

REVISTA

U.D.C.A

ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Revista Científica | ISSN: 2619-2551 (en línea) ISSN: 0123-4226 (impreso) | enero - junio 2024 | Volumen 27 No. 1 D.L. | Bogotá, D.C. - Colombia



Autor fotografía: Sebastián "chapu" Toba @chaputoba

PUBLICACIÓN OFICIAL DE LA UNIVERSIDAD
DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A,
INSTITUCIÓN CON ACREDITACIÓN 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. 910 de 2021, 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. Además, el presente número cuenta con el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, a través de la convocatoria No. 1041 de 2022.

*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. 910 of 2021, 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. Furthermore, this issue has the financial support of the Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, through announcement No. 1041 of 2022.

*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.910 de 2021, 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. Além disso, esta edição conta com o apoio financeiro do Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, através do anuncio No 1041 de 2022.

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

EQUIPO EDITORIAL

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

Andrea Vasquez García
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Palmira, Colombia

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

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

Félix Ignacio Contreras
Universidad Nacional del Nordeste Corrientes
Corrientes, Argentina

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

Galdino Andrade Filho
Universidade Estadual de Londrina
Londrina, Brasil

Jesús Muñoz Rojas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla de Zaragoza, México

Jhon James Mora Rodríguez
Universidad ICESI
Cali, Colombia

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

Julieta Domínguez Soberanes
Universidad Panamericana
Aguascalientes, México

Laura Barcia Rivera
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay

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

Samuel Moisés Nucamendi Guillén
Universidad Panamericana
Guadalajara, México

Sandra Quijas Fonseca
Universidad de Guadalajara
Puerto Vallarta, México

Sildivane Valcácia Silva
Universidade Federal da Paraíba
Paraíba, Brasil

Violeta Corona
Universidad Panamericana
Guadalajara, México

Zaidett Barrientos Llosa
Universidad Estatal a Distancia
San José, Costa Rica

Equipo colaborador

Correctora de estilo y ortográfica
Norella Castro Rojas

Asistentes de edición
Liney Yomaira Pinto
Héctor William Duarte Gómez

Diagramador
Fabian Ernesto Ramírez Cárdenas

CONTENIDO

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

Volumen 27 número 1- enero-junio, 2024

<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024>

EDITORIAL

La Investigación y la Innovación en la U.D.C.A, en el contexto de la Acreditación Institucional

Germán Anzola Monteroe2713
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2713>

CIENCIAS AGRARIAS

Modeling of fruit growth of tangor murcott and incidence of environmental factors on the estimated parameters

Griselda Bóbeda; Valentín Tassile; Silvia Mazza; Sergio Bramardie2520
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2520>

Virus prevalence and mixed infections in yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) crops in Valle del Cauca, Colombia

Francy Jhoana Ceballos-Burgos; Jorge Iván Pérez-López; Andres Felipe Nieto-Cardenas; Diana Marcela Rivera-Toro; Jhon Albeiro Ocampo; Karina Lopez-Lopez; Juan Carlos Vaca-Vacae2364
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2364>

Herbicidas pós-emergentes para o controle do capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* L.) nos estádios de pré-perfilhamento e em perfilhamento

Jorge Luis Tejeda; Arthur Arrobas Martins Barroso; Luis Felipe Solís-Rosas-Díaz; Leonel Alvarado-Huamán; Ebson Silva; Pedro Luís da Costa Aguiar Alvese2361
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2361>

Influencia del coeficiente de cultivo (Kc) en la fenología y rendimiento del cultivo de tomate en invernadero

Hans Kreutler-García; Hugo Ruiz-Eraso; Harold Chañag-Miramage2375
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2375>

Determinación de la seroprevalencia y factores de riesgo de diarrea viral bovina en una población de la provincia de Pamplona

Jesús A. Mendoza-Ibarra; José Flórez-Gelvez; Jhon J. Bustamante-Canoe2384
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2384>

The effect of ballot design for strawberry yogurt analysis using CATA (check-all-that-apply)

Oscar Jordán-Suárez; Miriam Ramos-Ramírez; Pilar Minaya-Agüero; Matilde Tenorio-Domínguez; Tarsila Tuesta; Reynaldo Justino Silva-Paz.....e2474
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2474>

Vigilancia científica y tecnológica en procesos de modificación físico-enzimática en gránulos de almidón

Nedys Acevedo-Viloria, Manuel Cervera-Ricardo, Jorge Figueroa-Flórez, Jairo Salcedo-Mendoza, Veronica Ramos-Villacobe2416
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2416>

La agregación de valor en organizaciones de agricultura familiar en Nariño, Colombia

Camilo Andrés Venancio Cuevas-Reyes, Carlos Julián Ramírez-Gómeze2430
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2430>

CIENCIAS NATURALES

Bioquímica y valores hematológicos en hormiguero palmero (*Myrmecophaga tridactyla*) rescatados en Colombia

José Fernández-Manrique; Daniel Felipe Buitrago-Linares; Ricardo Murillo-Pachecoe2035
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2035>

Trematodes and acanthocephalans associated with the yellow mojarra (*Caquetaia kraussii*) in a coastal lagoon system, San Onofre, Colombia

Daisy A. Gómez-Ruíz; Carolina Lenise2386
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2386>

- Aquatic insects associated with macrophytes in wetlands of the middle basin of Atrato River, Chocó - Colombia
Zuleyma Mosquera-Murillo; Karen Everni Córdoba-Aragón; Mairin Minerva Mosquera-Mosquera; Sandra Patricia Sanchez; Leider Palacios-Palaciose2409
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2409>
- Trophic ecology of *Brycon henni* (Pisces: Bryconidae) in Nare and Guatapé Rivers, Magdalena River basin, Colombia
Néstor Javier Mancera-Rodrígueze2373
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2373>
- Statistical modeling of decontamination of wastewater containing Carbendazim using photo-Fenton
Dorance Becerra-Moreno, Joseph Soto-Verjel, Ángelo Soto-Vergel, Fiderman Machuca-Martínez, Luisa Ramírez-Ríose2253
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2253>
- Obtención de celulasas bacterianas usando residuos orgánicos generados en plazas de mercado
Etna Milena Sánchez-Castelblanco; Juan Pablo Heredia-Martíne2264
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2264>
- Producción y caracterización de compost derivado de residuos sólidos orgánicos urbanos
Janyra Grehisy Aguirre-Illatopa, Nelino Florida-Rofner, Emilio Anthony Ríos-Velasquez, José Dolores Lévano-Crisóstomoe2432
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2432>
- Efficiency of camalote grass residue (*Paspalum fasciculatum* Willd) in the adsorption of methylene blue
Cintya Valerio-Cárdenas, Patricia de la Cruz-Burelo, Gloria Ivette Bolio-López, Miguel Ángel Velázquez-Carmonae2496
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2496>
- Application of Google Earth Engine in the preliminary analysis of fire severity in the Iberá National Park and Reserve, Argentina
Humberto Smichowski; Felix Ignacio Contrerase2464
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2464>
- Evaluación de la calidad del agua envasada para consumo humano en la ciudad de Villavicencio (Colombia)
Miguel Ángel Navarro-Ramírez; Miguel Ángel Ramírez-Niño; Deicy Villaba-Rey; María Alejandra Barbosa-Méndez; Luz Irene Saavedra-Rodrígueze2234
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2234>

CORRIGENDUM

- Corrigendum al artículo: Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú.....e2716
<https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2716>

PARES EVALUADORES

La Investigación y la Innovación en la U.D.C.A, en el contexto de la Acreditación Institucional

Research and Innovation at the U.D.C.A, in the context of Institutional Accreditation

Germán Anzola Montero¹ 

¹Rector Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá, D.C., Colombia

Como citar: Anzola Montero, G. 2024. La Investigación y la Innovación en la U.D.C.A, en el contexto de la Acreditación Institucional. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2713. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2713>

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.

La investigación y la innovación son pilares fundamentales para el desarrollo de cualquier sociedad moderna. En el contexto de la educación superior en Colombia, estos aspectos cobran una relevancia mayor, debido a su impacto directo en la calidad de la formación académica y en la capacidad de las instituciones para responder a los retos del siglo XXI. La acreditación institucional, entonces, se presenta como un mecanismo esencial para asegurar y optimizar la calidad, la credibilidad y el reconocimiento de las Instituciones de Educación Superior –IES-, ante la sociedad colombiana, impulsando la investigación y la innovación, como elementos clave en este proceso, con acceso a conocimientos especializados y con nuevas formas de razonamiento.

Para ello, las IES actualizan el servicio público de bien común que prestan, para que sean reconocidas con altos niveles de calidad y, para ello, se someten al Modelo de Acreditación en Alta Calidad, materializando su quehacer institucional, en una autoevaluación, con la colaboración de estudiantes, profesores, egresados, empleadores, funcionarios y la sociedad en general.

El Acuerdo 02 de 2020 adopta referentes conceptuales, entre ellos, la Alta Calidad, entendida como “*características que permiten reconocer un programa académico o una institución y hacer un juicio, en el marco del mejoramiento continuo y de su diversidad, sobre su capacidad de transformación, dada por la proximidad entre el óptimo correspondiente al carácter del programa académico o a la naturaleza jurídica, identidad, misión y tipología de la institución, y el modo en que presta el servicio público de educación, los logros alcanzados y los impactos generados*” y, por otro, lo concerniente a los “**Productos de investigación, innovación, desarrollo tecnológico y de creación**”, que se define como “...*los resultados que se obtienen en los procesos de investigación, innovación, desarrollo tecnológico y creación, que responden a la identidad, misión, tipología y el contexto regional y local de la institución y de los programas académicos*” (CESU, 2020).

Entendiendo que la Acreditación en Alta Calidad es un reconocimiento que se otorga, tanto a los programas académicos como a las Instituciones, por cumplir con altos criterios de calidad, deben, entre otros, asumir objetivos propuestos, como “*Incentivar el desarrollo de investigación, innovación, creación e incorporación tecnológica en el quehacer institucional, de tal forma que pueda contribuir a la atención de las demandas sociales y productivas del entorno colombiano*” (CESU, 2020).

Con este preámbulo y una vez evidenciado su permanente esfuerzo por el mejoramiento continuo, hoy, la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, ostenta la Renovación de la Acreditación Institucional en Alta Calidad, por un periodo de seis años, según Resolución No. 007467, del 15 de mayo de 2024 del Ministerio de Educación Nacional, la cual, señala “*Que, por lo tanto, el Ministerio de Educación Nacional evidencia que la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - UDCA ha realizado un trabajo progresivo para el fortalecimiento óptimo de calidad relacionado con la formación integral de sus profesionales y la comunidad académica, mediante procesos de creación, desarrollo y transmisión del conocimiento, lo que le ha permitido desarrollar su misión, visión, objetivos, organización y funciones. Prueba de ello son los procesos de acreditación en sus programas académicos, en los cuales se ha hecho evidente el desarrollo del Proyecto Educativo Institucional (PEI), mediante una cultura organizacional dirigida a la evaluación, el mejoramiento continuo y la innovación, mediante la definición de políticas, programas estratégicos, proyectos, acciones y recursos*” (Mineducación, 2024).

Bajo el título de este Editorial con destino a la Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica **La Investigación y la Innovación en la U.D.C.A, en el contexto de la Acreditación Institucional**, se hará referencia al Factor 6 del Modelo de

Acreditación en Alta Calidad “*Aportes de la Investigación, la Innovación, el Desarrollo Tecnológico y la Creación al Entorno*”, que aborda dos características: una, Formación para la investigación, creación e innovación y, otra, Investigación, desarrollo tecnológico, innovación y creación.

La investigación en la Universidad abarca un amplio espectro de actividades, desde la investigación básica hasta la aplicada, pasando por la interdisciplinaria y la innovación, que se refiere a la capacidad de desarrollar y aplicar nuevas ideas, tecnologías y metodologías, que mejoren los procesos educativos y contribuyan al desarrollo socioeconómico; en este aspecto, la U.D.C.A ha venido generando desarrollos tecnológicos en las diferentes áreas del conocimiento y avances en innovación social.

No cabe duda, que la investigación y la innovación en la Universidad incluye la producción de nuevo conocimiento, brindando soluciones a problemas locales y regionales, fortaleciendo la formación de investigadores, contribuyendo al desarrollo tecnológico y a la competitividad económica de diversos sectores, generando transferencia desde y hacia los sectores productivos y sociales y no menos importante, fortaleciendo las alianzas con el tejido empresarial, social y comunitario del país.

Dentro de los criterios institucionales de acreditación establecidos por el Consejo Nacional de Acreditación –CNA–, se demanda que las Instituciones demuestren un compromiso explícito con la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico (CESU, 2020); es así, que la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, desde el Plan de Investigación, Desarrollo e Innovación vigente (2021-2024), que tiene por objetivos reforzar y consolidar las bases científicas y tecnológicas de la Universidad, impulsar la capacidad de innovación, la competitividad y el empleo de la región, cumplir las prioridades y las necesidades de la sociedad y sostener los valores y el modelo socioeconómico de la Institución, se ha logrado cumplir con este desafío y ha permitido impulsar la producción científica, el aumento de proyectos de investigación internos y externos, mejora en la infraestructura y en los recursos financieros, físicos y de talento humano para la investigación, formación de investigadores y vinculación con actores del entorno.

Y así lo ratifica la Resolución No. 007467 del 15 de mayo de 2024, que contiene el concepto emitido por parte de la Comisión de Pares externo, al señalar: “*El plan I+D+i 2021-2024 y las políticas institucionales han orientado los procesos de producción científica hacia la ciencia abierta con la interacción de distintos actores. También con líneas para el avance de la UDCA como una Universidad sostenible, innovadora y competitiva*” (Mineduación, 2024).

De igual manera, el Consejo Nacional de Acreditación –CNA–, conceptuó que “*La formación para la investigación incluyendo diferentes actividades y estrategias, dan cuenta de las siguientes cifras desde el periodo anterior de acreditación: 143 cursos en los programas de pregrados y 36 en los de posgrados, 1.268 trabajos de grado de pregrado y 885 proyectos de investigación y 91 estudiantes de posgrados con 91 proyectos, las jornadas de investigación con la participación de 91 estudiantes como ponentes, los 30 semilleros de investigación*

con participación de 2.515 estudiantes, 24 jóvenes investigadores y la participación en proyectos de investigación de 147 estudiantes de pregrado y 18 de posgrados” (Mineduación, 2024).

Un indicador claro del proceso de Investigación, Innovación y Emprendimiento hace referencia a las mediciones obtenidas bajo las convocatorias para clasificación de grupos de Minciencias y por el incremento de los profesores categorizados, que pasó de 32, en el 2018, a 48 en 2021-2023 y la mejora en la categorización de grupos de investigación con los que, actualmente, cuenta la Universidad, que corresponde a 2 grupos en categoría A1; 3, en categoría A; 3 grupos en categoría B y 3 grupos en C.

Adicionalmente, el crecimiento de estos grupos de investigación y de sus actividades, se debe, en parte, al desarrollo de más de 150 proyectos de investigación e innovación, de impacto científico y social, tanto institucional como nacional e internacional, financiados por diferentes fuentes, entre las que se destacan las convocatorias internas de proyectos de investigación y el aumento del número de publicaciones científicas, las cuales, han venido creciendo, teniendo un total, entre 2014 y 2018, de 160 producciones académicas, comparado con los artículos entre 2019 y 2023, que fue de 372.

El concepto de la Sala General de Acreditación del CNA, que viene anexo a la Resolución, que otorgó la renovación de la Acreditación Institucional, evidenció diversos aspectos positivos para la Investigación Productiva, entre los que cabe destacar (Mineduación, 2024):

- “*El fortalecimiento de los grupos de investigación, con logros evidentes, entre otros, el incremento y el avance en la categorización en Minciencias*”.
- “*El aumento desde la acreditación anterior en el número de investigadores reconocidos por Minciencias*”.
- “*Los resultados de investigación que desde 2020 ascendieron a un total de 508 productos*”.
- “*El seminario permanente de investigación ofrecido desde el periodo 2020-2, con 36 sesiones, facilitando la interacción con expertos nacionales internacionales en temas de I+D+i, donde entre otros, se presentan los resultados de proyectos de investigación finalizados*”.
- “*El trabajo colaborativo con distintas entidades de investigación a nivel nacional e internacional, así como con empresas para la solución de necesidades específicas*”.
- “*Los premios y distinciones recibidas por actividades de investigación, incluyendo: premios de fundaciones, de asociaciones nacionales, de entidades internacionales, o por la participación en eventos académicos, entre otros*”.
- “*El avance desde la acreditación anterior, en el registro de software, entre otros, para el seguimiento a heridas crónicas vasculares*”.

“El centro de innovación y emprendimiento Thinkgua y los proyectos dirigidos a apoyar a pequeños empresarios agropecuarios, fortalecimiento de la capacidad tecnológica e innovadora y contribuyendo a la reactivación económica y el aumento de la producción en las comunidades del área de influencia dentro de una política de inclusión y responsabilidad social. La red de emprendimiento y el programa Agro-Emprende Digital, las contribuciones a la memoria histórica con el sendero de la memoria Muisca y la igualdad de género con el proyecto Mujer Rural, son programas que general un impacto significativo en la sociedad que se traduce en la apreciación y preservación de la riqueza cultural y artística, así como de otros dirigidos al desarrollo humano sostenible, los impactos sobre los ODS y población en condición de vulnerabilidad”, otro concepto de la Sala General de Acreditación (Mineducación, 2024).

Igualmente, predomina el desarrollo del Centro de investigación y Diagnóstico Molecular BSL3, como infraestructura especializada en investigación. Al respecto, la Resolución específica que “*También es evidente la obtención de recursos para la investigación por medio de convocatorias de distintas entidades y fondos a nivel nacional. Destacándose recursos para el desarrollo de investigaciones sobre la evaluación del potencial de plantas nativas y el control de células cancerígenas, otras conducentes a la conservación de un pez de clima frío, o los recursos del Sistema General de Regalías para adecuar un laboratorio de bioseguridad BCL3 [sic], para trabajar patógenos de interés en salud pública en Bogotá*” (Mineducación, 2024).

Por lo expuesto previamente, consideramos que la ruta a seguir, una vez consolidada la investigación, tanto formativa como productiva, es lograr la innovación total, que permita generar *Valor Añadido* en la Universidad y esto lo lograremos, promoviendo una cultura de innovación estructural, organizativa y relacional, que genere capacidades instaladas en nuestro personal, para promover

liderazgo, excelencia estratégica, excelencia operativa y poner en el centro la **EXCELENCIA EN LA INNOVACIÓN**.

A la luz de lo planteado, se iniciará, en colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia, una actividad de formación y de entrenamiento para directivos de la U.D.C.A, en la gestión del proceso de **Innovar, Liderar, Crear y Comunicar** y de uso de las **Herramientas** correspondientes, asociadas a cada uno de ellos. Así, cada participante desarrollará un entregable, que será una formulación de un **Reto** de **Innovación Estratégica** de la Universidad, que será parte constitutiva del **PLAN ESTRATÉGICO DE INNOVACIÓN** de la Institución.

REFERENCIAS

CONSEJO NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR -CESU. 2020. Acuerdo 02 de 2020, Por el cual se actualiza el modelo de acreditación en alta calidad. Consejo Nacional de Educación Superior – CESU. Disponible desde Internet en: https://www.cna.gov.co/1779/articles-402848_documento.pdf

MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL-MINEDUCACIÓN. 2024. Resolución No. 007467, del 15 de mayo de 2024. Por medio de la cual se renueva la Acreditación Institucional en Alta Calidad a la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - UDCA con lugar de desarrollo en Bogotá, D.C. Ministerio De Educación Nacional. Disponible Desde Internet en: <https://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/2024/05/Resolucion-acreditacion-alta-calidad.pdf>

Modeling of fruit growth of tangor murcott and incidence of environmental factors on the estimated parameters

Modelación de crecimiento de frutos de tangor murcott e incidencia de factores medioambientales sobre los parámetros estimados

Griselda Bóbeda¹ ; Valentín Tassile² ; Silvia Mazza¹ ; Sergio Bramardi^{3*} 

¹Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias. Corrientes-Argentina; e-mail: griseldabobeda@gmail.com, smmazza@gmail.com

²Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias y Tecnología de los Alimentos. Villa Regina - Río Negro, Argentina; e-mail: vtassile@gmail.com

³Universidad Nacional de Comahue, Departamento de Estadística y Centro de Investigaciones en Toxicología Ambiental y Agrobiotecnología del Comahue. Neuquén, Argentina; e-mail: sbramardi@gmail.com

*corresponding author: sbramardi@gmail.com

How to cite: Bóbeda, G.; Tassile, V.; Mazza, S.; Bramardi, S. 2024. Modeling of fruit growth of tangor murcott and incidence of environmental factors on the estimated parameters. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2520. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2520>

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

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

Received: September 6, 2023

Accepted: June 12, 2024

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Fruit production forecasts are a tool to plan the harvest and improve market strategies. To carry it out, it is essential to have information about the behavior of fruit development over time. The objective of this work was to find the mathematical-statistical model that best describes the growth pattern of tangor murcott fruit (*Citrus reticulata* x *C. sinensis* 'Murcott') and analyze how it is affected by environmental conditions. For this, in nine orchards, located in four locations in the province of Corrientes, Argentina, the equatorial diameter of 2,053 fruit from 82 days after full flowering to harvest were periodically registered during five seasons. The nonlinear models were compared: Logistic, Gompertz, Brody, Von Bertalanffy, Weibull, Morgan Mercer Flodin (MMF), Richards, and their respective re-parameterizations. The magnitudes of nonlinearity measures, coefficient of determination and estimates of residual deviation were considered as the main goodness-of-fit criteria. The selected model-parameterization combination was the fifth parameterization of the Logistic model with random effects on its three parameters. An Analysis of Variance model on the estimates of these parameters for each fruit showed that orchard and season factors were an important source of variability, mainly in those related to the initial size of the fruit and their growth rate. These results will allow the construction of growth tables, which in addition to making yield predictions, can be used to estimate fruit size distribution at harvest and improve the cultural practice of manual fruit thinning.

