biochemistry. (Estados Unidos). 315(1):85-89.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2697\(02\)00665-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2697(02)00665-6)
15. MILLER, R.G. 1996. Simultaneous Statistical Inference. McGraw-Hill. New York, 272p.
16. NARVÁEZ-CUENCA, C.E.; INAMPUES-CHARFUELAN, M.L.; HURTADO-BENAVIDE, A.M.; VINCKEN, J.P. 2020. The phenolic compounds, tocopherols, and phytosterols in the edible oil of guava (*Psidium guava*) seeds obtained by supercritical CO₂ extraction. J. Food Composition and Analysis. (Estados Unidos). 89:103467.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103467>
17. NERDO RODRÍGUEZ, N.; VALDÉS, J.; BECKER, D.; VELÁZQUEZ, B.; ROHDE, W. 2004. Aislamiento y purificación del ADN genómico del guayabo (*Psidium guajava* L.) para análisis molecular. Convención Trópico 2004. II Congreso de Agricultura Tropical. Palacio de Convenciones de La Habana, La Habana, Cuba. 6p.
18. PIPAN, B.; ZUPANČIČ, M.M.; BLATNIK, E.; DOLNIČAR, P.; MEGLIČ, V. 2018. Comparison of Six Genomic DNA Extraction Methods for Molecular Downstream Applications of Apple Tree (*Malus X domestica*). Cogent Food Agriculture. (Estados Unidos). 4:1.
<https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1540094>
19. RISTERUCCI, A.M.; DUVAL, M.F.; ROHDE, W.; BILLOTTE, N. 2005. Isolation and characterization of microsatellite loci from *Psidium guajava* L. Molecular Ecology Notes. (Reino Unido). 5(4):745-748.
<https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01050.x>
20. ROJAS, L.; PORTAL, O.; JIMÉNEZ, E. 2011. Extracción de ARN total en plantas y hongos filamentosos. Biotecnología vegetal. (Cuba). 11(4):213-222.
21. SAHU, S.K.; THANGARAJ, M.; KATHIRESAN, K. 2012. DNA extraction protocol for plants with high levels of

- secondary metabolites and polysaccharides without using liquid nitrogen and phenol. *Molecular Biology*. (Rusia). 6:1-6. <https://doi.org/10.5402/2012/205049>
22. SIKI, K.; KEFELA, T.; ADOUKONOU, H.; AHOTON, L.; SAIDOU, A.; BABA-MOUSSA, L.; GACHOMO, E. 2015. A simple and efficient genomic DNA extraction protocol for large scale genetic analyses of plant biological systems. *Plant Gene*. (Países Bajos). 1:43-45. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2015.03.001>
23. SPSS. 2008. Statistical Package for Social Sciences Program. Version 17 for Windows, SPSS Inc., Chicago.
24. WHITEHOUSE, C.; HOTTEL, H. 2007. Comparison of five commercial DNA extraction kits for the recovery of *Francisella tularensis* DNA from spiked soil samples. *Molecular and Cellular Probes*. (Estados Unidos). 21:92-96. <https://doi.org/10.1016/j.mcp.2006.08.003>



Pares evaluadores

El Comité Editorial y el Comité Científico desean expresar sus agradecimientos a todas las personas que colaboraron en la evaluación de manuscritos, entre los meses de enero a junio de 2021. Nuestra gratitud a su invaluable colaboración.

En reconocimiento publicamos a continuación sus nombres:

1. Ph.D. Diofanor Acevedo Correa, Universidad de Cartagena, Cartagena, **Colombia**
2. Ph.D. Keyla Manuela Alencar da Silva Alves, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, **Chile**
3. Ph.D. Javier Giovanni Álvarez Herrera, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, **Colombia**
4. M.Sc. Cesar Oswaldo Arévalo Hernández, Instituto de Cultivos Tropicales, Tarapoto, **Perú**
5. Ph.D. Jesús Enrique Aular Urrieta, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, **Venezuela**
6. Ph.D. Rita María Ávila G. de Hernández, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, **Venezuela**
7. Ph.D. Edgar Álvaro Ávila Pedraza, Universidad del Tolima, Ibagué, **Colombia**
8. Ph.D. Helber Enrique Balaguera López, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, **Colombia**
9. Ph.D. Alicia Mabel Barabas Reyna, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México, **México**
10. Ph.D. Rolando Barahona Rosales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, **Colombia**
11. Postdoc. Jesica Evelyn Blajman Gerlero. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, **Argentina**
12. Ph.D. Diana L. Cárdenas Chávez, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, **México**
13. Ph.D. Numa Pompilio Castro González, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, **México**
14. Postdoc. Ángel Enrique Céspedes Rubio, Universidad del Tolima, Ibagué, **Colombia**
15. Ph.D. Luz Ángela Cuellar Rodríguez, Universidad Santo Tomás, Tunja, **Colombia**
16. Ph.D. Alejandra de Arce, Centro de Estudios de la Argentina Rural, Buenos Aires, **Argentina**
17. Ph.D. José Delatorre Herrera, Universidad Arturo Prat, Iquique, **Chile**
18. Ph.D. Eduardo José Delgado Hernández, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”, Barinas, **Venezuela**
19. M.Sc. Asela María del Puerto Rodríguez, Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología, La Habana, **Cuba**
20. Postdoc. Gustavo Andrés Díaz Garrido, Universidad de Concepción, Concepción, **Chile**
21. Ph.D. Juan Carlos Duque Moreno, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, **Brasil**
22. Ph.D. Alfredo Josué Gámez Vázquez, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Ciudad de México, **México**
23. Ph.D. Yeison Alberto Garcés Gómez, Universidad Católica de Manizales, Manizales, **Colombia**
24. Postdoc. Jesús Gómez Ochoa de Alda, Universidad de Extremadura, Badajoz, **España**
25. Ph.D. Juan Antonio González, Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, **Argentina**
26. M.Sc. Clemente Granados Conde, Universidad de Cartagena, Cartagena, **Colombia**
27. Ph.D. Carlos Raimundo Ferreira Grosso, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, **Brasil**
28. Postdoc. Olivia Hernández González, Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo, Quintana Roo, **México**
29. Ph.D. Diógenes Lagos Cortes, INALDE Business School, Chia, **Colombia**
30. Postdoc. Sol Lanteri, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, **Argentina**
31. Ph.D. Javier Lezama Andalon, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Ciudad de México, **México**
32. Ph.D. Augusto César Lizarazo Chaparro, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, **México**