Keywords: Harvest forecast; Logistic model; Non-linearity measures; Variance components; Size fruit.

RESUMEN

Los pronósticos de producción de fruta son una herramienta para planificar la cosecha y mejorar estrategias de mercado. Para su realización es imprescindible contar con información acerca del desarrollo de los frutos a lo largo del tiempo. El objetivo del presente trabajo fue encontrar el modelo matemático-estadístico que mejor describa el patrón de crecimiento de frutos tangor murcott (*Citrus reticulata* x *C. sinensis* 'Murcott') y analizar cómo es afectado por condiciones medioambientales. En nueve huertos, ubicados en cuatro localidades en la provincia de Corrientes, Argentina, se registró durante cinco temporadas el diámetro ecuatorial de 2053 frutos desde los 82 días después de plena floración hasta el momento de cosecha. Se compararon los modelos no lineales: Logístico, Gompertz, Brody, Von Bertalanffy, Weibull, Morgan Mercer Flodin (MMF), Richards, y sus respectivas re-parameterizaciones. Como principales criterios de bondad de ajuste se consideraron las magnitudes de medidas de no linealidad, coeficiente de determinación y estimaciones del desvío residual. La combinación modelo-parametrización seleccionada fue la quinta parametrización del modelo Logístico con efectos aleatorios en sus tres parámetros. Un modelo de análisis de la variancia sobre las estimaciones de estos parámetros para cada fruto mostró que los factores huerto y temporada eran una importante fuente de variabilidad, principalmente en los relacionados con el tamaño inicial de los frutos y su tasa de crecimiento. Estos resultados permitirán construir tablas de crecimiento, que además de realizar predicciones de rendimientos, podrán ser utilizadas para estimar distribución de tamaños de fruto a cosecha y mejorar la práctica cultural de raleo.

Palabras claves: Componentes de varianza; Medidas de no linealidad; Modelo logístico; Pronósticos de cosecha; Tamaño de frutos.

INTRODUCTION

In Argentina, citrus fruit rank first in volume of fruit production, followed by pitted and stone fruit. The country ranked sixth worldwide in the 2021-2022 season, with nearly two million tons of lemons (*Citrus lemon*), one million tons of oranges (*Citrus sinensis*), 370 thousand tons of mandarins and 95 thousand tons of grapefruits (*Citrus paradisi*) (Federcitrus, 2023). Term mandarin includes various species grouped as *Citrus reticulata*, *C. unshiu*, *C. nobilis*, *C. tangerina*, *C. deliciosa*, *C. Clementina*, *C. reshni*, *C. sunki*, and its hybrids such as tangor, an interspecific hybrid of *C. reticulata* x *C. sinensis*.

Oranges are the most consumed citrus fruit worldwide, but in recent years mandarins and their hybrids have been in growing demand. Availability of these fruit is assured throughout the year thanks to post-harvest treatments, the development of late varieties and production in both hemispheres. Tangors, particularly tangor murcott, which are mandarin hybrids, are among the most demanded by international markets, since they are excellent quality, very sweet, easy to peel, and have a high juice content and low acidity. In addition, plants have a high degree of adaptation to a wide range of climatic conditions, from desert to subtropical, so their cultivation is increasing rapidly. Specifically, in northeastern Argentina, sweet oranges and mandarins are relevant agricultural exports (Federcitrus, 2023).

Yield prediction is a great challenge in fruit orchards. Early production forecasts allow producers to estimate final fruit volume, calculate supplies needed for fruit picking, plan and manage storage spaces, reserve sorting facilities, and plan transportation (Wang & He, 2021). Added to this is the possibility of making advance provisions of logistical aspects of marketing that improve its competitiveness in national and international markets and proposing marketing strategies (Bóbeda *et al.* 2018).

Predicting fruit production requires the definition of models and to do so it is necessary to estimate parameters in relation to characteristics that the fruit will have on the harvest time. Adjusting a model to fruit growth data allows finding an appropriate function that synthesizes the information that comes from measurements made on the same individual, favoring the estimation of fruit size at any time prior to harvest (Del Brio *et al.* 2023a).

Processes that cause sigmoidal growth curves or S-shaped curves are very common in biology and agronomy. Growth curves describe the evolution of individuals, plant or animal organs, over a period of time. A wide variety of examples of sigmoidal growths are found, from the development of root cells to the growth of total air mass in large forest trees. Such curves start from a fixed point and increase their slope monotonously until reaching a turning point, in which the slope begins to decrease and the function asymptotically approaches a final value.

The curve that represents the growth of a fruit varies with the species in question. For citrus fruit, it generally corresponds to a simple sigmoid, characterized by three well-defined periods: the first one,

of exponential growth, caused by cell division, goes from anthesis to the end of the physiological flower fall (phase I). The second one, of linear growth, generated by cell growth, from the end of the physiological flower fall, until shortly before the fruit color change (phase II). The third one is characterized by a reduced growth rate and includes all the changes associated with maturation (phase III) (Orduz-Rodríguez *et al.* 2009; Ueda *et al.* 2010; Cañizares Chacín *et al.* 2012; Agustí *et al.* 2020; Forlin *et al.* 2023).

For the particular case of Ponkan mandarin (*Citrus reticulata* 'Ponkan'), Esposti *et al.* (2008), found that fruit development followed a simple sigmoid curve, with phase I extending from anthesis to day 85 after full flowering, with a transition period to phase II lasting until day 101 after full flowering. Phase II began shortly after the transition phase and extended until day 251 after full flowering, beginning phase III of fruit ripening, which extended until harvest, which took place 276 days after full flowering.

Numerous mathematical functions have been proposed to model these growth curves. The most used are Logistics (Nelder, 1961), Gompertz (1825), Von Bertalanffy (1938) and Brody & Lardy (1945), followed by those of Richards (1959), Morgan *et al.* or MMF (1975) and the models derived from Weibull distribution (1951). In turn, each of them presents different parameterizations, which are alternative ways in which a parameter can appear in the model, and which give it particular characteristics, constituting families of curves.

According to Cordeiro *et al.* (2009), many times the model is not expressed in a parametric form that facilitates the convergence of the iterative process used to obtain the parameter estimates. So it is necessary to look for the most appropriate re-parameterization, that is, its behavior is as close as possible to the behavior of a linear model since the statistical properties of nonlinear models, the estimation of parameters and the validity of the asymptotic inference depend on the approximations to the linear behavior of said models. Many authors have used different models to describe and develop fruit growth curves (Godoy *et al.* 2008; Balaguera *et al.* 2009; Terra *et al.* 2010; Prado *et al.* 2013; De Brites Senra *et al.* 2022), but in general they don't question the re-parameterizations available for that model.

The expressions used to evaluate the adequacy of these linear approaches and their effects on inference are known as nonlinearity measures (Cordeiro *et al.* 2009). Bates & Watts (1980) quantified the nonlinearity present in the nonlinear models based on the geometric concept of curvature and demonstrated that nonlinearity can be decomposed into two parts: the intrinsic nonlinearity (IN) that is typical for the model and the parameter effect (PE), which represents the effect of nonlinearity on the model parameters. Large values of IN indicate high nonlinearity of the response function, and high values of PE indicate that the parameterization of the model is responsible for the greater distance from the linear form. A model should be preferred when it has low values for these statistics, since estimators tend to be unbiased, normally distributed, and with minimal variance, even in small samples (Zeviani *et al.* 2012).

Various articles analyze non-linear models in different plant species; however, the literature is scarce in the description of growth in mandarins and especially in tangors (a hybrid of mandarin and sweet orange). For this reason, the objective of this work was to find not only a mathematical model, but also its most convenient re-parameterization, which allows describing the growth pattern of tangor murcott fruit (*Citrus reticulata* x *C. sinensis* 'Murcott').

MATERIALS AND METHODS

Experimental Data. Experimental data were obtained in nine commercial tangor murcott orchards, located in four locations in the Province of Corrientes, Argentina, for five seasons. Since the same orchards were not studied in all seasons, the orchard-season combination constituted thirteen different environments.

The climate of the region in question is humid subtropical, very warm in summer, but with a chance of frost in winter. It has frequent

water excesses in autumn and spring, and moderate and eventual deficits, mainly in summer. The average annual temperature varies between 21 °C North and 19 °C South. Rainfall is abundant and frequent, exceeding 1,500 mm annually NE, gradually decreasing to less than 1,000 mm in the SW angle. The number of days with rainfall varies very little between the months of the year; between 6 and 8 per month, which total around 80-100 days of rainfall per year. The average annual relative humidity ranges, in all locations in the province, between 70 and 75% (Ministry of Production, province of Corrientes, 2019).

All orchards had drip irrigation and the plants received the usual pruning, fertilization, thinning and health treatment in the area. Table 1 shows the characteristics of the orchards and season in which the measurements were taken.

Table 1. Name, location, characteristics and seasons studied for the different tangor murcott orchards (*Citrus reticulata* x *C. sinensis* 'Murcott').

Location	Orchard	Co-ordinates	Graft-holder	Planting frame	No. of trees	Age (years)	Soil	Season
Tabay	1.1	28°18'08" S 58°15'16" W	<i>Poncirus trifoliata</i>	7 x 3.5	582	8	Sandy	2010/11
	1.2	28°18'20" S 58°15'55" W	<i>P. trifoliata</i>	7 x 3.5	361	15	Sandy	2014/15
	1.3	28°18'07" S 58°16'02" W	<i>P. trifoliata</i>	7 x 3.5	361	15	Sandy	2014/15
	1.4	28°17'51" S 58°14'57" W	<i>Citrus maxima</i>	6 x 5	1089	15	Sandy	2015/16
	1.5	28°17'54" S 58°15'07" W	<i>P. trifoliata</i>	6 x 2	1304	11	Sandy	2015/16
San Lorenzo	2.1	28°14'58" S 58°50'12" W	<i>P. trifoliata</i>	7 x 3.5	733	7	Clayey	2010/11
								2011/12
								2013/14
Bella Vista	3.1	28°28'16" S 58°58'17" W	<i>P. trifoliata</i>	6 x 3	815	18	Sandy	2010/11
								2013/14
	3.2	28°28'59" S 58°15'19" W	<i>P. trifoliata</i>	7 x 3.5	949	7	Sandy	2015/16
Santa Rosa	4.1	28°15'16" S 58°02'05" W	<i>P. trifoliata</i>	6 x 2	733	10	Sandy	2011/12

On the perimeter of each orchard plot, an edge composed of the first three rows was not included and from the remaining ones 10 plants were selected on its two diagonals, through systematic sampling with random start. In each plant, 30 fruit were identified, distributed throughout the crown of the tree, whose equatorial diameter (mm) was monitored using a digital caliper, with a frequency of 10 to 15 days. To determine the sample size, the recommendations followed were those of Avanza *et al.* (2010). The measurements began once the

cultural management that defines the amount of fruit in the plant was completed, commonly called load, and were referred to as days from the date of full flowering (DDPF), which corresponds to 80% of open flowers. Measurements began between 58 and 105 DDPF depending on the orchard and season, and continued until harvest, obtaining between 10 and 22 measurements throughout the growth period. Considering the fruit that suffered natural fall and the subsequent cleaning of the database, 2,053 fruit were available for analysis.

Statistical analysis: nonlinear regression. In the first instance, for each fruit, the models corresponding to the mathematical equations described in Table 2 were adjusted, where the first parameterization is presented with which these curves appeared in the literature and then the re-parameterizations of these initial forms most frequently cited in the literature, which in turn are detailed in Table 2. All

cases indicate the deterministic part of the expression. The PROC NLIN procedure was used in the SAS[®] On Demand for Academics statistical package (SAS, 2023), with the Marquardt calculation method. The initial values for the estimators were obtained according to the methodology proposed by Ratkowsky (1983).

Table 2. Models analyzed to describe growth of sigmoid-type fruit.

Initial parameterization		
$y = \frac{\alpha}{1 + \exp^{(\beta - \gamma x)}}$ Logistics (L1) (Nelder, 1961)	$y = \alpha \exp^{-[\exp^{(\beta - \gamma x)}]}$ Gompertz (G1) (1825)	
$y = \alpha - \beta \gamma^x$ Von Bertalanffy (1938)	$y = \alpha * (1 - \beta * \exp^{(-\gamma * x)})$ Brody & Lardy (1945)	
$y = \frac{\beta \gamma + \alpha x^\delta}{\gamma + x^\delta}$ Morgan-Mercer-Flodin (1975)	$y = \frac{\alpha}{[1 + \exp^{(\beta - \gamma x)}]^{1/\delta}}$ Richards (1959)	$y = \alpha - \beta \exp^{-\gamma x^\delta}$ Weibull (1951)
Logistic (L) and Gompertz (G) Model Re-parameterizations		
$y = \frac{1}{\alpha + \beta \exp(-\gamma x)}$ (L2)	$y = \frac{1}{\alpha + \beta \gamma^x}$ (L3)	$y = \frac{\alpha}{1 + \exp(\beta) \gamma^x}$ (L4)
$y = \frac{1}{\alpha + \exp(\beta) \gamma^x}$ (L5)	$y = \frac{\alpha}{1 + \beta \exp(-\gamma * x)}$ (L6)	$y = \frac{\alpha}{1 + \left(\frac{1}{\beta} - 1\right) * e^{-\gamma * x}}$ (L7)
$y = \exp(\alpha - \beta \gamma^x)$ (G2)	$y = \alpha * e^{-e^{[\gamma * (\beta - x)]}}$ (G3)	$y = \alpha * e^{-\beta * e^{(-\gamma * x)}}$ (G4)

y= equatorial diameter of fruit, x= DDPF, α , β , γ and δ = parameters.

Nonlinear models were evaluated with the classic goodness-of-fit criteria: number of non-convergent curves (NCNC), coefficient of determination (R^2), magnitude of the residual deviation (Sy/x) and t-test for null hypothesis of parameter equal to zero.

In addition, magnitudes and significance of intrinsic nonlinearity (IN) and parameter effect (PE) nonlinearity were evaluated, determining their significance with the critical value $1/\sqrt{F_{(p, v, \alpha)}}$, where $v = n - p$ with n = number of observations in time and p = number of model parameters. IN and PE measure the degree of nonlinearity in a data-model-parameterization set, and if they are not significant, the model could be considered to have linear behavior.

In the different models presented, as well as in their different parameterizations, Greek letters α , β , γ γ δ were used deliberately and consistently, so that they represent the same meaning in all

of them. Thus, the interpretations of them correspond to the following aspects of the growth curves: α is the parameter related to the superior asymptote, β to the intercept of the function, γ with the rate of growth of the curve from a 'start' value determined by the magnitude of β to a 'final' value, determined by the magnitude of α , and finally δ , only present in the four-parameter models, it provides greater flexibility to the model for data adjustment, compared to three-parameter models.

To the previously selected model, which corresponds to a non-linear fixed model, random effects associated with each parameter were incorporated, given that the observations were made on the same fruit (subject) over time (longitudinal measurements). To do this, the adjustment of seven possibilities for adding random effects in the parameters, three models with the addition of random effect on a single parameter, three models with random effect addition on two parameters, and a third model with random effect addition

on all three parameters was evaluated. These mixed nonlinear models were adjusted with the restricted maximum likelihood method, using library *nlm* (Nonlinear Mixed-Effects Models) of the R package (R Development R Core Team, 2022) and they were compared using the Akaike Information Criterion (AIC) (Akaike, 1974) and the Bayesian Information Criterion (BIC) (Schwarz, 1978).

Statistical analysis: components of variance on estimated parameters. To study the effect of environmental factors on the estimated parameters, the selected growth curve was adjusted to each fruit and an unbalanced analysis of variance was proposed considering orchards, seasons and trees as random factors according to the following model:

$$y_{ijkl} = \mu + O_i + S_j + O^*S_{ij} + T(O^*S)_{k(ij)} + \epsilon_{l(ijk)}$$

Where: y_{ijkl} are the estimates of parameters α , β and γ for each fruit, O_i the effect of i^{th} orchard, S_j is the effect of the j^{th} season, O^*S_{ij} effect of orchard-season interaction, $T(O^*S)_{k(ij)}$ effect of k^{th} nested tree in combination i^{th} orchard with j^{th} season and $\epsilon_{l(ijk)}$ the random error, which in this case corresponds to the variability between fruits.

For each of the factors and interaction, its significance was analyzed, and its component of variance was found in absolute and percentage terms. For this analysis the GLM and VARCOMP procedures of the SAS® On Demand for Academics statistical package (SAS ODA, 2023) were used.

Table 3. Goodness-of-fit measures for the different models.

Model	NCNC	No. of fruit IN **	Sy/x	R ²
Logistics (L1)	0	2	1.5010	0.9840
Gompertz (G1)	0	1	1.5164	0.9836
Von Bertalanffy	8	32	1.5968	0.9820
Brody	8	7	1.5956	0.9821
MMF	19	57	1.4231	0.9854
Richards	147	717	1.4029	0.9870
Weibull	3	231	1.4257	0.9864

NCNC = number of curves that did not converge. No. of IN fruit** = quantity of tangor murcott fruit with significant intrinsic non-linearity (p-value < 0.05). Sy/x = mean residual deviation (mm). R2 = coefficient of determination. (n=2,053).

Of the models with three parameters, those that performed best, either due to ease of convergence, IN and goodness-of-fit, were Logistics and Gompertz models. It should be noted that both models showed adequate residual behavior, and in all cases the estimated parameters were significant (p < 0.001). Therefore, the study of the parameter behavior corresponding to the different parameterizations was continued only in these two models.

Of all the re-parameterizations analyzed for Logistics and Gompertz models, we could consider L1, L4 and L5 as the most satisfactory

RESULTS AND DISCUSSION

Table 3 shows that the four-parameter models are the ones that presented the least residual deviation given the versatility that these models have when presenting a flexibility parameter, which translates into slightly higher R² values. But at the same time they were the ones that had the greatest problems of convergence and high number of fruit with significant intrinsic nonlinearity, particularly Richards' model, which would imply an over-parameterization of these models to describe the growth pattern of tangor murcott fruit for the number of records over time available in this study. Similar results were found by Bramardi *et al.* (1997), for cvs. William's and Packham's triumph pear fruit (*Pyrus communis* 'William's' and 'Packham's Triumph'). Avanza *et al.* (2008) mention that MMF and Richards models did not converge for any fruit and Weibull model for only one in their study on the growth pattern of sweet orange fruit. On the contrary, Ukalska & Jastrzębowski (2019) had no problems with convergence in Richards' model and it was selected as the best to describe the dynamics of the emergence of the common oak epicotyl (*Quercus robur*); this is surely because daily growth measurements were surveyed over a period of 74 days. Solórzano-Thompson *et al.* (2021) also opted for a four-parameter model (MMF) to study the evolution of oil palm performance (*Elaeis guineensis*) throughout the life cycle of the crop, but they did not analyze nonlinearity measures.

since they recorded the lowest values of mean PE nonlinearity (Table 4). In them, between 77.29 and 84.06% of the fruit present estimates of their parameters close to linear behavior, which implies we're speaking about estimators that may be considered weakly biased, with a distribution close to normal and with minimal variance. At the same time, parameterization L5, in addition to having the lowest mean PE non-linearity measurement value, was the most homogeneous.

Table 4. Tangor murcott fruit percentage with significant parameter effect (PE) (p-value < 0.05) for the different re-parameterizations of the Logistics and Gompertz models. SD: standard deviation

Parameterization	% PE fruit**	Mean PE	SD (PE)
L1	22.71	0.4749	0.3124
L2	96.29	1.4278	0.7014
L3	96.72	1.4393	0.7073
L4	21.62	0.4664	0.3099
L5	15.94	0.3974	0.2410
L6	93.89	1.3161	0.6698
L7	93.89	1.3161	0.6698
G1	47.38	0.6683	0.4778
G2	94.54	1.2687	0.5981
G3	63.32	0.8135	0.5768
G4	94.98	1.2723	0.6023

To describe the growth of the gulupa fruit (*Passiflora edulis f. edulis* SIMS), Carvajal *et al.* (2012) found that the model that best adjusted growth was Logistics. Cañizares Chacin *et al.* (2012) found that in the cultivation of “Tahiti” lime (*Citrus latifolia* Tanaka), the development of the fruit followed a sigmoid model from anthesis to maturation, characterized by the three phases described in the introduction. These results coincide with those of Balaguera *et al.* (2009) who in order to study the growth and development of champa (*Campomanesia linearifolia*) adjusted a Logistic model, because it presented a smaller residual mean square of the error compared to the Gompertz model. On the other hand, in Valencia Late orange (*Citrus sinensis* ‘Valencia Late’) Román-Román & Torres-Ruiz (2014) found that Bertalanffy’s modified version (Lv & Pitchford, 2007) provided a good fit.

Fernandes *et al.* (2015), highlight that the choice of parameterization affects the model, and therefore, influences the reliability and inferences about the estimated parameters. In their study, PE values were lower than IN for pequi fruit growth (*Caryocar brasiliense*) in L6 and G4. Also, they mention that the parameterizations in models L6 and G3 had the highest standard error for the estimation of the parameter β , resulting in a greater effort in the computational calculation since these estimates require more iterations to achieve the convergence of the solution curve as also Rossi & Santos (2014) stated.

By using nonlinearity measures, Bramardi *et al.* (1997) selected the Logistics model in the third parameterization according to Ratkowsky (1983), to describe the growth of William’s and Packham’s triumph pear fruit, in order to be used for prediction of final fruit size. Fernandes *et al.* (2014) and De Brites Senra *et al.* (2022), use nonlinearity measures as one more goodness-of-fit measure to choose the model that best describes the growth of coffee fruit, *Coffea arabica* cv. Obatã and *Coffea canephora* cv. Conillon, respectively.

Due to the above, the Logistics model in its fifth parameterization (L5) can be considered the most appropriate to describe the growth pattern for tangor murcott fruit. This result agrees with Avanza *et al.* (2008), who found that the most appropriate model-data-parameterization combination to describe the growth pattern for Valencia Late orange fruit is the Logistics model in the fifth parameterization, according to Ratkowsky (1983), defined for three sizes of small, medium and large fruit. In their work, 93.3% of the fruit presented non-significant PE for said re-parameterization.

The interpretation of the parameters in model L5 according to Ratkowsky (1983) is the following:

α : parameter related to the superior asymptote (ASIN); in this parameterization $ASIN = 1 / \alpha$.

β : parameter associated with the lower asymptote or intercept (INT) that describes the value of Y corresponding to X = 0. In this parameterization $INT = 1 / (\alpha + e^\beta)$.

γ : parameter related to the growth rate (TC) from the initial values (magnitude β) to the final values (magnitude α); in this parameterization it is given by the TC function = $-\ln \gamma$.

By incorporating random effects into the parameters of model L5, it was found that the alternative that presented the best fit (AIC and BIC criterion) was the one that considered these effects in the three parameters, that is, all the terms of the model vary from individual to individual. Therefore, the expression of the mixed non-linear model to describe the growth of these fruit should be expressed as:

$$y_l = \frac{1}{(\alpha + a_l) + \exp(\beta + b_l) * (\gamma + g_l)^x}$$

where a_l , b_l and g_l represent the random component of fruit l on each of the estimated parameters.

Table 5 shows the estimates of the fixed part of the parameters of the mixed nonlinear model by season and orchard.

Regarding the analysis of the variance, the orchard*season interaction was only significant for parameter γ (p-value = 0.02), the other terms of the model under analysis being highly significant (p-value < 0.001). Table 6, where the estimates of the variance components for each parameter are detailed, shows that γ together

with β had their main source of variation in the orchard and season factors, that is, both the initial size of the fruit and the rate of growth are the characteristics of the growth curve that are most affected by differential environmental conditions. On the other hand, in the case of parameter α , associated with the final size of the fruit, the participation of the tree and fruit factors in the total variability increases, although the variability between orchards and seasons remains highly significant.

Table 5. Estimation of parameters α , β and γ of the Logistics model in its 5th re-parameterization for average growth of tangor murcott fruit per season and orchard analyzed

Orchard	Season	No. Fruit	α	β	γ
1.1	2010/11	69	0.0156	-2.1201	0.9783
1.2	2014/15	137	0.0144	-1.9063	0.9798
1.3		151	0.0131	-2.0842	0.9813
1.4	2015/16	213	0.0162	-1.3429	0.9745
1.5		209	0.0155	-1.7127	0.9786
2.1	2010/11	202	0.0142	-2.2697	0.9817
	2011/12	151	0.0143	-1.9334	0.9779
	2013/14	133	0.0139	-1.9504	0.9824
3.1	2010/11	195	0.0136	-3.1971	0.9854
	2013/14	101	0.0143	-2.9079	0.9850
	2014/15	129	0.0153	-1.9367	0.9781
3.2	2015/16	169	0.0124	-2.8262	0.9880
4.1	2011/12	194	0.0141	-1.8199	0.9844

Table 6. Estimation of components of absolute (Var) and percentage (Var%) variance of the orchard, season and tree factors corresponding to the estimated parameters of the non-linear model L5 for each tangor murcott fruit.

Random effects	α		β		γ	
	Var	%Var	Var	%Var	Var	%Var
Orchard	1.07E-06	26.57	0.4190	43.40	1.46E-05	39.82
Season	7.57E-07	18.71	0.4251	44.03	1.28E-05	34.96
Orchard*Season	ns	-	ns	-	1.19E-06	3.25
Tree	1.03E-06	25.47	0.0256	2.65	2.22E-06	6.07
Residual	1.18E-06	29.24	0.0957	9.91	5.81E-06	15.89

ns: no significant (p-value > 0.05)

The fact that the different parameters of the growth curves for tangor murcott have variability between environments is of interest from an agronomic point of view, given that depending on the environmental characteristics (season-orchard combination) the size of the fruit changes throughout its entire growth period.

Through multiple regression analysis, with different climatic variables as regressors, Kaack & Pedersen (2010) demonstrated that the diameter of apple fruit (*Malus domestica*) was significantly affected by

two climatic factors: degree days and evaporation potential. Zdravec *et al.* (2014), compared 4 apple cultivars and found that the harvest size of the fruit varies significantly between years, depending largely on temperatures, location and other environmental factors.

Similar results were reported by Orduz-Rodríguez *et al.* (2009) in myrtle mandarin (*Citrus reticulata* 'Arrayana') where they demonstrated that growth rates, external characteristics and fruit quality are determined by the climatic conditions of the region and the grown variety.

Due to the above, the introduction of random effect coefficients in the modeling of tangor murcott growth curves allows modeling the covariance between observations coming from the same fruit, introducing flexibility to the model to contemplate the variability existing among individuals and among environmental conditions in accordance with what is established by Godoy *et al.* (2008).

Avanza *et al.* (2008) report, in a study on the growth pattern of Valencia Late orange, orchard-season interaction, both for the parameters associated with growth rate and for that related to the intercept and found the initial size of the fruit, a factor that was not considered in this work, as the main source of variation for all parameters.

Bramardi *et al.* (1998) by describing the growth pattern of cvs William's and Packham's triumph pears, through analysis of the variance on the estimated parameters for each fruit of a logistic model in parameterization L3, found a relatively homogeneous behavior between trees that belong to the same orchard, but important variations due to their particular characteristics (orchard effect), and the climatic conditions during the seasons (year or season effect) which coincides with the results found.

Panta *et al.* (2023) studied the growth pattern of three pecan nut cultivars (*Carya illinoensis*). They used a mixed nonlinear model to analyze the variability in the parameters of the Gompertz and Logistics models with respect to the cultivar factor and five different locations, which were also significant. In addition, they proposed a growth model based on the accumulation of thermal units, instead of DDPF, to facilitate a more precise management of the orchard. Cepeda *et al.* (2021) by assuming that there is a temperature effect on the growth of Anna cultivar apples, in the Logistics model they use accumulated degree/days above 7.22 °C in the abscissa, which is the temperature at which they consider that the metabolic process in apples is in its lowest point. Del Brio *et al.* (2023b) incorporate environmental covariates, in particular thermoaccumulative rates, in a mixed non-linear (logistical) model to describe the growth of William's cultured pear fruit, managing not only to describe their growth, but also to consider environmental variations over different seasons.

It is evident that fruit growth is influenced by climatic factors (temperature, rainfall) and the type of orchard (soil, plant age) and this is no exception for tangor murcott fruit. However, this does not prevent a model of average behavior of the tangor murcott fruit growth pattern from being established to serve as a reference. To do this, the chosen model was adjusted on all the fruit under study, resulting in the following expression:

$$DE(\text{mm}) = \frac{1}{0.0138 + e^{(-2.6378) * 0.9851^{DDPF}}}$$

In subsequent work with this model, average growth curves must be adjusted for different commercial sizes in order to obtain "growth tables" that allow the expected fruit size to be estimated in advance at harvest and, consequently, to be able to make production predictions and size distribution in order to better plan

the commercialization of production. Also, these tables are a useful tool for improving the cultural practice of manual fruit thinning, which, despite not being widespread in citrus farming, provides important benefits since it allows obtaining fruit of larger size, which even at the expense of a reduction in the general yield of the crop, it is economically more profitable (Agustí *et al.* 2020).

In line with the above Stander & Cronjé (2016) recommend manual summer thinning for nadorcott mandarin (*Citrus reticulata* 'Nadorcott'), which by reducing the number of small fruit increases the growth rate of the remaining fruit. This results in a greater number of premium-sized fruit per tree and higher quality, resulting in an economic return for the producer and an interesting alternative to the use of chemical thinning agents to manage the crop load.

Although a cost-benefit analysis of manual fruit thinning in tangor has not yet been performed, it is a growing practice in the Corrientes region, Argentina; therefore, having these growth tables would facilitate the implementation of this cultural work.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the Universidad Nacional del Nordeste, for financing a large part of this study, to the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET, for the Postgraduate Scholarship awarded to the first author, to the Universidad Nacional de Comahue for its support in the data analysis and discussion of results stage, to the producers who kindly made their orchards available for information collection, and to the student assistants Alejandra Montoya and Nicolás Billordo who contributed to the data collection. Additionally, the authors thank to Fondo Nacional Francisco José de Caldas for the financial support for the translation of this article through the project "Propuesta fortalecimiento gestión editorial de revistas científicas de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A 2023-2024". **Conflicts of interest:** This article is a derivative product of a chapter of the doctoral thesis in co-holdership by the Universidad Nacional del Nordeste (Argentina) and the Universidad de Oviedo (Spain) "A model for predicting production volumes and size distribution of fruit to harvest for tangor murcott mandarin", and the manuscript was prepared and reviewed with the participation of all authors, who declare that there is no conflict of interest that puts at risk the validity of the results presented. **Authors' contribution:** Griselda Bóbeda: research, data curation, logistics, methodology, data analysis and original draft writing. Valentín Tassile: data analysis and software. Silvia Mazza: overview, original draft writing and review. Sergio Bramardi: conceptualization, overview, validation, review, writing and editing.

REFERENCES

- AGUSTÍ, M.; MESEJO, C.; REIG, C.; MARTÍNEZ-FUENTES, A.; ZARAGOZA, S.; PRIMO-MILLO, E. 2020. El tamaño del fruto en los cítricos. Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos. 441:57-67




- AKAIKE, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 19(6):716-723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- AVANZA, M.M.; BRAMARDI, S.J.; MAZZA, S.M. 2008. Statistical models to describe the fruit growth pattern in sweet orange 'Valencia late'. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 6(4):577-585. <https://doi.org/10.5424/sjar/2008064-352>
- AVANZA, M.M.; BRAMARDI, S.J.; MAZZA, S.M. 2010. Tamaño óptimo de muestra para evaluar el patrón de crecimiento de frutos de naranja 'Valencia Late'. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 32(4):1154-1163. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000132>
- BALAGUERA, H.E.; ÁLVAREZ, J.G.; BONILLA, D.C. 2009. Crecimiento y desarrollo del fruto de champa. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 12 (2):113-123. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n2.2009.697>
- BATES, D.M.; WATTS, D.G. 1980. Relative curvature measures of nonlinearity: with discussion. *Journal of the Royal Statistical Society, Serie A*. 42(1):1-25. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1980.tb01094.x>
- BÓBEDA, G.R.R.B.; COMBARRO, E.F.; MAZZA, S.; GIMÉNEZ, L. 2018. Using regression trees to predict citrus load balancing accuracy and costs. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 12(1):79-89. <https://doi.org/10.2991/ijcis.2018.25905183>
- BRAMARDI, S.; ZANELLI, M.L.; CASTRO, H.R. 1997. Aplicación de medidas de no linealidad para la selección de modelos de crecimiento. *Revista de la Sociedad Argentina de Estadística*. 1(1):39-52.
- BRAMARDI, S.J.; CASTRO, H.; ZANELLI, M.L. 1998. Fruit growth pattern of pear cv. Bartlett and Packham's Triumph to improve hand thinning. *Acta Horticulturae*. 475:283-293. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.475.34>
- BRODY, S.; LARDY, H. 1945. Bioenergetics and growth. *The Journal of Physical Chemistry New York*. 50(2):168-169. <https://doi.org/10.1021/j150446a008>
- CAÑIZARES CHACIN, A.E.; BONAFINE, O.; MÉNDEZ NATERA, J.R.; LAVERDE, D.; PUESME, R. 2012. Crecimiento, desarrollo y calidad del fruto de Lima 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka) en el Estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 12(3):535-541.
- CARVAJAL, V.; ARISTIZABAL, M.; VALLEJO, A. 2012. Caracterización del crecimiento del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *esdulis* Sims). *Agronomía*. (Colombia). 20(1):77-88
- CEPEDA, A.M.; VÉLEZ-SÁNCHEZ, J.E.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E. 2021. Analysis of growth and physicochemical changes in apple cv. Anna in a high-altitude tropical climate. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 15(2):e12508. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12508>
- CORDEIRO, G.M.; PRUDENTE, A.A.; DEMÉTRIO, C.G.B. 2009. Uma revisão dos modelos normais não-lineares. *Revista Brasileira de Biometria*. 27(3):360-393.
- DE BRITES SENRA, J.F.; DA SILVA, J.A.; FERREIRA, A.; DEGLI ESPOSTI, M.D.; SILVA, U.R.; MILHEIROS, I.S.; ZACARIAS, A.J. 2022. Seleção de modelos não lineares e o estudo do crescimento dos frutos de café conilon. *Research, Society and Development*. 1(4):e21511427093. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27093>
- DEL BRIO, D.; TASSILE, V.; BRAMARDI, S.; FERNANDEZ, D.; REEB, P. 2023a. Apple (*Malus domestica*) and pear (*Pyrus communis*) yield prediction after tree image analysis. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*. 55(2):1-11. <https://doi.org/10.48162/rev.39.104>
- DEL BRIO, D.; TASSILE, V.; BRAMARDI, S.; REEB, P. 2023b. Incorporation of environmental covariates to nonlinear mixed models describing fruit growth. *Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA)*. 49(3):85-92. <https://doi.org/10.58149/14h1-sp68>
- ESPOSTI, M.D.D.; DE SIQUEIRA, D.L.; CECON, P.R. 2008. Crecimiento de frutos da tangerineira 'Ponca' (*Citrus reticulata* Blanco). *Revista Brasileira de Fruticultura*. 30(3):657-661. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452008000300016>
- FEDERACIÓN ARGENTINA DEL CITRUS-FEDERCITRUS. 2023. La actividad cítrica 2023: the argentine citrus industry. Available from Internet in: <https://www.federcitrus.org/estadisticas/>.
- FERNANDES, T.J.; MUNIZ, J.A.; PEREIRA, A.A.; REZENDE MUNIZ, F.; MUIANGA, C.A. 2015. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. *Acta Scientiarum Technology*. 37(4):397-402
- FERNANDES, T.J.; PEREIRA, A.A.; MUNIZ, J.A.; SAVIAN, T.V. 2014. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. *Coffee Science*. 9(2):207-215.
- FORLIN, A.S.; CHABBAL, M.D.; YFRAN, E.M.; GIMENEZ, L.I.; CARCAÑO, A.F.; BELTRÁN, V.M. 2023. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento del portainjerto limón rugoso (*Citrus jambhiri* Lush.) bajo condiciones de vivero. *Agrotecnia*. 34:15-23. <https://doi.org/10.30972/agr.347268>

- GODOY, C.; MONTERUBBIANESI, G.; TOGNETTI, J. 2008. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. *Scientia Horticulturae*. 115(4):368-376. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.018>
- GOMPertz, B. 1825. On the nature of the functions expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 115:513-583. <https://doi.org/10.1098/rspl.1815.0271>
- KAACK, K.; PEDERSEN, H. 2010. Prediction of diameter, weight and quality of apple fruit (*Malus domestica* Borkh.) cv. 'Elstar' using climatic variables and their interactions. *European Journal of Horticultural Science*. 75(2):60-70.
- LV, Q.; PITCHFORD, J.W. 2007. Stochastic von Bertalanffy Models, with applications to Fish Recruitment. *Journal of Theoretical Biology*. 244(4):640-655. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2006.09.009>
- MINISTERIO DE PRODUCCIÓN PROVINCIA DE CORRIENTES. 2019. Plan de gestión integral del riesgo agropecuario de la Provincia de Corrientes. Gobierno de la Provincia de Corrientes (Argentina). 119p. Available from Internet in: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/girsar-corrientes-ppgira.pdf>
- MORGAN, PH.; MERCER, L.P.; FLODIN, N.W. 1975. General model for nutritional responses of higher organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 72:4327-4331. <https://doi.org/10.1073/pnas.72.11.4327>
- NELDER, J.A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*. 17(1):89-110. <https://doi.org/10.2307/2527498>
- ORDUZ-RODRÍGUEZ, J.O.; MONROY, H.; FISCHER, G.; HERRERA A. 2009. Crecimiento y desarrollo del fruto de mandarina (*Citrus reticulata*) 'Arrayana' en condiciones del piedemonte del Meta, Colombia. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. 3(2):149-160. <https://doi.org/10.17584/rcch.2009v3i2.1208>
- PANTA, S.; ZHOU, B.; ZHU, L.; MANESS, N.; ROHLA, C.; COSTA, L.; AMPATZIDIS, Y.; FONTAINER, C.; KAUR, A.; ZHANG, L. 2023. Selecting non-linear mixed effect model for growth and development of pecan nut. *Scientia Horticulturae*. 309:111614. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111614>
- PRADO, T.K.L.; SAVIAN, T.V.; MUNIZ, J.A. 2013. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. *Ciencia Rural*. 43(5):803-809. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000044>
- R CORE TEAM VERSIÓN 4.2.2. 2022. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from Internet in: <https://www.R-project.org/>
- RATKOWSKY, D.A. 1983. *Nonlinear regression modeling: a unified practical approach*, Marcel Dekker Inc. New York, USA. 276p.
- RICHARDS, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal Experimental Biology*. 10:290-300.
- ROMÁN-ROMÁN, R.; TORRES-RUIZ, F. 2014. Forecasting fruit size and caliber by means of diffusion processes. application to "Valencia Late" oranges. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*. 19(2):292-313. <https://doi.org/10.1007/s13253-014-0172-3>
- ROSSI, R.M.; SANTOS, L.A. 2014. Modelagem Bayesiana para curvas de crescimentos de codornas assumindo assimetria nos erros. *Semina: Ciências Agrárias*. 35(3):1637-1648.
- SAS. 2023. SAS/STAT software, versión 9.3 of SAS System for Windows. Copyright © 2023 SAS Institute Inc. Cary, NC, EE. UU.
- SCHWARZ, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*. 6(2):461-464.
- SOLÓRZANO-THOMPSON, J.; PANIAGUA-MOLINA, J. BARBOZA-NAVARRO, D. 2021. Ajuste de diferentes modelos de crecimiento no lineal al rendimiento de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) a lo largo del ciclo de vida del cultivo, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 34(1):115-126. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i1.5096>
- STANDER, O.P.J.; CRONJÉ, P.J.R. 2016. Reviewing the commercial potential of hand thinning in citrus with a cost-benefit analysis of summer hand thinning of Nadorcott 'mandarin'. *HortTechnology*. 26(2):206-212. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.26.2.206>
- TERRA, M.F.; MUNIZ, J.A.; SAVIAN, T.V. 2010. Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos da tamareira-anã (*Phoenix roebelenii* O'BRIEN). *Magistra*. 22(1):1-7.
- UEDA, C.; YAMAMOTO, A.; DE CARVALHO NUNES, W.; SCAPIM, C.; GUEDES, T. 2010. Nonlinear models for describing the citrus variegated chlorosis in groves of two counties at northwestern Paraná state, Brazil. *Acta Scientiarum Agronomy*. 32(4):603-611. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.11625>
- UKALSKA, J.; JASTRZĘBOWSKI, S. 2019. Sigmoid growth curves, a new approach to study the dynamics of the epicotyl emergence of oak. *Folia Forestalia Polonica, Series A - Forestry*. 61(1):30-41. <http://dx.doi.org/10.2478/ffp-2019-0003>

- VON BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws II). *Human Biology*. 10(2):181-213
- WANG, D.; HE, D. 2021. Channel Pruned YOLO 5s-based deep learning approach for rapid and accurate apple fruitlet detection before fruit thinning. *Biosystem engineering*. 210:271-281. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.08.015>
- WEIBULL, W. 1951. A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*. 18:293-296
- ZADRAVEC, P.; VEBERIC, R.; STAMPAR, F.; SCHMITZER, V.; ELER, K. 2014. Fruit growth patterns of four apple cultivars using nonlinear growth models. *European Journal of Horticultural Science*. 79(2):52-59.
- ZEVIANI, W.M.; SILVA, C.A.; CARNEIRO, W.J.O.; MUNIZ, J.A. 2012. Modelos não lineares para a liberação de potássio de esterco animal em latossolos. *Ciencia Rural*. 4(10):1789-1796. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012001000012>

Virus prevalence and mixed infections in yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) crops in Valle del Cauca, Colombia

Prevalencia e infección mixta de virus en cultivos de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) en el Valle del Cauca, Colombia

Francy Jhoana Ceballos-Burgos¹ ; Jorge Iván Pérez-López¹ ; Andres Felipe Nieto-Cárdenas¹ ; Diana Marcela Rivera-Toro¹ ;
John Albeiro Ocampo¹ ; Karina López-López^{1*} ; Juan Carlos Vaca-Vaca¹ 

¹Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo IPMA Interacción Planta Microorganismo Ambiente. Palmira, Valle del Cauca, Colombia; e-mail: fjcevallosb@unal.edu.co, jiperezl@unal.edu.co, afnietoc@unal.edu.co, dmriverat@unal.edu.co, jaocampop@unal.edu.co, klopezl@unal.edu.co, jcvacava@unal.edu.co.