33. Postdoc. Gislene Lopes Goncalves, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, **Brasil**
34. Ph.D. Oscar Raúl Mancilla Villa, Universidad de Guadalajara, Jalisco, **México**
35. Ph.D. Tomás Martínez Saldaña, Colegio de Postgraduados, Montecillo, **México**
36. Postdoc. Holger Maita Malpartida, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, **Perú**
37. Ph.D. Géri Eduardo Meneghello, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, **Brasil**
38. Ph.D. Jaime Humberto Mendoza Chacón, Fundación Universitaria de Popayán, Popayán, **Colombia**
39. M.Sc. Iván Darío Mercado Martínez, Universidad del Atlántico, Barranquilla, **Colombia**
40. Ph.D. Ramón Luis Montero Mudarra, Instituto de Ciencias de la Tierra, Caracas, **Venezuela**
41. Ph.D. Carlos Moreno Miranda, Wageningen University & Research, Wageningen, **Países Bajos**
42. Postdoc. Jesus Muñoz Rojas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Zaragoza, **México**
43. Postdoc. Carolina Nieto Peñalver, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, **Argentina**
44. Ph.D. Samuel Moisés Nucamendi Guillén, Universidad Panamericana, Campus Guadalajara, Zapopan, **México**
45. Ph.D. José Pedro Pérez Díaz, Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario, Guanajuato, **México**
46. Ph.D. Ramona Pérez Leal, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, **México**
47. Ph.D. Rebeca Pérez Morales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, **México**
48. Ph.D. Santiago Plischuk, Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores, La Plata, **Argentina**
49. M.Sc. Adriana Posada Arrubla, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, **Colombia**
50. Postdoc. Jimena Ramos Berrondo, Centro de Estudios Urbanos y Regionales, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, **Argentina**
51. M.Sc. Gladys Reinoso Flórez, Universidad del Tolima, Ibagué, **Colombia**
52. Postdoc. Pablo Damián Revainera, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, **Argentina**
53. Ph.D. Jesús Rodríguez Miranda, Tecnológico Nacional de México, Oaxaca, **México**
54. Ph.D. Jairo Antonio Rodríguez Rodríguez, Universidad Surcolombiana, Neiva, **Colombia**
55. Ph.D. Mauricio Andrés Ruiz Ochoa, Unidades Tecnológicas de Santander, Bucaramanga, **Colombia**
56. Postdoc. Marisela Guadalupe Salgado Mora, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, **México**
57. M.Sc. Natalia Sánchez Gómez, Universidad de Boyacá, Tunja, **Colombia**
58. M.Sc. Georgina Alethia Sánchez Reyes, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, **México**
59. Ph.D. Mohammed Sayed, Assiut University, Assiut, **Egipto**
60. M.Sc. Pablo Antonio Serrano Cely, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, **Colombia**
61. M.Sc. José Gregorio Solorzano Movilla, Corporación Universitaria Americana, Medellín, **Colombia**
62. Ph.D. Charles Paul Staver, Universidad Veracruzana, Xalapa, **México**
63. Ph.D. Gabriel Andrés Tafur Gómez, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá, **Colombia**
64. Ph.D. Diego Felipe Tirado Armesto, Universidad de Cartagena, Cartagena, **Colombia**
65. Postdoc. Felipe Trabanino García, Jardín Botánico, Ciudad de Guatemala, **Guatemala**
66. Ph.D. Jorge Fernando Vélez Ruiz, Universidad de las Américas Puebla, Cholula, **México**
67. Ph.D. Anna Cecilia Venturini, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, **Brasil**
68. M.Sc. Pedro Aníbal Vera Ojeda, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, **Paraguay**
69. Ph.D. Néstor Alonso Villa Arcila, Universidad de Caldas, Manizales, **Colombia**
70. Ph.D. Rafael José Vivero Gómez, Universidad de Antioquia, Medellín, **Colombia**
71. M.Sc. Rodolfo WingChing Jones, Universidad de Costa Rica, San Pedro, **Costa Rica**