*corresponding author: klopezl@unal.edu.co

How to cite: Ceballos-Burgos, F.J.; Pérez-López, J.I.; Nieto-Cárdenas, A.F.; Rivera-Toro, D.M.; Ocampo, J.A.; López-López, K.; Vaca-Vaca, J.C. 2024. Virus prevalence and mixed infections in yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) crops in Valle del Cauca, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2364. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2364>

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

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

Received: March 6, 2023

Accepted: June 3, 2024

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Yellow passion fruit crop is affected by multiple phytosanitary problems. Among the main ones are viruses of the genera *Potyvirus* (soybean mosaic virus, SMV), *Cucumovirus* (cucumber mosaic virus, CMV), *Tymovirus* (tymovirus passiflorae, PYMV) and *Begomovirus* (passionfruit leaf distortion virus, PLDV). Information about the prevalence and interaction between these viruses is scarce. The objective of this study was to verify the prevalence and identify the types of mixed viral infections of potyvirus, cucumovirus, tymovirus, and begomovirus in passion fruit crops in Valle del Cauca, Colombia. Passion fruit leaf samples with symptoms were collected and their nucleic acids were purified. Virus identification was performed by PCR using universal primers by viral genus, and specific primers for the SMV, CMV, PFYMV and PLDV viruses. The incidence of each virus by municipality was analyzed and the severity of the symptoms was compared with the diagnosis made. In total, 66 samples were collected in the municipalities of Toro, Dagua, Roldanillo, Bolívar, La Unión and El Cerrito. It was established that the most prevalent viruses are PLDV followed by SMV and CMV. The presence of PYMV was not detected in the samples analyzed. The presence of double and triple infections among potyvirus, cucumovirus and begomovirus were identified for the first time, finding greater severity of symptoms with a greater number of viruses identified per sample. This research provides key results for the design of control strategies for viral diseases in passion fruit.

Keywords: *Begomovirus*; *Cucumovirus*; Plant viruses; *Potyvirus*; Virus identification.

RESUMEN

El cultivo de maracuyá amarillo es afectado por múltiples problemas fitosanitarios. Entre los principales, están los virus de los géneros *Potyvirus* (soybean mosaic virus, SMV), *Cucumovirus* (cucumber mosaic virus, CMV), *Tymovirus* (passion fruit yellow mosaic virus, PFYMV) y *Begomovirus* (passionfruit leaf distortion virus, PLDV). Información acerca de la prevalencia e interacción entre estos virus es escasa. El objetivo del presente estudio fue verificar la prevalencia e identificar los tipos de infecciones virales mixtas de potyvirus, cucumovirus, tymovirus y begomovirus en cultivos de maracuyá en Valle del Cauca, Colombia. Muestras foliares de maracuyá con síntomas virales fueron recolectadas y se purificaron sus ácidos nucleicos. La identificación de los virus se realizó por PCR empleando cebadores universales por género viral, y cebadores específicos para los virus SMV, CMV, PFYMV y PLDV. Se analizó la incidencia de cada virus por municipio y se comparó la severidad de los síntomas con el diagnóstico realizado. En total se colectaron 66 muestras en los municipios de Toro, Dagua, Roldanillo, Bolívar, La Unión y El Cerrito. Se estableció que los virus con mayor prevalencia fueron PLDV, seguido por SMV y CMV. No se detectó la presencia de PFYMV en las muestras analizadas. Se identificó por primera vez la presencia de infecciones dobles y triples entre potyvirus, cucumovirus y begomovirus, encontrándose mayor severidad de síntomas a mayor número de virus identificado por muestra. La presente investigación provee resultados clave para el diseño de estrategias de control de enfermedades virales en maracuyá.

Palabras clave: *Begomovirus*, *Cucumovirus*, Identificación de virus, *Potyvirus*, Virus vegetales.

INTRODUCTION

Currently, passion fruit crops in Colombia are established from coastal areas up to 1500 m a.s.l., with about 10 000 ha and an approximate production of 165 000 tons per year⁻¹ (Agronet, 2022). The Meta, Antioquia, Huila and Valle del Cauca departments concentrate 63% of the cultivated area and the highest yields (MADR, 2021). Despite this potential, yellow passion fruit crops are being affected by different insect pests and pathogens that decrease yields and reduce fruit quality, making the use agrochemicals necessary (Ocampo *et al.* 2021).

Pathogens that reduce passion fruit quality and crop yields include plant-parasitic nematodes, fungi, bacteria, and viruses (Ortiz-Paz *et al.* 2012; Ocampo Pérez *et al.* 2022). Viruses can reduce the shelf life of passion fruit and affect plant growth, decreasing production by more than 80% (Vaca-Vaca *et al.* 2016; Asande *et al.* 2023; Kiptui *et al.* 2020; Ramos-González *et al.* 2020).

Currently, five virus genera have been reported affecting the yellow passion fruit crop in Colombia: *Potyvirus*, *Cucumovirus*, *Tymovirus*, *Begomovirus* and *Cilevirus* (Benschler *et al.* 1996; Chavez *et al.* 1999; Morales *et al.* 2001; 2002; Vaca-Vaca *et al.* 2017; Roy *et al.* 2023).

Soybean mosaic virus (SMV) belongs to the genus *Potyvirus*, family *Potyviridae* and species *Soybean mosaic virus*. It has a positive-sense, single-stranded RNA (+ssRNA) genome of 9,583 nt, a viral protein genome-linked (VPg) covalently linked to the 5' end and a poly-A tail at the 3' end (Zhang *et al.* 2009; Jaramillo *et al.* 2018). Several aphid species, including *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* were recognized as non-persistent transmitters of this virus, which also spreads through seeds (Domier *et al.* 2007; Jossey *et al.* 2013; Hajimorad *et al.* 2018). In *Passiflora*, SMV causes chlorosis, leaf mosaic and epinasty in early stages of infection, followed by leaf hardening, defoliation and even premature death of infected plants (Benschler *et al.* 1996).

Cucumber mosaic virus (CMV) belongs to the genus *Cucumovirus*, family *Bromoviridae* and species *Cucumber mosaic virus*. It contains a positive-sense, single-stranded RNA (+ssRNA) genome divided into three segments (RNAs 1, 2, and 3), and is transmitted by seeds and by more than 80 species of aphids (*Aphis gossypii* among the most effective) in a non-persistent manner (Palukaitis *et al.* 1992; Chandankar *et al.* 2013; Cardona *et al.* 2022a). The characteristic symptoms of this virus consist of a bright yellow mottling on the leaves, which is more intense on leaves close to the site of infection (Gioria *et al.* 2002). Likewise, roughness and chlorosis of leaves and bleaching of fruits have been associated with the initial infection of this virus in *Passiflora* (Lan *et al.* 2020).

Passion fruit leaf distortion virus (PLDV) belongs to the genus *Begomovirus*, family *Geminiviridae* and species *Passion fruit leaf distortion virus*. It contains a single-stranded circular DNA (ssDNA) genome consisting of two components: DNA-A of 2,600 nt and a DNA-B of 2,572 nt (Vaca-Vaca *et al.* 2017). It is transmitted through the biological vector whitefly (*Bemisia tabaci* complex)

and, in *Passiflora*, causes symptoms such as yellow mosaic and deformation of leaves and fruit (Vaca-Vaca *et al.* 2016; 2017).

Passion fruit yellow mosaic virus (PFYMV) belongs to the genus *Tymovirus*, family *Tymoviridae* and species *Tymovirus passiflorae*. It contains a positive-sense, single-stranded RNA (+ssRNA) genome of 6,088 nt and its natural transmission mechanism has not yet been identified. However, its experimental infection has been achieved through mechanical transmission and by the chrysomelid beetle *Diabrotica speciosa*, exclusively affecting plants of the genus *Passiflora*, causing symptoms such as yellow nets, bright yellow mosaic and leaf roughness (Crestani *et al.* 1986; Jaramillo *et al.* 2019).

Plants are commonly affected by several viruses simultaneously, and understanding the interactions between these causal agents is critical to comprehending viral pathogenesis, which in turn is essential to developing efficient management strategies (Syller, 2012). Plant viruses co-infecting the same host can interact synergistically, causing more severe symptoms than when a single infection occurs (Lamichhane & Venturi, 2015), or antagonistically, when a low virulence virus strain prevents or reduces subsequent infection by a homologous virus (Syller, 2012; Chávez-Calvillo *et al.* 2016). It has been observed that, in some cases, the outcome depends on the order in which infection occurs (Chávez-Calvillo *et al.* 2016; Riska & Hisashi, 2020).

A previous report on virus in yellow passion fruit crops in Colombia revealed the presence of potyvirus in samples from the central west of the country between the departments of Valle del Cauca and Risaralda, which was identified as SMV by serological tests (Benschler *et al.* 1996). In other study, Chavez *et al.* (1999), using serological tests, identified the presence of potyvirus (SMV strain) and tymovirus in yellow passion fruit leaf samples collected in nine departments of Colombia. Subsequently, these viruses were identified by molecular techniques as SMV and PFYMV (Morales *et al.* 2001; 2002). Vaca-Vaca *et al.* (2016) reported for the first time the incidence of begomovirus in yellow passion fruit crops in Valle del Cauca. This begomovirus was characterized at the molecular level, being different from other begomoviruses reported worldwide, and was named PLDV because of the symptoms it causes in passion fruit (Vaca-Vaca *et al.* 2017). Recently, Roy *et al.* (2023) identified SMV in a passion fruit leaf sample from the department of Meta and detected Passion fruit green spot virus (PFGSV), a *Cilevirus* transmitted by mites of the genus *Brevipalpus* in a leaf sample from the department of Casanare.

The objective of this paper was to analyze the prevalence and identify the types of mixed infections among viruses belonging to the genera *Potyvirus*, *Tymovirus*, *Cucumovirus* and *Begomovirus* in the main producing areas of yellow passion fruit in Valle del Cauca. The results obtained provide an updated perspective on the viral diversity limiting passion fruit production in Valle del Cauca.

MATERIALS AND METHODS

Collection of plant material. During 2017, a collection of yellow passion fruit leaves with viral symptoms was conducted in six municipalities of Valle del Cauca in Colombia. Among five and ten plants with viral symptoms were randomly collected in each crop. The sampling sites were geo-referenced, and the samples were transported in a styrofoam cooler with cooling gel bags at $\approx 10^{\circ}\text{C}$ to the Laboratorio de Sanidad y Microbiología Agrícola de la Universidad Nacional Sede Palmira for further processing and molecular analysis. Once in the laboratory, each sample composed of 3 leaves of normal size (≥ 10 cm in length) or 4 leaves of smaller size, was stored at room temperature (25°C) with silica gel, in plastic bags with hermetic seal, thus achieving dehydration and stabilization of the RNA for at least 6 months (Munguti *et al.* 2016; Ruiz-Vargas *et al.* 2024).

Purification of nucleic acids.

Extraction and Visualization of Genomic DNA. From each sample, 20 to 30 g of dry leaf tissue was taken and macerated with liquid nitrogen in a mortar until a fine powder was obtained. The powder obtained was transferred to a 1.5 ml microtube and genomic DNA extraction was performed using the cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) methodology reported by Doyle *et al.* (1990). Quantification and verification of the quality of the extracted DNA was performed by 0.8% (w/v) agarose gel electrophoresis, which was run in TAE 1X at 70 volts for 50 minutes. Ethidium bromide staining ($10\text{ ng}/\mu\text{l}$) was used, and the Thermo ScientificTM GeneRuler 1Kb DNA Ladder Molecular Weight Marker was used as a reference standard. Development was performed on BioRad Gel Doc XR+ imaging system, consisting of a transilluminator and Quantity One v.4.6.5 software.

RNA Extraction and cDNA Synthesis. Total RNA extraction was performed from each sample using TRIzol \rightarrow reagent (InvitrogenTM) following the protocol established by the manufacturer. The determination of RNA purity and concentration was performed on 0.8% agarose gels. From the total RNA extracted from each sample, complementary DNA (cDNA) was synthesized via reverse transcription (RT) using the RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit (Thermo ScientificTM) following the manufacturer instructions.

Virus diagnosis.

DNA Virus Diagnosis. Begomovirus and PLDV were detected from the purified total DNA by Polymerase Chain Reaction (PCR). Universal primers MP16 and MP82 were used, which amplify a fragment between 400-500 bp of the N-terminal region of the capsid protein (Cp) (Umaharan *et al.* 1998). In the samples that tested positive, specific detection of PLDV was performed using the species-specific primers PLDV-F23 and PLDV-R405 that amplify a 450 bp fragment of Cp (Vaca-Vaca *et al.* 2020). The amplified products were visualized on 0.8% agarose gels.

RNA Virus Diagnosis. From the cDNA synthesized from each sample collected, cucumovirus, CMV, potyvirus, SMV and PFYMV were detected by PCR using universal primers by viral genus and specific viruses. To detect viruses of the genus *Cucumovirus*, the universal primers CMV-F 5'- and CMV-R 5' that amplify a 586-bp fragment of the Cp gene were used (Herrera-Vásquez *et al.* 2009). To detect potyvirus, the universal primers Nib2F and Nib3R that amplify a 350 bp fragment of the Nib (nuclear inclusion protein b) gene were used (Zheng *et al.* 2010). Cucumovirus-positive samples were evaluated for CMV with the species-specific primers CMV cp-F and CMV cp-R that amplify a 229-bp fragment of the Cp gene, designed by Rivera-Toro *et al.* (2020) for the detection of CMV in chili peppers (*Capsicum* sp.). Potyvirus-positive samples were evaluated with SMV species-specific primers designed in this research work: SMV F269 (5'-TGG-GTG-TGG-TTA-TGA-ATG-G-3') and SMV R562: (5'-CTG-TTT-GGT-GTT-GTT-TTG-GAA-GT-3'), which amplify a 313 bp fragment of the Cp gene. Finally, to detect PFYMV, the following species-specific primers were designed and used: PFYMV-R536 (5'-AAC-CCA-AAC-GAG-AGA-GAC-3') and PFYMV-F294 (5'-AAA-CTC-CCA-TCA-ACA-CCA-A-3'), which amplify a 260 bp fragment of the Cp gene. The amplified products of each virus were visualized on 0.8% agarose gels.

Species-specific Primer Design. The nucleotide sequences of SMV (GenBank KY249373.1) and PFYMV (GenBank AF467107.1) reported by Jaramillo *et al.* (2018) and Morales *et al.* (2002), were used to design the species-specific primers for SMV and PFYMV respectively. The design was performed with the CLC Main Workbench 7.9 software. (Qiagen[®]) and its specificity was validated using the Primer Blast program (Ye *et al.* 2012).

Incidence Analysis. The incidence percentage (positive samples/total samples*100) of the different viruses (Agris, 2005) was calculated by locality and municipality. The distribution of single, double and triple infections in the different municipalities was determined. The correlation between the altitudinal gradient 924 - 1692 m a.s.l., and the presence of viruses was evaluated by Pearson correlation (cor.test function, Stats R package) (R Core Team, 2013). The correlation between this altitudinal gradient and the presence of single, double and triple infections was also estimated.

RESULTS AND DISCUSSION

Detection of begomovirus and PLDV in yellow passion fruit crops. A total of 66 passion fruit leaf samples at different phenological stages were collected. The discrimination of the samples by municipality is shown in Table 1. Of the total number of samples analyzed, 45.5% were positive for begomovirus. In general, begomoviruses were distributed in five of the six municipalities evaluated, and in four of them they presented an incidence higher than 50% (Table 1).

The localities with the highest incidence of begomovirus belong to the municipalities of El Cerrito and Bolívar. In contrast, the samples from the municipality of La Unión were the only ones found to be free, not only of begomovirus, but also of the other three RNA viruses evaluated in this research: cucumovirus, potyvirus and tymovirus (Table 1).

Of the begomovirus-positive samples, 50% were found to correspond to PLDV, a virus previously detected in yellow passion fruit crops in the municipalities of Palmira and La Unión, in the department of Valle del Cauca (Vaca-Vaca *et al.* 2016; 2017). Fifteen of the 30 samples in which begomovirus was detected gave negative results when evaluated by PCR for PLDV. This suggests that there is another virus or viruses of this genus infecting yellow passion fruit crops in the department.

Detection of potyvirus, SMV, cucumovirus, CMV and PFYMV in yellow passion fruit crops.

(a) Potyvirus and SMV. Of 66 samples analyzed, 21.2% were found to be infected with potyvirus. Table 1 shows the diagnosis by municipality. Of these samples, 85.7% were identified as SMV using specific primers. In addition, 2 of the 14 samples in which the presence of virus of the *Potyvirus* genus was detected gave negative results when evaluated by RT-PCR for SMV, which suggests the presence of another virus of this genus in passion fruit crops in Valle del Cauca. The highest incidence of potyvirus was observed in yellow passion fruit crops located in the municipality of Toro, followed by the municipalities of Dagua and Roldanillo. Finally, samples from crops located in the municipalities of El Cerrito and La Unión were free of infestation by pathogens of this viral genus (Table 1).

Table 1. Incidence of viral infections in yellow passion fruit crops in Valle del Cauca, Colombia.

Municipality	Collected samples	PCR results	<i>Begomovirus</i>	PLDV	<i>Potyvirus</i>	SMV	<i>Cucumovirus</i>	CMV	PFYMV
Bolívar	17	Positive	16	8	1	1	0	0	0
		Incidence %	94.1	47.1	5.9	5.9	0.0	0.0	0.0
Dagua	18	Positive	1	1	4	3	1	0	0
		Incidence %	5.6	5.6	22.2	16.7	5.6	ND	0.0
El Cerrito	2	Positive	2	1	0	0	1	1	0
		Incidence %	100.0	50.0	0.0	0.0	50.0	50.0	0.0
La Unión	11	Positive	0	0	0	0	0	0	0
		Incidence %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Roldanillo	10	Positive	6	3	2	2	3	3	0
		Incidence %	60.0	30.0	20.0	20.0	30.0	30.0	0.0
Toro	8	Positive	5	2	7	6	8	7	0
		Incidence %	62.5	25.0	87.5	75.0	100.0	87.5	0.0
Total	66	Positive	30	15	14	12	13	11	0
		Incidence %	45.5	22.7	21.2	18.2	19.7	16.7	0.0

Incidence greater than 20% in each municipality are indicated in bold. ND, not determined. PLDV: passionfruit leaf distortion virus, SMV: soybean mosaic virus, CMV: cucumber mosaic virus, PFYMV: passion fruit yellow mosaic virus.

In general, potyviruses were identified in four of the six municipalities included in this study, with an incidence higher than 20% in three and an incidence of 87.5% in one. In a study reported by Benschler *et al.* (1996) it was indicated that SMV was detected in three species of the *Passifloraceae* family in the departments of Valle del Cauca and Risaralda: passion fruit (*P. edulis f. flavicarpa* Degener), granadilla (*P. ligularis* Juss.) and badea (*P. quadrangularis* L.). Subsequently, in other reports and in this study, the prevalence of this pathogen has been recorded in yellow passion fruit crops in the department of Valle del Cauca for at least 26 years (Benschler *et al.* 1996; Morales *et al.* 2001). Likewise, SMV was detected in passion fruit plants in the department of Meta (Roy *et al.* 2023). The persistence of this virus in yellow passion fruit and other passion fruit crops in this department and, in general, in the country, is explained by the ability of this virus to be transmitted to the following generations by seed (Domier *et al.* 2007; Cardona *et al.* 2022a;b) and by the use of seeds of unknown phytosanitary quality

by farmers, due to a shortage of certified nurseries for obtaining virus-free seeds (Rodríguez *et al.* 2016).

(b) Cucumovirus and CMV. PCR analysis detected the presence of cucumovirus in 19.7% of the total samples analyzed and the distribution in the different municipalities are shown in Table 1. Of these samples, 84.6% amplified the CMV capsid protein gene fragment. Additionally, 2 of the 13 samples in which the presence of virus of the genus *Cucumovirus* was detected gave negative results when evaluated by PCR for CMV. This suggests that there is another virus or viruses of this genus infecting passion fruit crops in the department.

The highest incidence of cucumovirus was observed in yellow passion fruit crops located in the municipalities of Toro and Roldanillo. In contrast, samples from the localities tested in the municipalities of Bolívar and La Unión were free of this viral

pathogen (Table 1). Possibly, the crops sampled in these localities were initiated with cucumovirus-free plant material, and adequate management of aphids and the natural vector of this virus was done (Chandankar *et al.* 2013; Cardona *et al.* 2022a).

In general, cucumoviruses were identified in four of the six municipalities included in this study. Three of these had an incidence higher than 30% and one had an incidence of 100%. In previous studies, CMV was found in gulupa (*P. edulis f. edulis* Sims) crops in Antioquia (Cardona *et al.* 2022a;b).

(c) Tymovirus PFYMV. Of the 66 samples analyzed, none amplified by PCR the expected 262 bp fragment for the detection of tymovirus PFYMV (Table 1). Crestani *et al.* (1986) reported by serological assays (ELISA) the presence of a virus of the *Tymovirus* genus, PFYMV, which was detected in Brazil affecting yellow passion fruit crops. In Colombia, Morales *et al.* (2001) reported the detection and partial genome sequence of a virus like the PFYMV (pathogenically and antigenically) in yellow passion fruit crops located in the departments of Antioquia, Caldas, Santander and Valle del Cauca. Recently, Jaramillo *et al.* (2019) published the complete genome of the PFYMV virus affecting passion fruit in Colombia, warning that the partial sequence of PFYMV (AF467107.1) reported in the GenBank database by Morales *et al.* (2001), showed some errors at the 3' end, specifically in the ORF coding for the capsid protein. This could explain the negative results obtained in this study, since the primers designed in this research work were created on the region having errors, i.e. the PFYMV capsid protein gene reported by Morales *et al.* (2001).

It is suggested to design new primers on the new sequence reported by Jaramillo *et al.* (2019) or use those already elaborated by these authors to conduct future PFYMV detection studies in passion fruit crops. In the department of Antioquia, Cardona *et al.* (2022 a;b) documented the presence of this virus in both symptomatic and asymptomatic samples of gulupa, with an incidence ranging from 30 to 90%. This finding was achieved by amplification of the aforementioned primers Tymo_F_CP and qTymo_R_CP designed by Jaramillo *et al.* (2019).

Mixed infections of three viral genera in yellow passion fruit crops.

Plant diseases are commonly the result of interactions between complexes of microorganisms, and hardly of isolated pathogens (Lamichhane & Venturi, 2015). In this investigation, null infections (no infections detected), single (a single virus genus identified), and mixed infections by two (double infections) and three (triple infections) virus genera were detected in the same sample.

Table 2 shows the incidence of mixed infections in 66 samples collected in passion fruit crops, where begomoviruses (PLDV) have the highest incidence in single infections (28.8%), followed by cucumoviruses and potyviruses. At the level of double infections, an incidence of 6.1% can be observed for the combinations *Potyvirus* + *Cucumovirus* and *Potyvirus* + *Begomovirus*, while the

combination *Cucumovirus* + *Begomovirus* had an incidence of 4.5%. Finally, at the level of triple infections, the simultaneous presence of the three viral genera, *Potyvirus*, *Cucumovirus* and *Begomovirus*, was determined in four of the samples evaluated, confirming the joint presence of SMV, CMV and PLDV. This highlights the high variability of interactions that occur naturally in agroecosystems, useful information for the management of viral diseases in plants (Syller, 2012).

Multiple infections were observed in five of the six municipalities evaluated (Table 2). In municipalities such as Bolivar, Dagua, El Cerrito, and Roldanillo, both single and double infections were observed. In the municipality of Toro, only double and triple infections were found, and it was the only municipality where triple infections were detected (Table 2). Such unpredictable pathogen-induced biological and epidemiological effects are the result of constant battles between the genes of the different viruses and the host plant (Liang *et al.* 2016). Likewise, the municipality of La Unión stood out because none of the viral genera included in this study were detected in the samples from the two localities of this municipality included in this study (Table 2). Therefore, it is suggested that the visualized symptoms ranging from leaf lamina chlorosis, interveinal chlorosis, epinasty, yellow mosaic, to leaf roughness and deformation, in the crops sampled in these two localities, may be due to nutritional deficiencies or other stress factors in the plant (Datnoff *et al.* 2007; Hull, 2009).

The main symptoms observed in passion fruit samples positive for virus infections were leaf roughness and deformation (LRD), epinasty (EPI), chlorosis (C) and yellow mosaic (YM) (Figure 1). The samples in which a greater number of symptoms were observed corresponded to simple viral infections by begomovirus (Figure 2c).

Additionally, greater symptom severity was observed in samples in which mixed infections, both double and triple, were detected (Figure 2), suggesting the existence of synergistic interactions (Lamichhane & Venturi, 2015). These results are consistent with the study conducted by Riska & Hisashi (2020) in which mixed artificial inoculation of East Asian passiflora virus and East Asian passiflora distortion virus belonging to the genus *Potyvirus* was performed on *Passiflora foetida* plants, and it was observed that the severity of symptoms after double inoculation was greater than that observed after single infection with either of the two potyviruses. On the other hand, Syller (2012) reported CMV in synergistic co-infections with a potyvirus, potato virus Y (PVY) and suggested that the outcome of interactions between potyviruses and other viruses depends on the co-evolution between these and the host plant.

On the other hand, no significant correlation ($p > 0.05$) was found in this study between the viral infections (genera and species) detected and the altitudinal range where the infected samples came from (data not shown). There was also no significant correlation between the altitudinal range of the samples and the type of infection detected in the samples: single, double and triple infections (data not shown).

Table 2. Types of mixed viral infections identified in yellow passion fruit crops in Valle del Cauca, Colombia.

Type of mixed infection			Simple			Double			Triple	Nule
Municipality	Collected samples	PCR results	C (CMV)	P (SMV)	B (PLDV)	P (SMV)+ C (CMV)	C (CMV)+ B (PLDV)	P (SMV)+ B (PLDV)	P (SMV)+ C (CMV)+ B (PLDV)	No virus
Bolívar	17	Positive	0	0	15 (8)	0	0	1 (1+0)	0	1
		Incidence %	0	0	88.2	0	0	5.9	0	5.9
Dagua	18	Positive	0	2 (1)	0	1 (1+0)	0	1 (1+1)	0	14
		Incidence %	0	11.1	0	5.6	0	5.6	0	0
El Cerrito	2	Positive	0	0	1 (1)	0	1 (1+0)	0	0	0
		Incidence %	0	0	50	0	50	0	0	0
La Unión	11	Positive	0	0	0	0	0	0	0	11
		Incidence %	0	0	0	0	0	0	0	100
Roldanillo	10	Positive	2 (2)	0	3 (1)	0	1 (1+1)	2 (2+1)	0	2
		Incidence %	20	0	30	0	10	20	0	20
Toro	8	Positive	0	0	0	3 (2+2)	1 (1+0)	0	4 (4+4+2)	0
		Incidence %	0	0	0	37.5	12.5	0	50	0
Total	66	Positive	2	2	19	4	3	4	4	28
		Incidence %	3.3	3.3	28.8	6.1	4.5	6.1	6.1	42.4

Incidence greater than 20% is indicated in bold. Nomenclature for viral genera: Cucumovirus (C), Potyvirus (P) and Begomovirus (B). The number of samples that tested positive for the specific viruses is indicated in parentheses: C (CMV), P (SMV) y B (PLDV).

Relationship between the observed symptomatology and the type of virus infection detected in yellow passion fruit crops.

The 93.3% of the samples showed typical symptoms of virus infection (Figure 1) such as bulging (B), chlorosis (C), interveinal chlorosis (iC), defoliation (D), deformations (DEF), dwarfing (Dw), epinasty (EPI), yellow mosaic (YM), leaf roughness and deformation (LRD), and fruit roughness and deformation (FRD). A total of 6.7% of the samples showed no symptoms.

In the samples with single *Begomovirus* infections (Figure 2), symptoms such as: epinasty, leaf roughness and deformation were observed in the 19 positive samples, yellow mosaic in 14 samples, chlorosis in 11 samples, interveinal chlorosis in three samples, and defoliation in two samples. Of the two samples in which single *Potyvirus* infection was detected, epinasty was observed in two, and chlorosis, yellow mosaic, roughness and fruit deformation were also observed in one of them. In the two samples with simple infection by *Cucumovirus*, yellow mosaic, roughness and deformation of leaves were observed, and in one of them chlorosis was also observed. In the four samples with double *Potyvirus* + *Cucumovirus* infection, chlorosis, yellow mosaic, roughness and leaf deformation were observed, and defoliation was also observed in one of them. In the three samples in which double *Cucumovirus* + *Begomovirus* infection was identified, roughness and deformation of leaves and yellow mosaic were observed, in one there was also chlorosis and in another there were also epinasty and bulging. Of the four samples in which double *Potyvirus* + *Begomovirus* infection was detected, one was asymptomatic, three showed epinasty, two showed chlorosis, two showed leaf roughness and deformation, one showed interveinal chlorosis, and one showed defoliation. In the four samples in which triple *Potyvirus* + *Cucumovirus* + *Begomovirus*

infection was detected, roughness and leaf deformation were observed. Chlorosis was also observed in three of them, dwarfing was observed in one sample, and yellow mosaic and deformations were also observed in another. Fruit deformation was observed in one sample.

Other authors have also associated different symptoms with the viral infections detected, such as Benschel *et al.* (1996) who observed yellow mosaic, epinasty and defoliation in passion fruit samples inoculated with SMV *potyvirus*. Likewise, Chavez *et al.* (1999), when inoculating potyvirus and tymovirus in different plants, observed that: (a) in *Passifloras*, interveinal chlorosis, yellow mosaic, chlorosis, deformations, (b) in beans (*Phaseolus vulgaris*), necrosis of veins, roughness and deformation of leaves, and yellow mosaic, and (c) in *Physalis floridiana* interveinal chlorosis. Morales *et al.* (2001) reported the identification of *Potyvirus* SMV causing deformations, yellow mosaic and ringed spots, and tymovirus PFYMV causing yellow mosaic with a tendency to form bands on the leaves. Vaca-Vaca *et al.* (2017) found yellow mosaic and leaf and fruit roughness and deformation in samples diagnosed with *Begomovirus* PLDV.

In conclusion, the prevalence of viruses affecting yellow passion fruit crops in the main producing municipalities of the department of Valle del Cauca was determined. The presence of single, double and triple infections was established among viruses of the *Potyvirus*, *Cucumovirus* and *Begomovirus* genera, associated with symptoms such as roughness and deformation of leaves, yellow mosaic, chlorosis, epinasty, roughness and deformation of fruits. In symptomatic samples with double and triple infections, a greater severity of symptoms was apparently observed, suggesting synergistic interactions between the viruses involved.

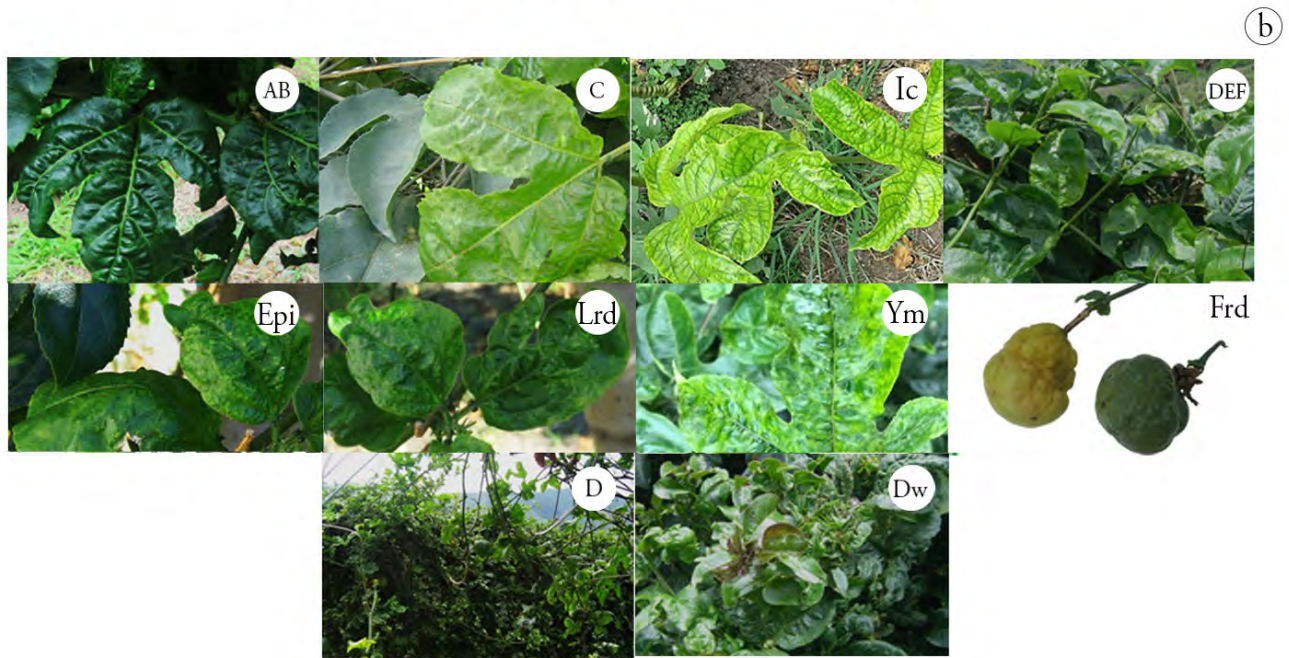
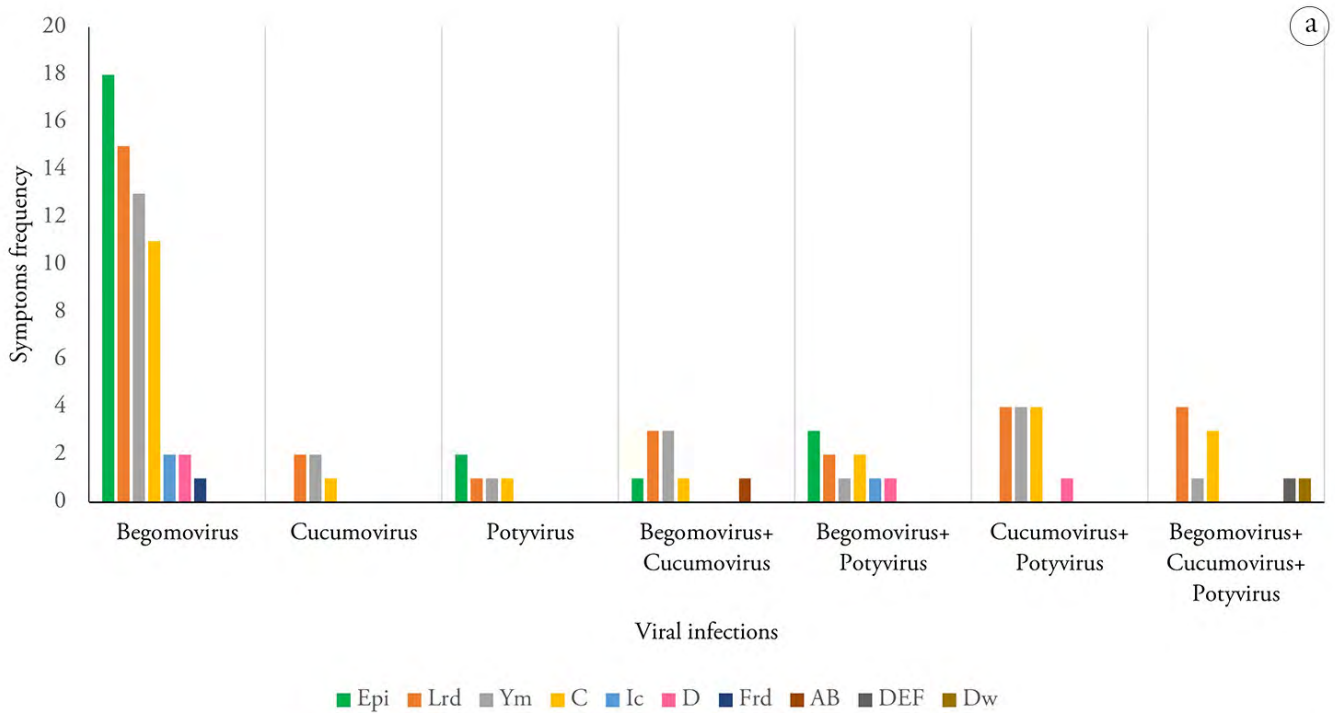


Figure 1. a) Symptoms frequency associated with single, double and triple viral infections b) photography of symptoms: AB (Bulging), C (Chlorosis), Ic (Interveinal chlorosis), D (Defoliation), DEF (Deformities), Dw (Dwarfism), Epi (Epinasty), Ym (Yellow mosaic), Lrd (Leaf Roughness and deformation), Frd (Fruit Roughness and deformation).

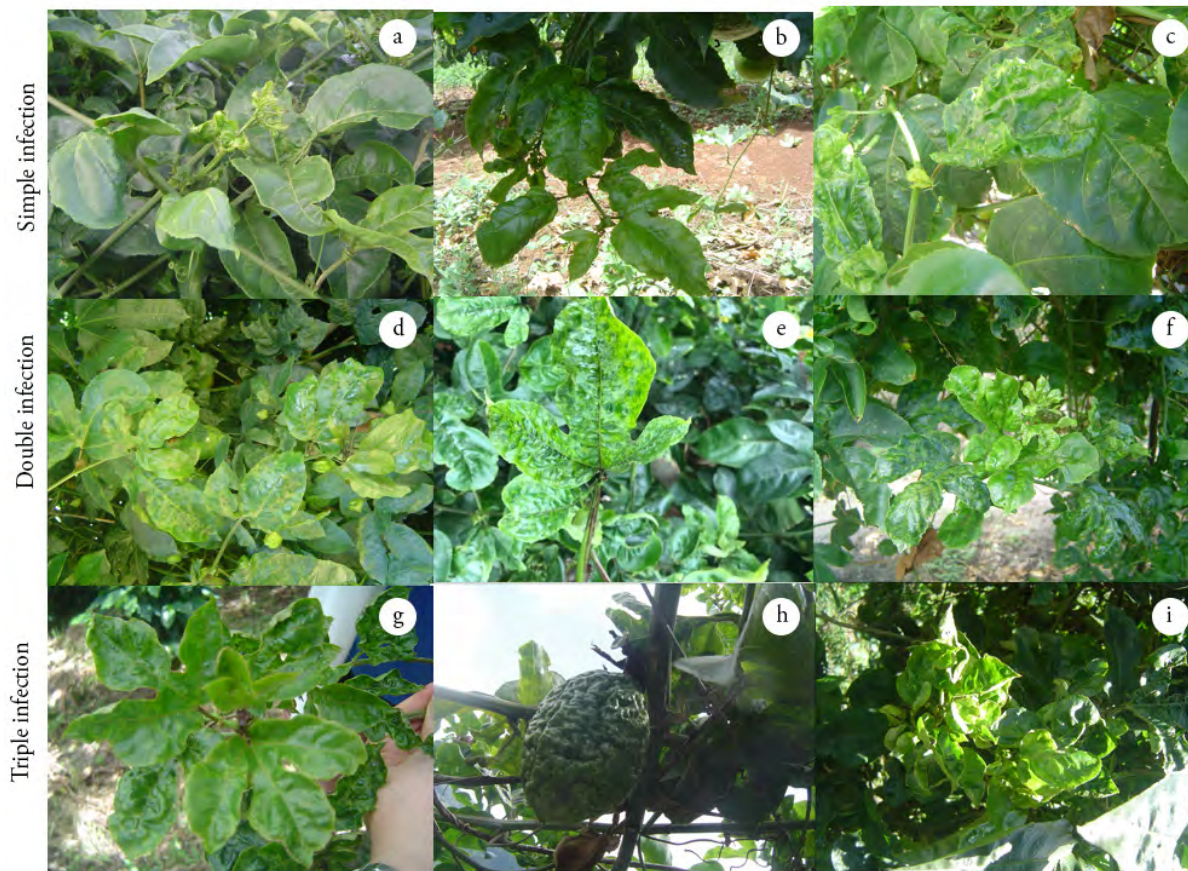


Figure 2. Symptomatology observed in yellow passion fruit plants with different viral infections. Simple infections: a) *Cucumovirus* (CMV); b) *Potyvirus* (SMV); c) *Begomovirus* (PLDV). Double infections: d) [*Potyvirus* (SMV) + *Cucumovirus* (CMV)]; e) [*Cucumovirus* (CMV) + *Begomovirus*]; f) [*Potyvirus* (SMV) + *Begomovirus*]. Triple infections: g and h) [*Potyvirus* (SMV) + *Cucumovirus* (CMV) + *Begomovirus*] and i) [*Potyvirus* (SMV) + *Cucumovirus* (CMV) + *Begomovirus* (PLDV)].

The results obtained in this study indicate that begomovirus PLDV prevails over SMV and CMV as a viral agent that is limiting passion fruit production in Valle del Cauca. This information is quite useful for the producer, since it allows him not only to orient his cultural activities towards the control of these phytopathogens but also to undertake future breeding programs aimed at obtaining materials tolerant to viruses that really affect and limit the production of this *Passiflora* in Valle del Cauca.

Acknowledgments. The authors would like to thank all the passion fruit farmers for allowing access and taking samples for the different analyses. Additionally, the authors thank to Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas for the financial support for the translation of this article through the project “Propuesta fortalecimiento gestión editorial de revistas científicas de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A 2023-2024”. **Conflicts of interest.** The manuscript was prepared and revised with the participation of all authors, who declare that there is no conflict of interest that would jeopardize the validity of the results presented. **Funding.** This study was financed with resources from the Research Department of the Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (Project code Hermes, 37731). **Authors’ contribution.**

Francy Jhoana Ceballos-Burgos: Data screening, formal analysis, research, visualization, writing the original draft, proofreading and editing. Jorge Iván Pérez-López: research, proofreading and editing. Andres Felipe Nieto-Cárdenas: research, proofreading and editing. Diana Marcela Rivera-Toro: research, proofreading and editing. John Albeiro Ocampo: research, proofreading and editing. Karina López-López: Conceptualization, Data screening, Formal analysis, Methodology, writing the original draft, proofreading and editing. Juan Carlos Vaca-Vaca: Conceptualization, Methodology, Acquisition of funding, Project management, Supervision, writing original draft, proofreading and editing.

REFERENCES

- AGRIOS, G.N. 2005. Plant Pathology. Fifth edition. Elsevier Academic Press. USA. 167p.
- AGRONET. 2022. Red de información y comunicación del sector agropecuario de Colombia, Agronet MinAgricultura. Available from Internet in: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>







- ASANDE, L.K.; OMBORI, O.; ODUOR, R.O.; NCHORE, S.B.; NYABOGA, E.N. 2023. Occurrence of passion fruit woodiness disease in the coastal lowlands of Kenya and screening of passion fruit genotypes for resistance to passion fruit woodiness disease. *BMC Plant BiolOgy*. 23:544. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04546-8>
- BENSCHER, D.; PAPPU, S. S.; NIBLETT, C. L.; VARON DE AGUDELO, F.; MORALES, FRANCISCO JOSÉ; HODSON DE JARAMILLO, E.; ÁLVAREZ, E.; ACOSTA, O. 1996. A strain of soybean mosaic virus infecting *Passiflora* spp. in Colombia. *Plant Disease*. 80(3):258-262. <https://doi.org/10.1094/pd-80-0258>
- CARDONA, D.; GALLO GARCÍA, Y.; HIGUITA, M.; HOYOS SÁNCHEZ, R.; GUTIÉRREZ SÁNCHEZ, P.A.; MARÍN MONTOYA, M. 2022a. Detección molecular de virus en cultivos, plántulas y semillas de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) en el Oriente de Antioquia. *BioAgro*. 34(2):125-138. <http://www.doi.org/10.51372/bioagro342.3>
- CARDONA, D.; HIGUITA, M.; POSADA, J.; GALLO, Y.; MARÍN, M.; GUTIÉRREZ, P. 2022b. Viruses infecting purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*) in southwestern Antioquia, Colombia. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 55(12):1394-1409. <https://doi.org/10.1080/03235408.2022.2098588>
- CHANDANKAR, V.D.; MONDHE, M.K.; BHOYAR, P.R.; NINAWA, B.N.; JADESHA, G. 2013. Biophysical characterization, host range and transmission studies of Cucumber mosaic virus. *The Bioscan*. 8(2):437-441.
- CHAVEZ, B.; VARON DE AGUDELO, F.; MORALES, FRANCISCO JOSÉ; CASTAÑO, M.; ARROYAVE, JOSÉ A.; GÁLVEZ E.; GUILLERMO E. 1999. Reconocimiento, transmisión y hospederas de patógenos virales del maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) en Colombia. *Fitopatología Colombiana*. 3(1): 24-31.
- CHÁVEZ-CALVILLO, G.; CONTRERAS-PAREDES, C.A.; MORA-MACIAS, J.; NOA-CARRAZANA, J.C.; SERRANO-RUBIO, A.A.; DINKOVA, T.D.; CARRILLO-TRIPP, M.; SILVA-ROSALES, L. 2016. Antagonismo or synergism between papaya ringspot virus and papaya mosaic virus in *Carica papaya* is determined by their order of infection. *Virology*. 489:179-191. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2015.11.026>
- CRESTANI, O.A.; KITAJIMA, E.W.; LIN, M.T.; MARINHO, V.L.A. 1986. Passion fruit yellow Mosaic virus, a new tymovirus found in Brazil. *Phytopathology*. 76(9):951-955.
- DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. 2007. Mineral nutrition and plant disease. *American Physiological Society*. St. Paul, Minnesota. USA. 278p.
- DOMIER, L.L.; STEINLAGE, T.A.; HOBBS, H.A.; WANG, Y.; HERRERA-RODRIGUEZ, G., HAUDENSHIELD, J.S., MCCOPPIN, N.K.; HARTMAN, G.L. 2007. Similarities in Seed and Aphid Transmission Among *Soybean mosaic virus* Isolates. *Plant Disease*. 91(5):546-550. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-5-0546>
- DOYLE, J.J.; DOYLE, J.L.; BAILEY HORTORIUM, L.H. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*. 12(1):13-15.
- GIORIA, R.; ESPINHA, L.M.; REZENDE, J.A.M.; GASPAR, J.O.; KITAJIMA, E.W. 2002. Limited movement of *Cucumber mosaic virus* (CMV) in yellow passion flower in Brazil. *Plant Pathology*. 51(2):127-133. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.00678.x>
- HAJIMORAD, M.R.; DOMIER, L.L.; TOLIN, S.A.; WHITHAM, S.A.; SAGHAI MAROOF, A. 2018. Soybean mosaic virus: a successful potyvirus with a wide distribution but restricted natural host range. *Molecular Plant Pathology*. 19(7):1563-1579. <https://doi.org/10.1111/mp.12644>
- HERRERA-VÁSQUEZ, J.A.; ALFARO-FERNÁNDEZ, A.; CÓRDOBA-SELLÉS, M.C.; CEBRIÁN, M.C.; FONT, M.I.; JORDÁ, C. 2009. First Report of *Tomato torrado virus* Infecting Tomato in Single and Mixed Infections with Cucumber mosaic virus in Panama. *Plant disease (USA)*. 93(2):198. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-2-0198A>
- HULL, R. 2009. *Comparative Plant Virology*. Elsevier Academic Press. San Diego. 400p.
- JARAMILLO MESA, H.; MARÍN MONTOYA, M.; GUTIÉRREZ SÁNCHEZ, P.A. 2018. Molecular characterization of Soybean mosaic virus (SMV) infecting Purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*) in Antioquia, Colombia. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 51(11-12):617-636. <https://doi.org/10.1080/03235408.2018.1505411>
- JARAMILLO MESA, H.; MARÍN MONTOYA, M.; GUTIÉRREZ SÁNCHEZ, P.A. 2019. Complete genome sequence of a Passion fruit yellow mosaic virus (PFYMV) isolate infecting purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín (Colombia)*. 72(1):8643-8654. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n1.69438>
- JOSSEY, S.; HOBBS, H.A.; DOMIER, L.L. 2013. Role of soybean mosaic virus-encoded proteins in seed and aphid transmission in soybean. *Phytopathology*. 103(9):941-8. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-12-0248-R>
- KIPTUI, L.J.; TOROITICH, F.J.; KILALO, D.C.; OBONYO, M. 2020. Interaction between Cowpea Aphid-Borne Mosaic Virus Isolates and Its Effect on *Passion Fruit* Woodiness Disease on *Passiflora edulis* Sims and *Passiflora ligularis* Juss. *Advances in Agriculture*. 2020 2020:8876498. <https://doi.org/10.1155/2020/8876498>

- LAMICHHANE, J.R.; VENTURI, V. 2015. Synergisms between microbial pathogens in plant disease complexes: a growing trend. *Frontiers in Plant Science* (Suiza). 6:385. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00385>
- LAN, H.; BAOCHUN, L.; PENG, Z.; XU, D.; WANTING, W.; YANJIE, Y.; ZUJIAN, W.U. 2020. Cucumber mosaic virus infection modulated the phytochemical contents of *Passiflora edulis*. *Microbial Pathogenesis*. 138:103828. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103828>
- LIANG, Z.; DICKISON, V.; SINGH, M.; XIONG, X.; NIE, X. 2016. Studies of tomato plants in response to infection with PVX and difference PVY isolates reveal a remarkable PVX-PVY^{NTN} synergism and diverse expression profiles of genes involved in different pathways. *European Journal of Plant Pathology*. 144(1):55-71. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0750-4>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. 2021. Cadena de Pasifloras. Indicadores e instrumentos. Available from Internet in: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2020-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- MORALES, F.J.; LOZANO POTES, I.; CASTAÑO, M.; ARROYAVE, J.A.; VELASCO, A.C.; VARON DE AGUDELO, F. 2002. Partial characterization of a tymovirus infecting passion fruit in Colombia, South America. *Journal of Phytopathology (USA)*. 150(4-5): 292-296.
- MORALES, F.J.; LOZANO POTES, I.; MUÑOZ, C.; CASTAÑO ZAPATA, M.; ARROYAVE, J.A.; VARÓN DE AGUDELO, F.; CHAVEZ, B.; CASTILLO, G.P. 2001. Caracterización molecular de los virus que afectan al maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) y otras passifloras en Colombia. *Fitopatología Colombiana*. 25(2):99-102.
- MUNGUTI, F.M.; KILALO, D.C.; MACHARIA, M.; MAGIRI, E.N.; KINYUA, J.K.; HOLTON, T.A. 2016. Evaluation of *Passiflora edulis* leaf sample storage methods on RNA quality and suitability for use in RT-PCR assays. *Annual Research & Review in Biology*. 10(1):1-8. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2016/24497>
- OCAMPO PÉREZ, J.; MORILLO CORONADO, Y.; ESPINAL AGUILAR, F.J.; MORENO CABRERA, I. 2022. Tecnología para el cultivo del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia Palmira. Palmira, Colombia. 100p.
- OCAMPO, J.; MARÍN, V.; URREA, R. 2021. Agromorphological characterization of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) reveals elite genotypes for a breeding program in Colombia. *Agronomía Colombiana*. 39(2):156-176. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n2.91622>
- ORTIZ-PAZ, R.A.; GUZMÁN-PIEDRAHITA, O.A.; OCAMPO, J.A. Identification of plant parasitic nematodes in the germplasm bank of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) in Colombia. 2012. *Acta agronómica (Colombia)*. 61(4):267-276.
- PALUKAITIS, P.; ROOSSINCK, M.J.; DIETZGEN, R.G.; FRANCKI, R.I.B. 1992. Cucumber Mosaic Virus. *Advances in Virus Research*. 41:281-348. [https://doi.org/10.1016/S0065-3527\(08\)60039-1](https://doi.org/10.1016/S0065-3527(08)60039-1)
- R CORE TEAM. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Available from Internet in: <http://www.r-project.org/>
- RAMOS-GONZÁLEZ, P.L.; SANTOS, G.F.; CHABI-JESUS, C.; HARAKAVA, R.; KITAJIMA, E.W.; FREITAS-ASTÚA, J. 2020. Passion Fruit Green Spot Virus Genome Harbors a New Orphan ORF and Highlights the Flexibility of the 5'-End of the RNA2 Segment Across Cileviruses. *Frontiers in Microbiology*. 11:206. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00206>
- RISKA, M.N.; HISASHI, I. 2020. Effects of Coinfection with East Asian *Passiflora* Virus and East Asian *Passiflora* Distortion Virus on *Passiflora Foetida*. *Journal of General Plant Pathology (Alemania)*. 86(3):211-18. <https://doi.org/10.1007/s10327-020-00913-7>
- RIVERA-TORO, D.M.; VACA-VACA, J.C.; LÓPEZ-LÓPEZ, K. 2020. Detection and molecular characterization of the cucumber mosaic virus in chili pepper (*Capsicum* spp. L.) crops. *Agronomía Colombiana*. 38(2):279-286. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n2.82975>
- RODRÍGUEZ, M.H.; NIÑO, E.N.; CUTLER, J.; LANGER, J.; CASIERRA-POSADA, F.; MIRANDA, D.; BANDTE, M.; BÜTTNER, C. 2016. Certificación de material vegetal sano en Colombia: un análisis crítico de oportunidades y retos para controlar enfermedades ocasionadas por virus. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 10(1):164-175. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4921>
- ROY, A.; GUILLERMO, L.M.; NUNZIATA, S.; PADMANABHAN, C.; RIVERA, Y.; BRLANSKY, R. H.; HARTUNG, J. 2023. First report of Passion fruit green spot virus in yellow Passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) in Casanare, Colombia. *Plant disease*. 107(7):2270 <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-22-2267-PDN>
- RUIZ-VARGAS, N.; RAMANAUSKAS, K.; TYSZKA, A.S.; BRETZ, E.C.; YEO, M.T.S.; MASON-GAMER, R.J.; WALKER, J.F. 2024. Transcriptome data from silica-preserved leaf tissue reveal gene flow patterns in a Caribbean bromeliad. *Annals of Botany*. 133(3): 459-472. <https://doi.org/10.1093/aob/mcae002>

- SYLLER, J. 2012. Facilitative and antagonistic interactions between plant viruses in mixed infections. *Molecular Plant Pathology*. 13(2):204-216. <https://doi.org/10.1111/J.1364-3703.2011.00734.X>
- UMAHARAN, P.; PADIDAM, M.; PHELPS, R. H.; BEACHY, R. N.; FAUQUET, C. M. 1998. Distribution and diversity of geminiviruses in Trinidad and Tobago. *Phytopathology*. 88(12):1262-1268. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.12.1262>
- VACA-VACA, J.C.; CARRASCO-LOZANO, E.C.; LÓPEZ-LÓPEZ, K. 2017. Molecular Identification of a new begomovirus infecting yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) in Colombia. *Archives of Virology (Austria)*. 162(2):573-576. <https://doi.org/10.1007/s00705-016-3098-y>
- VACA-VACA, J.C.; CARRASCO-LOZANO, E.C.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, M.; BETANCUR-PÉREZ, J.F.; LÓPEZ-LÓPEZ, K. 2016. Primer reporte de un begomovirus presente en maracuyá amarillo [*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* (Degener)] en Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 18(2):56-65. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biotec.v18n2.52904>
- VACA-VACA, J.C.; JARA-TEJADA, F.; LÓPEZ-LÓPEZ, K. 2020. Partial molecular characterization of begomoviruses isolated from weeds collected in tomato crops in the southeast of Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 14(1):115-124. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10434>
- YE, J.; COULOURIS, G.; ZARETSKAYA, I.; CUTCUTACHE, I.; ROZEN, S.; MADDEN, T.L. 2012. Primer-BLAST: a tool to design target-specific primers for polymerase chain reaction. *BMC bioinformatics*. 13(134):1-11. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-134>
- ZHANG, C.; HAJIMORAD, M.R.; EGGENBERGER, A.L.; TSANG, S.; WHITHAM, S.A.; HILL, J.H. 2009. Cytoplasmic inclusion cistron of Soybean mosaic virus serves as a virulence determinant on Rsv3-genotype soybean and a symptom determinant. *Virology*. 391(2):240-248. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.06.020>
- ZHENG, L.; RODONI, B.C.; GIBBS, M.J.; GIBBS, A.J. 2010. A novel pair of universal primers for the detection of potyviruses. *Plant Pathology*. 59(2):211-220. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02201.x>

Herbicidas pós-emergentes para o controle do capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* L.) nos estádios de pré-perfilhamento e em perfilhamento

Post-emergent herbicides to control goose grass (*Eleusine indica* L.) in pre-tillering and tillering stages

Jorge Luis Tejada^{1,2} ; Arthur Arrobas Martins Barroso³ ; Luis Felipe Solis-Rosas-Díaz⁴ ; Leonel Alvarado-Huamán^{1*} ; Ebson Silva² ; Pedro Luís da Costa Aguiar Alves² 

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de Fitotecnia, Facultad de Agronomía. Lima, Perú; e-mail: jorgetejada@lamolina.edu.pe; lealvarado@lamolina.edu.pe

²Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP. Jaboticabal, São Paulo, Brasil; e-mail: jorge.tejada@unesp.br; ebson.silva@etec.sp.gov.br; pl.alves@unesp.br

³Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil; e-mail: arrobas@ufpr.br

⁴Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Ica, Perú; e-mail: luis.solisrosas@unica.edu.pe

*autor correspondente: lealvarado@lamolina.edu.pe

Como citar: Tejada, J.L.; Barroso, A.A.M.; Solis-Rosas-Díaz, L.F.; Alvarado-Huamán, L.; Silva, E.; Alves, P.L.C.A. 2024. Herbicidas pós emergentes para o controle do capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* L.) nos estádios de pré-perfilhamento e em perfilhamento. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2361. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2361>

Artigo em acesso aberto publicado pela Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, licença Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicação oficial da Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Instituição de Ensino Superior Credenciada de Alta Qualidade pelo Ministerio de Educación Nacional de Colombia.

Recebido: 3 de março de 2023

Aceito: 7 de fevereiro de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMO

Eleusine indica é uma planta daninha de difícil controle com herbicidas pós-emergentes devido ao curto intervalo entre a emergência e o perfilhamento, em que o controle é mais limitado. Ademais, o surgimento de biótipos resistentes motiva realizar trabalhos desta natureza para encontrar mais opções de controle químico. O objetivo desta investigação foi avaliar a eficiência de herbicidas pós-emergentes no controle do capim-pé-de-galinha em dois estádios fenológicos. O trabalho foi realizado em vasos a céu aberto num delineamento inteiramente casualizado, com onze herbicidas aplicados em dois experimentos: um experimento na espécie com quatro folhas (pré-perfilhamento) e outro na planta com oito folhas (em perfilhamento). Foram atribuídas notas visuais de controle aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação, coletando a parte aérea da planta na última avaliação para obter a massa seca. Com esses dados foi realizada a análise de variância e a comparação de médias com o teste Tukey a um nível de significância de 0,05. Dos herbicidas testados, pyroxsulam, mesotrione e nicosulfuron controlaram menos do 80 % da população com quatro folhas. No perfilhamento, pyroxsulam, mesotrione, nicosulfuron e tembotrione mostraram controle menor ou igual a 65 %. Independentemente do estágio fenológico, clethodim, haloxyfop, amônio-glufofosinato, glyphosate, paraquat, indaziflam e ametrina foram efetivos, com mais de 88 % de controle da espécie.

Palavras-chave: Controle químico de plantas daninhas; *Eleusine indica*; Estádios fenológicos; Resistência a herbicidas.

ABSTRACT

Eleusine indica is difficult to control with post-emergence herbicides due to the short interval between emergence and tillering, which control is more limited. Furthermore, the emergence of resistant biotypes motivates research on this type to find more options for chemical control. The objective of this work was to evaluate the efficiency of post-emergence herbicides in the goosegrass control in two phenological stages. The work was carried out in pots in a completely randomized design with eleven herbicides applied in two experiments: one with plants of four leaves (pre-tillering) and another with plants of eight leaves (in tillering). Visual control notes were assigned at 7, 14, and 21 days after application, collecting the aerial part of the plant in the last evaluation to obtain the dry weight. With these data, variance analysis and means comparison were performed using Tukey's test at a significance level of 0,05. As a principal result, pyroxsulam, mesotrione, and nicosulfuron controlled less than 80 % of the four-leaf population. At tillering, pyroxsulam, mesotrione, nicosulfuron, and tembotrione showed less than or equal to 65 % of control. Regardless of phenological stage, clethodim, haloxyfop, glufosinate ammonium, glyphosate, paraquat, indaziflam, and ametryne were effective, with more than 88 % of control of the species.

Keywords: *Eleusine indica*; Herbicide resistance; Phenological stage; Weed chemical control.

INTRODUÇÃO

A espécie *Eleusine indica* (L.) Gaerth. (capim-pé-de-galinha) (Poaceae), é uma das plantas daninhas mais nocivas para as culturas devido a sua elevada prolificidade (pode produzir quase 50 mil sementes por planta) e sua tolerância a diversas condições ambientais (Kashyap *et al.* 2024; Ma *et al.* 2015). Está entre as cinco espécies mais importantes no mundo, afetando em torno a 50 culturas em mais de 60 países, também pela geração de resistência a herbicidas, sendo um dos problemas mais importantes em culturas anuais no Brasil (Heap, 2020; Silva *et al.* 2009) como milho, soja e feijão.

O uso intensivo de glifosato na soja gerou biótipos resistentes de *E. indica*, sendo necessário o uso de outros herbicidas como a mistura de clorimuron-etilo + lactofen e aplicação sequencial de fluazifop-p-butilo, mostrando controle eficiente da espécie (Correia *et al.* 2011) No Brasil existem biótipos de *E. indica* com resistência a herbicidas que inibem a ACCasa (Vidal *et al.* 2006), EPSPS (Takano *et al.* 2018) e biótipos que apresentam resistência múltipla a esses dois mecanismos de ação (Heap, 2020).

O controle químico das plantas daninhas necessita de conhecimentos relacionados à tecnologia de aplicação, bem como a comunidade infestante, a fisiologia da cultura, as características físico-químicas dos herbicidas e às condições edafoclimáticas locais (Barroso *et al.* 2022). Destas considerações, o estágio fenológico das plantas daninhas constitui a base da eficácia do controle químico (Jerônimo *et al.* 2021).

Normalmente o controle de *E. indica* com herbicidas pós-emergentes é mais eficiente na presença de até um perfilho (Takano *et al.* 2018), por causa da menor espessura da cutícula das folhas e a maior quantidade de tecidos meristemáticos em plantas jovens (Oliveira & Inoue, 2011). Contudo, na prática às vezes *E. indica* não é controlada naquele estágio suscetível, sendo, portanto, relevante estudar o efeito de herbicidas pós-emergentes nessa espécie em perfilhamento.

Considerando a dificuldade no manejo por causa da resistência a herbicidas e pelo difícil controle com herbicidas pós-emergentes em estádios avançados de desenvolvimento (Takano *et al.* 2016), se reduziram as opções de manejo de *E. indica*. Portanto é necessário estudar a eficiência de herbicidas pós-emergentes com diferentes mecanismos de ação em distintos estádios de desenvolvimento da espécie. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi avaliar herbicidas pós-emergentes para o controle do capim pé-de-galinha em dois estádios de desenvolvimento, pré-perfilhamento e em perfilhamento da planta.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos a céu aberto em área anexa ao Laboratório de Plantas Daninhas da Universidade Estadual Paulista (UNESP), situado no município de Jaboticabal/SP (S 21°14'39,2" W 48°17'55,3").

O solo utilizado para preencher os vasos era do tipo Latossolo Vermelho Escuro com textura argilosa, pH(CaCl₂)=5,4, matéria orgânica=18 g/dm³, P(resina)=65 mg/dm³, K=2,8 mmol/dm³, Ca=33 mmol/dm³, Mg=9 mmol/dm³ e H+Al=18 mmol/dm³.

Sementes foram coletadas em plantas maduras de *E. indica* no local da condução do experimento, o foram semeadas 20 sementes do capim-pé-de-galinha em vasos de 0,5 litros. Duas semanas após a semeadura, foi realizado o desbaste a fim de deixar quatro plantas por vaso. As plantas foram mantidas com irrigação sempre que visualmente necessário durante todo o experimento.

Em um primeiro experimento, a aplicação dos herbicidas foi realizada quando as plantas possuíam quatro folhas, sem perfilhos (pré-perfilhamento), e em um segundo experimento, quando as plantas apresentavam em média oito folhas e a presença de cinco perfilhos (em perfilhamento). As aplicações foram realizadas com pulverizador costal, mantido a pressão constante de CO₂, com barras de 1,5 m e quatro pontas do tipo XR11002, sendo regulado para distribuir 200 L/ha¹. A dosagem dos herbicidas (L de produto comercial por hectare) foi extrapolada para a área total dos vasos por cada tratamento.

O delineamento experimental utilizado em cada experimento foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. A unidade experimental estava formada por quatro vasos de 0,5 L com quatro plantas de capim-pé-de-galinha em cada vaso, fazendo em total 176 vasos por experimento, onde foram aplicados em pós-emergência os herbicidas ametrina, amônio-glufosinato, clethodim, glyphosate, haloxyfop, indaziflam, mesotrione, nicosulfuron, paraquat, pyroxsulam e tembotrione, nas doses mostradas na tabela 1.

O controle da planta daninha foi avaliado aos 7, 14 e 21 dias após a aplicação (DAA) através da escala percentual de notas, variando de 0 a 100 % de controle (Gazziero, 1995), sendo 0 % a ausência de sintomas e 100 % a morte da planta. Aos 21 dias após aplicação, coletou-se a parte aérea restante em cada unidade experimental foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C por 48 horas. Após esse período, as amostras foram pesadas em balança analítica para obtenção da massa seca.

Os dados de controle (porcentagem) foram transformados utilizando função arco-seno. Todos os dados foram submetidos à análise de variância a uma probabilidade de erro de 5 %; quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05) utilizando-se o software AgroEstat.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro estágio, aos 7 DAA, nota-se que ametrina, amônio-glufosinato e paraquat foram eficazes no controle do capim pé-de-galinha, com valores de controle de 81,25, 77,50 e 100 %, respectivamente. Aos 14 DAA, haloxyfop, amônio-glufosinato, glyphosate, paraquat, indaziflam, tembotrione e ametrina promoveram controle da população com médias superiores a 80

%. Aos 21 DAA, clethodim, haloxyfop, amônio-glufosinato, glyphosate, paraquat, indaziflam, tembotrione e ametrina proporcionaram controle igual ou maior que 95 % (Tabela 2). Lorenzi (2014) considerou plantas de *E. indica* em estágio inicial (até o perfilhamento) altamente suscetíveis a clethodim, amônio-glufosinato, glyphosate, paraquat e tembotrione por apresentarem controle maior que 95 %, resultados coincidentes com o nosso estudo.

Os dados de massa seca da parte aérea acompanharam os resultados observados de controle da população, com médias menores que 0,07 g/planta para os herbicidas mais eficazes (Tabela 2): haloxyfop, clethodim, amônio-glufosinato, glyphosate, paraquat, tembotrione e ametrina. Pereira *et al.* (2020) também registraram menores valores de massa seca (menos de 12 g m⁻²) de *E. indica* mais outras

gramíneas, após aplicação complementar de clethodim (108 g i.a. ha⁻¹) e haloxyfop (62,35 g i.a. ha⁻¹) no feijão caupi.

A aplicação de pyroxsulam e mesotrione resultou em controle pobre (55-69,9 %) e nicossulfuron em controle regular ou justo (70-81,9 %) de *E. indica* na última avaliação, segundo a escala da WSSA (2002). Estes herbicidas também propiciaram os maiores valores de massa seca acumulada (0,28, 0,27 e 0,09 g/planta para pyroxsulam, mesotrione e nicossulfuron, respectivamente) em relação aos demais tratamentos (Tabela 2). Devido ao escasso controle, as plantas não interromperam completamente seu crescimento e desenvolvimento, acumulando assim maior massa seca em comparação às plantas mais afetadas pelos herbicidas.

Tabela 1. Descrição dos herbicidas aplicados, seus mecanismos de ação e doses em litros do produto comercial (PC) e gramas do ingrediente ativo por hectare.

Herbicida	Mecanismo de Ação*	Doses	
		(PC L ha ⁻¹)	(g ia ha ⁻¹)
Ametrina	Inibidor do FSII	5,00	2.5
Amônio-glufosinato	Inibidor da GS	2,00	400
Clethodim	Inibidor da ACCase	0,45	108
Glyphosate	Inibidor da EPSPS	2,00	890
Haloxyfop	Inibidor da ACCase	0,50	62
Indaziflam	Inibidor da síntese de celulose	0,15	6
Mesotrione	Inibidor da HPPD	0,30	144
Nicossulfuron	Inibidor da ALS	1,50	60
Paraquat	Atuante no FSI	2,00	400
Pyroxsulam	Inibidor da ALS	0,40	18
Tembotrione	Inibidor da HPPD	0,18	76

*HRAC Global (2024).

Tabela 2. Médias de controle visual (%) e massa seca da parte aérea (MSPA) de uma população de capim pé-de-galinha tratada com herbicidas pós-emergentes quando com quatro folhas totalmente expandidas (pré-perfilhamento).

Tratamentos	Médias de controle visual (%)			MSPA
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	
Ametrina	81,25b	100,00a	100,00a	0,01b
Amônio-glufosinato	77,50b	95,75ab	98,75a	0,03b
Clethodim	31,25cd	60,00cd	100,00a	0,06b
Glyphosate	51,25c	90,00ab	96,25a	0,04b
Haloxyfop	31,25cd	99,50a	100,00a	0,03b
Indaziflam	16,25de	82,50bc	100,00a	0,10b
Mesotrione	2,50f	36,20de	56,25bc	0,27a
Nicossulfuron	6,25ef	20,00e	77,50b	0,09b
Paraquat	100,00a	100,00a	100,00a	0,02b
Pyroxsulam	11,25e	15,00e	53,70c	0,28a
Tembotrione	42,50c	82,50bc	96,25a	0,04b
DMS	18,55	16,94	13,70	0,14
CV	13,67	11,01	7,18	42,44
F	86,79	55,37	36,76	10,89

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5 %. DAA: dias após a aplicação.

Nota-se que o glyphosate e os inibidores da ACCase (clethodim e haloxyfop) foram eficazes (mais de 95 % de controle) no controle da espécie, confirmando a ausência de resistência de *E. indica* para esses herbicidas. Apesar de as condições do experimento de Takano *et al.* (2018) foram diferentes ao nosso estudo (casa de vegetação e biótipos de *E. indica* resistentes ao glyphosate), eles encontraram resultados semelhantes com nosso trabalho, já que obtiveram 100 % de controle de *E. indica* com um perfilho após aplicação de haloxyfop (60 g i.a. por hectare) e clethodim (108 g i.a. por hectare). Aplicações de haloxyfop, clethodim e fluazifop em populações de capim pé-de-galinha de até dois perfilhos demonstraram até 90 % de controle (Molin *et al.* 2013; Ulguim *et al.* 2013).

Por outro lado, o escasso controle de *E. indica* pelos herbicidas inibidores da ALS (pyroxsulam e nicossulfuron) e inibidores da HPPD (mesotrione) se deve ao fato desses herbicidas controlarem predominantemente plantas daninhas eudicotiledôneas e algumas monocotiledôneas (Carvalho, 2013). O desempenho de clethodim e amônio-glufosinato também já foi relatado na literatura como eficaz no controle de capim pé-de-galinha (Burke *et al.* 2005; Ulguim *et al.* 2013). Segundo Burke *et al.* (2005), a aplicação de clethodim em plantas de capim pé-de-galinha que apresentam até seis perfilhos, promove 83 % de controle aplicando alta dose (140 g i.a. por hectare). Isso significa que plantas de *E. indica* mais desenvolvidas com perfilhos poderiam ser controladas com clethodim, porém incrementando a dose de 108 a 140 g i.a. ha⁻¹, o que pode ser prejudicial desde o ponto de vista econômico e ambiental.

Entretanto, mesmo o controle de *E. indica* com herbicidas inibidores da ACCase seja eficiente, seu uso deve ser cuidadoso pela pressão de seleção que podem submeter às populações, selecionando biótipos com resistência múltipla ao local de ação (Takano *et al.* 2018). Segundo nossos resultados, outros herbicidas eficientes no controle de *E. indicam* foram os inibidores da síntese de parede celular (indaziflam), inibidores do FSII (ametrina) e inibidores da GS (amônio-glufosinato), podendo-se constituir em alternativas para a rotação de mecanismos de ação no manejo da planta daninha. No entanto, além do uso de herbicidas, pode se incluir no manejo integrado o uso de plantas de cobertura como o milho e crotalária, as quais podem até suprimir *E. indica* (D'amico-Damião *et al.* 2020).

No estágio de perfilhamento aos 7 DAA, os herbicidas amônio-glufosinato, glyphosate, paraquat e ametrina proporcionaram controle da população superior a 80 %. Aos 14 DAA, o controle de capim pé-de-galinha foi superior a 90 % em tratamentos com haloxyfop, amônio-glufosinato, glyphosate, paraquat e ametrina. Os herbicidas pyroxsulam, mesotrione e nicossulfuron se mostraram ineficientes no controle de capim pé-de-galinha, além do herbicida tembotrione, que não apresentou controle da população maior que 43,75 % na avaliação realizada aos 21 DAA (Tabela 3). Neste caso, em plantas de *E. indica* na presença de perfilhos, perde-se a possibilidade do uso dos herbicidas inibidores da HPPD (mesotrione e tembotrione) pelo pobre controle mostrado (menor que 66 %) Lorenzi (2014) coincide parcialmente com esses resultados ao

mostrar que *E. indica* no estágio de quatro perfilhos é tolerante (0 % de controle) ao mesotrione e pouco suscetível (menos de 50 % de controle) ao tembotrione.

Considerando os herbicidas inibidores da ACCase, o haloxyfop teve ação mais rápida no controle da espécie em perfilhamento do que o clethodim, propiciando o haloxyfop 56,25 % e 11,25 % mais de controle quando comparado ao clethodim aos 14 DAA e 21 DAA, respectivamente. Os herbicidas amônio-glufosinato, glyphosate, paraquat e ametrina demonstraram controle eficiente da população já aos 7 DAA, com médias de controle superiores a 80 % (Tabela 3). Hooda & Chauhan (2023) apontaram que, de 12 herbicidas pós-emergentes, o amônio-glufosinato (750 g i.a. por hectare) ocasionou um dos menores valores de sobrevivência (8,35 % na média de dois locais) e massa seca (0,04 g por vaso na média de dois locais) de *E. indica*, demonstrando assim a eficácia do herbicida na espécie.

Por causa do rápido crescimento de *E. indica* e a escassez de herbicidas pós-emergentes seletivos para culturas convencionais, há limitações para o controle dessa espécie em estádios avançados de desenvolvimento (Takano *et al.* 2016, 2018). Além disso, as plantas se tornam menos suscetíveis aos herbicidas conforme avança seu estágio fenológico em decorrência da menor quantidade de tecidos novos (Marques *et al.* 2011), os quais absorvem melhor os herbicidas.

Outra limitação é a disponibilidade de herbicidas seletivos para as culturas e eficazes no controle de gramíneas, como no caso do milho, onde oito mecanismos de ação estão registrados para controle de capim pé-de-galinha (MAPA, 2021). Se a população de *E. indica* encontrada na área de cultivo for resistente à glyphosate ou à ACCase, ou a ambos, as opções para controle da espécie caem para seis mecanismos de ação. Dos herbicidas estudados neste trabalho, o amônio-glufosinato, glyphosate, mesotrione, nicossulfuron e tembotrione são seletivos para o milho, dos quais mesotrione e nicossulfuron não controlaram a espécie nos estádios iniciais e nem tembotrione controlou a *E. indica* em perfilhamento.

Para a soja, dos herbicidas estudados, cinco são seletivos para a cultura, dos quais clethodim, haloxyfop, amônio-glufosinato e glyphosate apresentaram controle eficaz de capim pé-de-galinha. Em casos de biótipos com resistência à herbicidas inibidores da ACCase ou ao glyphosate, o controle da espécie seria possível com o amônio-glufosinato em dessecação pré-plantio ou pós-emergência em culturas tolerantes a esse herbicida. O que ressalta a necessidade de se buscarem alternativas de controle da espécie na pré-emergência pelo uso de herbicidas residuais, aplicações sequenciais na dessecação pré-plantio e/ou pelo uso de outros métodos de controle, como a cobertura do solo com palhada (Silva *et al.* 2009; Lima *et al.* 2014).

Em conclusão, é indicado que os herbicidas clethodim, haloxyfop, amônio-glufosinato, glyphosate, paraquat, indaziflam, tembotrione e ametrina foram eficazes no controle de capim pé-de-galinha em estágio pré-perfilhamento. Plantas em perfilhamento foram

eficazmente controladas pelos herbicidas clethodim, haloxyfop, amônio-glyphosinato, glyphosate, paraquat, indaziflam e ametrina. Estádios mais avançados de desenvolvimento do capim-pé-

de-galinha reduzem a eficácia de controle de nicossulfuron e tembotrione.

Tabela 3. Médias de controle (%) e massa seca da parte aérea (MSPA) de uma população de capim pé-de-galinha tratada com herbicidas pós-emergentes quando com oito folhas totalmente expandidas (em perfilhamento).

Tratamentos	Médias de controle visual (%)			MSPA (g/planta)
	7 DAA	14 DAA	21 DAA	
Ametrina	100,00a	100,00a	100,00a	0,17c
Amônio-glyphosinato	88,75ab	95,00a	99,50a	0,32bc
Clethodim	21,25cd	37,50c	88,75	1,15a
Glyphosate	80,75b	92,50a	98,75a	0,26c
Haloxyfop	42,50c	93,75a	100,00a	0,41bc
Indaziflam	15,00cd	65,00b	93,75a	0,78abc
Mesotrione	8,75d	38,75bc	65,75bc	0,29bc
Nicossulfuron	8,75d	65,00b	65,00bc	0,43bc
Paraquat	83,75b	92,50a	97,00a	0,24c
Pyroxulam	5,00d	17,50d	32,50c	0,91ab
Tembotrione	46,25c	46,25bc	43,75c	0,72abc
DMS	21,47	15,73	20,50	0,62
CV	20,70	10,87	11,98	49,31
F	38,86	50,05	24,7	6,34

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5 %. DAA: dias após a aplicação.

Agradecimentos. Os autores agradecem à Universidade Estadual Paulista (Jaboticabal) por permitir o uso do laboratório de Plantas Daninhas para a realização deste estudo. **Financiamento:** financiamento próprio. **Conflito de interesses:** O manuscrito foi preparado e revisado com a participação de todos os autores, que declaram não haver conflito de interesses que coloque em risco a validade destes resultados. **Contribuição dos autores:** Administração do projeto por Jorge Luis Tejada, Pedro Luís da Costa Aguiar Alves e Arthur Martins Barroso. Revisão de redação e edição por Jorge Luis Tejada, Leonel Alvarado Huaman e Luis Felipe Solis-Rosas-Diaz. Conceituação, supervisão e redação por Jorge Luis Tejada e Ebson Silva.

REFERÊNCIAS

- BARROSO, A.A.; TEJADA SORALUZ, J.L.; BORGES LEMOS, L.; CASARI PARREIRA, M.; JARDIM DE OLIVEIRA, P.M.; DA COSTA AGUIAR ALVES, P.L. 2022. Biologia e manejo de plantas daninhas na cultura do feijão-comum. Ed. Funep. São Paulo. 202p.
- BURKE, I.C.; ASKEW, S.D.; CORBETT, J.L.; WILCUT, J.W. 2005. Glufosinate antagonizes clethodim control of goosegrass (*Eleusine indica*). *Weed Technology*. U.S. 19(3):664-668. <https://doi.org/10.1614/wt-04-214r1.1>
- CARVALHO, L.B. 2013. Herbicidas. Ed. do autor. São Carlos. 72p.
- CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C.; ESPANHOL, M. 2011. Manejo de plantas daninhas em soja geneticamente modificada tolerante ao glyphosate. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. Brasil. 41(2):242-247. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i2.8807>
- D'AMICO-DAMIÃO, V.; BARROSO, A.A.M.; ALVES, P.L.C.A.; LEMOS, L.B. 2020. Intercropping maize and succession crops alters the weed community in common bean under no-tillage. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. Brasil. 50:e65244. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v50e65244>
- GAZZIERO, D.L.P. 1995. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Ed. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. Londrina. 42p.
- HEAP, I. 2020. The international survey of herbicide resistant weeds. Disponível desde Internet em: www.weedscience.org.
- HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE-HRAC. 2024. 2024 HRAC Global herbicide MOA classification. Disponível desde Internet em: <https://hracglobal.com/tools/2024-hrac-global-herbicide-moa-classification>.
- HOODA, V.S.; CHAUHAN, B.S. 2023. Herbicide response and germination behavior of two goosegrass (*Eleusine indica*)

- populations in the Australian environment. *Weed Science*. U.S. 71:584-593. <https://doi.org/10.1017/wsc.2023.51>
- JERÔNIMO, A.V.; DA SILVA, R.P.; DOS SANTOS, P.H.V.; HIRATA, A.C.S.; MONQUERO, P.A. 2021. Sequential applications of herbicides in the management of weeds at an advanced stage of development. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. Brazil. 64:1-10.
- KASHYAP, P.; SHIKHA, D.; GAUTAM, S.; RANI, U. 2024. *Eleusine indica*. In: Gupta, P.; Chhikara, N.; Panghal, A. (eds.). *Harvesting Food from Weeds*. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. p.113-141.
- LIMA, S.F.; TIMOSSI, P.C.; ALMEIDA, D.P.; DA SILVA, U.R. 2014. Fitossociologia de plantas daninhas em convivência com plantas de cobertura. *Revista Caatinga*. Brasil. 27(2):37-47.
- LORENZI, H. 2014. *Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional*. Ed. IPSIS gráfica e editora. São Paulo. 383 p.
- MA, X.Y.; WU, H.W.; JIANG, W.L.; MA, Y.J.; MA, Y. 2015. Goosegrass (*Eleusine indica*) density effects on cotton (*Gossypium hirsutum*). *Journal of Integrative Agriculture*. China. 14(9):1778-1785. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61058-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61058-9)
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. 2021. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT). Disponível desde Internet em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- MARQUES, R.P.; RODELLA, R.A.; MARTINS, D. 2011. Controle químico em pós-emergência de espécies de *Brachiaria* em três estádios vegetativos. *Arquivos do Instituto Biológico*. Brasil. 78(3):409-416. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v78p4092011>
- MOLIN, W.T.; WRIGHT, A.A.; NANDULA, V.K. 2013. Glyphosate-Resistant Goosegrass from Mississippi. *Agronomy*. Switzerland. 3(2):474-487. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020474>
- OLIVEIRA, R.S.; INOUE, M.H. 2011. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. En: Oliveira, R.S.; Constantin, J.; Inoue, M.H. (eds.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Ed. Omnipax. Curitiba. p.243-261.
- PEREIRA, L.S.; SOUSA, G.D.; OLIVEIRA, G.S.; SILVA, J.N.; COSTA, E.M.; VENTURA, M.V.A.; JAKELAITIS, A. 2020. Eficiência de herbicidas aplicados em pós-emergência em cultura do feijão-caupi. *Colloquium Agrariae*. Brasil. 16(1):29-42. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n1.a345>
- SILVA, A.C.; HIRATA, E.K.; MONQUERO, P.A. 2009. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasil. 44(1):22-28. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100004>
- TAKANO, H.K.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; BRAZ, G.B.P.; PADOVESE, J.C. 2016. Growth, development and seed production of goosegrass. *Planta Daninha*. Brasil. 34(2):249-258. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340200006>
- TAKANO, H.K.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; SILVA, V.F.V.; MENDES, R.R. 2018. Chemical control of glyphosate-resistant goosegrass. *Planta Daninha*. Brasil. 36:112-119. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100055>
- ULGUIM, A.R.; VARGAS, L.; AGOSTINETTO, D.; MAGRO, T.D.; WESTENDORFF, N.R.; HOLZ, M.T. 2013. Manejo de capim pé-de-galinha em lavouras de soja transgênica resistente ao glifosato. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasil. 48(1):17-24. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100003>
- VIDAL, R.A.; PORTES, E.S.; LAMEGO, F.P.; TREZZI, M.M. 2006. Resistência de *Eleusine indica* aos inibidores de ACCase. *Planta Daninha*. Brasil. 24(1): 63-171. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000100021>
- WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, WSSA. 2002. *Herbicide handbook of the Weed Science Society of America*. Ed. Vencil, W.K. Champaign. 493p.

Influencia del coeficiente de cultivo (Kc) en la fenología y rendimiento del cultivo de tomate en invernadero

Influence of crop coefficient (Kc) on the phenology and yield of tomato crop in the greenhouse

Hans Kreutler-García¹ ; Hugo Ruíz-Eraso² ; Harold Chañag-Miramag^{3*} 

¹Universidad de Nariño. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: hanskreutler@gmail.com

²Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Cultivos Andinos (GRICAND). Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: hugoruize@yahoo.com

³Universidad de Nariño, Grupo de Investigación Cultivos Andinos (GRICAND). Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: harold.a1493@udenar.edu.co

*autor para correspondencia: harold.a1493@udenar.edu.co

Cómo citar: Kreutler-García, H.; Ruíz-Eraso, H.; Chañag-Miramag, H. 2024. Influencia del coeficiente de cultivo (Kc) en la fenología y rendimiento del cultivo de tomate en invernadero. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2375. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2375>

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 en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: marzo 11 de 2023

Aceptado: junio 7 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El uso de los coeficientes de cultivo (Kc) en el cultivo de tomate es determinante en la producción del cultivo permitiendo hacer uso eficiente del recurso hídrico. Esta investigación evaluó el efecto de diferentes Kc en fase de establecimiento (0,1; 0,2 y 0,3) y floración-llenado (0,6; 0,8 y 1,1) sobre dos híbridos, Pietro F1 y Mateus 7370 en invernadero. El diseño experimental desarrollado fue BCA con arreglo en franjas divididas, donde los factores fueron los coeficientes Kc y los híbridos. La evaluación de las variables se realizó en etapa vegetativa y productiva. Los resultados mostraron un comportamiento similar entre los híbridos en la época de establecimiento, caso contrario a la fase de producción, donde existieron diferencias estadísticas, para las variables número de frutos, peso de fruto y rendimiento, donde el híbrido Pietro, bajo el coeficiente Kc: 1,1 presentó mejores rendimientos y Mateus mejoró su producción, bajo el coeficiente Kc: 0,6.

Palabras clave: Evapotranspiración; Fenología; Producción; Riego agrícola; *Solanum lycopersicum* L.

ABSTRACT

The use of crop coefficients (Kc) in tomato crops is decisive in the production, improving the efficient use of water resources. This research evaluated the effect of different Kc in the establishment phase (0.1, 0.2 and 0.3) and flowering-filling (0.6, 0.8 and 1.1) on two hybrids Pietro F1 and Mateus 7370 in greenhouse. The experimental design developed was BCA with a divided strip arrangement where the factors were the Kc coefficients and the hybrids. The evaluation of the variables was carried out in the vegetative and productive stages. The results showed a similar behavior between the hybrids at the establishment time, contrary to the production phase where there were statistical differences for the variables number of fruits, fruit weight and yield, where the Pietro hybrid under Kc coefficient: 1.1 presented better yields and Mateus improved its production under the Kc coefficient: 0.6.

Keywords: Agricultural irrigation; evapotranspiration; Phenology; *Solanum lycopersicum* L.; Yield.

INTRODUCCIÓN

El tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) es la fruta fresca y procesada más importante en el mundo y es, después de la papa, el vegetal que más se consume (Nangare *et al.* 2016; Heuvelink, 2018), así como es una fuente importante de antioxidantes, como licopeno, fenólico y vitamina C, en la dieta humana (Toor *et al.* 2006). La producción de tomate, a nivel mundial, para el 2022, fue de aproximadamente 255 millones de toneladas, en alrededor de 6 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2024). En Colombia, el área sembrada para el 2021 fue de 10 mil hectáreas, con una producción anual de 272 mil toneladas y un rendimiento promedio de 26,98 t ha⁻¹ (AGRONET, 2024).

Si bien el tomate es un producto que ayuda a garantizar la seguridad alimentaria, este cultivo se caracteriza por sus altos requerimientos hídricos. Debido a la creciente amenaza de escasez de agua que afecta al mucho en la actualidad (Mekonnen & Hoekstra, 2016) es importante desarrollar metodologías que permitan optimizar el uso del agua, manteniendo los rendimientos y la calidad de la fruta. El agua es el factor más importante para maximizar la producción y mejorar la calidad frutos en este cultivo; su eficiencia consiste en ofrecer la cantidad adecuada en el momento adecuado requerido por la planta.

Así, los principales factores a controlar en la producción de cultivos son: el aporte hídrico eficiente, el aporte nutricional y la evaluación de variedades mejoradas. En este sentido, la estimación y el ajuste de los coeficientes de cultivo (Kc) eficiente con base al genotipo y al ambiente, permite optimizar la programación de riego y la eficiencia del uso de agua, lo que permite a los cultivos expresar todo su potencial genético de producción (Allen *et al.* 2006; Jaramillo *et al.* 2007; Mekonnen & Hoekstra, 2016), evitando la sobreexplotación del recurso hídrico.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar diferentes coeficientes de cultivo (Kc) en dos fases de cultivo: establecimiento y floración – llenado, en dos híbridos de tomate Pietro F1 y Mateus (7370).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en el Centro Internacional de Producción Limpia Lope, perteneciente al Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, del municipio de Pasto, departamento de Nariño, Colombia, situado a N 1°12'13" y O 77°15'23", con temperatura promedio de 12 °C y evapotranspiración promedio de 2,5 mm día⁻¹.

El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar, con arreglo en franjas divididas, donde el primer factor está conformado por tres niveles de láminas de agua, calculados a partir de los coeficientes, donde Kc1 < Kc2 < Kc3 y el segundo factor estuvo constituido por dos niveles, siendo estos los híbridos de tomate Pietro F1 y Mateus (7370) y tres repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales (Lagos & Criollo, 2019).

La medición de variables se realizó durante la fase de establecimiento y de producción; de este modo, las variables de altura de planta y diámetro de tallo de la planta se midieron entre los 0 a 70 después del transplante DDT y 71 a 149 DDT; por otra parte, el número de flores, frutos y racimos se evaluaron entre los días 71 a 149 DDT. Finalmente, las variables peso unidad y diámetro de fruto, peso de frutos por planta y rendimiento se evaluaron durante los días 104 a 153 DDT (Tabla 1).

Los métodos de toma de registros se hicieron con base a las metodologías expuestas por Ramírez-Vargas & Nienhuis (2012), para desarrollo fenológico del tomate.

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza, para determinar diferencias estadísticas con un grado de confiabilidad del 95 %, con la prueba de comparación de medias LSD Fisher ($p < 0,05$). Los análisis se realizaron en el software Infostat v.2019 y las gráficas de interacción de factores, cuando hubo presencia de esta, se realizaron en R v. 2021.09.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la fase de establecimiento de 0 a 70 DDT, las variables de altura de planta y diámetro de tallo no presentaron diferencias estadísticas, indicando que durante esta fase no hay una respuesta diferencial de los híbridos a los Kc evaluados (0,1; 0,2 y 0,3), resultando ser iguales estadísticamente; asimismo, los resultados indican que durante esta fase, la eficiencia hídrica de los dos híbridos es igual. Resultados similares encontraron Barraza *et al.* (2004), quienes al evaluar altura de planta entre los 15 y 60 DDT, no encontraron diferencias estadísticas y atribuyen este hecho a que en esta fase aún no existe competencias entre plantas, afirmando que los genotipos vegetales responden morfológica y fisiológicamente frente a la densidad de población.

Para la fase de producción evaluada entre los 71 a 153 DDT, la única variable que presentó diferencias estadísticas para los híbridos fue el número de flores, siendo el híbrido Pietro superior, con una media de 8,72 flores planta⁻¹, a diferencia de Mateus, que presentó una media de 8,16 flores planta⁻¹. Esto se debe, posiblemente, a una respuesta diferencial de los híbridos a la fertilización, como lo expresa Cadahía (2005), quien afirma que la fertirrigación influye drásticamente sobre la producción si se tiene en cuenta que algunos híbridos son nutricionalmente más eficientes que otros. Por otra parte, el hecho de encontrar estas diferencias estadísticas se deba, posiblemente, a una mejor adaptación del híbrido Pietro a las condiciones edafoclimáticas del invernadero donde se realizó el estudio, ya que, como lo afirman Higashide & Heuvelink (2009), condiciones específicas, como altas temperaturas, humedad y radiación solar son determinantes para que los diferentes materiales expresen sus capacidades; asimismo, estas condiciones específicas podrían estar relacionadas con la reducción de abortos florales, ya que, como lo afirma Guzmán (1991), este fenómeno se causa por un mejor acondicionamiento de las plantas a unas determinadas condiciones ambientales, entonces, se podría inferir que el híbrido Pietro, se adapta mejor a condiciones de estrés por sequía, teniendo

en cuenta que esta es una de las causas para producir aborto floral (Zegbe *et al.* 2006).

En la fase de producción evaluada entre los 71 a 153 DDT, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas para el efecto causado por las láminas de riego, para la variable peso por unidad de fruto e, igualmente, se encontró el efecto de la interacción de los factores láminas por híbridos en las variables número de frutos, peso de frutos por planta y rendimiento.

La prueba de comparación de medias LSD Fisher mostró que la lámina con una media más alta para la variable de peso de fruto fue la correspondiente al Kc de 1,1, con una media de 125,03g (Tabla 1); esto se debe, a que un riego deficitario reduce el tamaño de la fruta, el rendimiento comercial durante la floración y el desarrollo de la fruta y las etapas de maduración de esta (Pulupol *et al.* 1996). Resultados similares encontraron Cui *et al.* (2020), quienes reportan una disminución en el peso y el volumen de los frutos, cuando el suministro hídrico del cultivo fue limitado encontrando pesos de 108,17 g, cuando el suministro de agua fue de 394 mm y una media en peso superior de fruto de 120,03 g, cuando el suministro de agua fue de 490 mm.

Por otra parte, la gráfica de interacción mostró para la variable número de frutos por planta que el híbrido Pietro, con una lámina Kc de 1,1, presentó una media superior, con 9,1 frutos planta⁻¹, seguida por el híbrido Mateus con la lámina Kc de 0,6, con una media de 8,1 frutos planta⁻¹ (Figura 1a), indicando que los híbridos presentan un comportamiento diferencial a las láminas de riego evaluadas. Las diferencias en el número de frutos causadas por los efectos de la interacción lámina e híbrido encontradas, se debe, posiblemente, a que las capacidades productivas de los híbridos pueden aumentar o disminuir, dependiendo del genotipo (Florido & Bao, 2014; Shao *et al.* 2015).

En cuanto al rendimiento, la gráfica de interacción para la variable rendimiento (Figura 1b) muestra que la interacción con un rendimiento más alto corresponde al híbrido Pietro con una lámina

Kc de 1.1, presentando una media de 101 t ha⁻¹, seguida del híbrido Mateus con una lámina Kc de 0.6, con un rendimiento promedio de 79,5 t ha⁻¹, mostrando una relación directa e inversamente proporcional entre el rendimiento y la cantidad de agua suministrada para los híbridos Pietro y Mateus, respectivamente. El hecho de encontrar estos resultados con el híbrido Mateus, se debe, posiblemente, a que son cualidades propias del híbrido que se expresaron genotípicamente, al estar en condiciones específicas (Florido y Bao, 2014), en este caso, la lámina de riego. Lo anterior indica que, posiblemente, el híbrido Mateus, tenga un potencial para soportar condiciones de estrés hídrico o riego deficitario, resultando ser más eficiente al momento de utilizar el recurso hídrico, sin perder su potencial productivo.

Por otra parte, el comportamiento mostrado por el híbrido Pietro resultan ser más comunes, teniendo en cuenta que un aporte hídrico eficiente se ve reflejado en mejores rendimientos, como en el estudio realizado por Biswas *et al.* (2015), donde se reporta que los mejores rendimientos se obtienen con una lámina basada 100 % en el requerimiento hídrico del cultivo con 63,84 t ha⁻¹ y disminuye cuando aplica el 75 y 50 % del requerimiento, presentando medias de producción de 54,38 y 50,60 t ha⁻¹, respectivamente. Así, estos estudios permiten soportar los datos obtenidos en esta investigación, respecto al híbrido Pietro.

Finalmente, se concluye que los híbridos evaluados, Pietro y Mateus, presentan un comportamiento diferencial a las distintas láminas de riego evaluadas, siendo el híbrido Pietro un material más exigente en el recurso hídrico, para alcanzar su potencial genético de producción; por el contrario, el híbrido Mateus, se presenta como un material más eficiente para el uso de este recurso, lo que hace que pueda ser catalogado como un material ideal para zonas donde las condiciones ambientales sean adversas y la disponibilidad del recurso sea limitada.

Tabla 1. Comparación de medias de las variables número de frutos por planta, peso de fruto, producción por planta, diámetro ecuatorial del fruto y rendimiento.

Láminas (Kc)	Número de frutos planta	Peso fruto (g)	Diámetro fruto (cm)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
0,6	7,36 a	110,58 ab	5,30 a	69,5 a
0,8	6,1 b	93,53 b	5,60 a	65,8 a
1,1	6,8 ab	125,03 a	4,80 a	74,3 a

Medias seguidas de letras diferentes en la columna, presentan diferencias estadísticas entre sí, según la prueba de LSD Fisher (P<0,05). Medias con igual índice en las letras son semejantes estadísticamente, según la prueba de LSD Fisher (P<0,05).

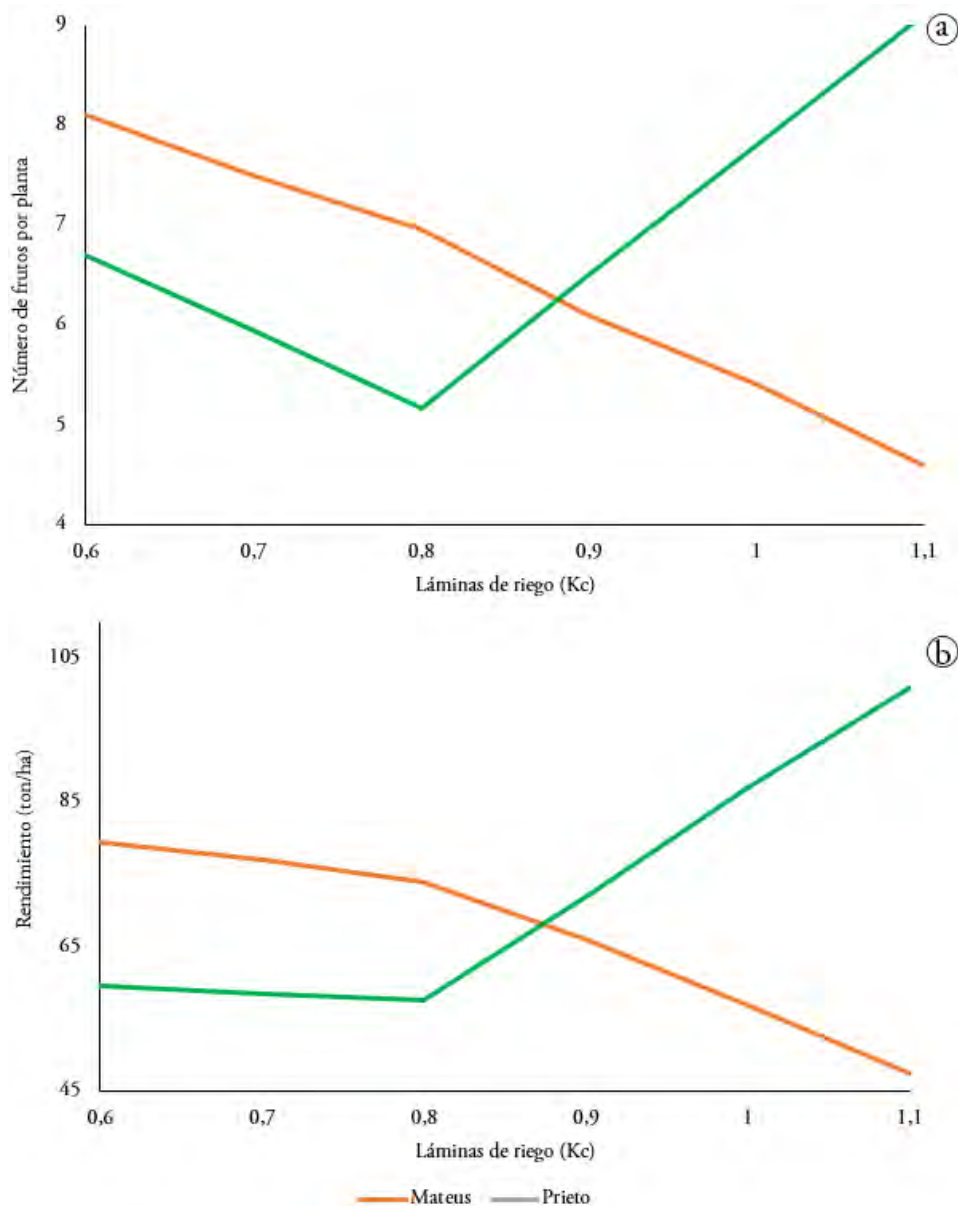


Figura 1. Gráfica de interacción para las variables. a) número de frutos por planta y b) rendimiento.

Agradecimientos. A la comunidad SENA-Lope, San Juan de Pasto, por permitir realizar esta investigación dentro de sus instalaciones. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados. **Contribución de autores:** Hans Kreutler García: Investigación y Metodología; Hugo Ruíz Eraso: Administración del Proyecto y Metodología; Harold Chañag Miramag: Redacción – revisión y edición.

REFERENCIAS

- AGRONET. 2024. Estadísticas agrícolas, área, producción, rendimiento y participación. Disponible desde Internet en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.; 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para determinación los requerimientos de agua de los cultivos. Food & Agricultura Org. 322p. Disponible desde Internet en: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- BARRAZA, F.V.; FISCHER, G.; CARDONA, C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. Agronomía Colombiana. 22(1):81-90.
- BISWAS, S.; AKANDA, A.; RAHMAN, M.; HOSSAIN, M. 2015. Effect of drip irrigaton and mulching on yield, wáter-use efficiency and economics of tomato. Plant Soil Environment. 61(3):97-102. <https://doi.org/10.17221/804/2014-PSE>

- CADAHÍA, L.C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 494p.
- CUI, J.; SHAO, G.; LU, J.; KEABETSWE, L.; HOOGENBOOM, G. 2020. Yield, quality, and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia Agricola*. 77(1):1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0390>
- FAOSTAT. 2024. Cultivos y productos de ganadería. Disponible desde Internet en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- FLORIDO, M.; BAO, L. 2014. Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales (Cuba)*. 35(3):70-88.
- GUZMÁN, J. 1991. El cultivo del tomate. Cuarta edición. Espasande, S.R.L. Chacaito, Caracas. 61p.
- HEUVELINK, E. 2018. Tomatoes, Crop production Science in Horticulture Serie. Segunda edición. Wageningen University y Research The Netherlands, Boston, MA: CABI. 378p.
- HIGASHIDE, T.; HEUVELINK, E. 2009 Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 134:460-465. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.4.460>
- JARAMILLO, J.; RODRÍGUEZ, V.P.; GUZMÁN, M.; ZAPATA, M.; RENGIFO, T. 2007. Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Corpoica, FAO, Bogotá. p.316. Disponible desde Internet en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13469/43123_50544.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LAGOS, T.; CRIOLLO, H.; 2019. Herramientas estadísticas para la investigación en ciencias agrarias. Ed. Universidad de Nariño (Colombia). 247p.
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Science. Advances*. 2(2):1-6. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1500323>
- NANGARE, D.D.; SINGH, Y.; KUMAR, P.S.; MINHAS, P.S. 2016. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agricultural Water Management*. 171:73-79. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.016>
- PULUPOL, L.U.; BEHBOUDIAN, M.H.; FISHER, K.J. 1996. Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *Horticultural Science*. 31:926-929. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.31.6.926>
- RAMÍREZ-VARGAS, C.; NIENHUIS, J. 2012. Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum*) Mill bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 25(1):3-15. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i1.172>
- SHAO, G.C.; DENG, S.; LIU, N.; WANG, M.H.; SHE, D.L. 2015. Fruit quality and yield of tomato as influenced by rain shelters and deficit irrigation. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 17:691-704
- TOOR, R.K.; SAVAGE, G.P.; HEEB, A. 2006. Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19:20-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.03.003>
- ZEGBE, J.A.; BEHBOUDIAN, M.H.; CLOTHIER, B.E. 2006. Responses of 'Petopride' processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. *Irrigation Science*. 24(3):203-210. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0018-4>

Determinación de la seroprevalencia y factores de riesgo de diarrea viral bovina en una población de la provincia de Pamplona

Determination of seroprevalence and risk factors of bovine viral diarrhoea in cows of the province of Pamplona

Jesús A. Mendoza-Ibarra¹ ; José Flórez-Gelvez² ; Jhon J. Bustamante-Cano³ 

¹Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Medicina Veterinaria. Pamplona - Norte de Santander, Colombia; almendoza@unipamplona.edu.co; jflorez@unipamplona.edu.co; jhonjabu@unipamplona.edu.co

Cómo citar: Mendoza-Ibarra, J.A.; Flórez-Gelvez, J.; Bustamante-Cano, J.J. 2024. Determinación de la seroprevalencia y factores de riesgo de diarrea viral bovina en una población de la provincia de Pamplona. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2384. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2384>

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 en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

Recibido: marzo 20 de 2023

Aceptado: junio 17 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La diarrea viral bovina (DVB) es una enfermedad endémica de distribución mundial, responsable de ocasionar trastornos reproductivos con gran impacto económico y sanitario. Las pruebas serológicas permiten estimar la difusión del virus en una población no vacunada. Con el objeto de determinar la prevalencia de DVB en la zona lechera de alta montaña de la provincia de Pamplona, se desarrolló un estudio seroepidemiológico transversal, utilizando la técnica de ELISA. Adicionalmente, aplicando un cuestionario, se identificaron factores de riesgo relacionados. Siguiendo los requerimientos de la ley 1774, como se expuso ante el comité de ética de la Universidad de Pamplona, se recolectaron un total de 324 muestras de sangre, a partir de bovinos no vacunados, procedentes de 82 predios. 49 muestras de 18 predios fueron positivas, indicando una prevalencia individual de 15,12 % y para predios del 21,95 %. Con el cuestionario se determinó que, en general, los predios tenían menos de 20 animales, no se llevan registros y se usa la monta natural, como principal sistema reproductivo. El contacto de hembras con toros de otras explotaciones constituyó un factor de riesgo. La prevalencia encontrada para la provincia está por debajo del promedio nacional. Se deben mejorar algunas condiciones de manejo que eviten factores de riesgo, para prevenir la diseminación de la enfermedad. Se recomienda determinar la presencia de animales persistentemente infectados, para su posterior remplazo, así como implementar registros sistemáticos en los predios y hacer pruebas en animales de nueva adquisición.

Palabras clave: Enfermedades reproductivas bovinas; Epidemiología veterinaria; Flaviviridae; Pestivirus; Salud animal.

ABSTRACT

Bovine viral diarrhoea (BVD) is an endemic disease distributed worldwide distribution, it is responsible for reproductive disorders with high economic and sanitary impact. Serological diagnostics allow for estimating the spread of the virus in an unvaccinated population. A cross-sectional study was developed to determine the prevalence of BVD in the dairy area of the high mountains of Pamplona, which included identifying related risk factors. Three hundred twenty-four blood samples were collected from non-vaccinated cattle from 82 farms, according to Law 1774 and the ethics committee of the University of Pamplona. Forty-nine samples from 18 farms were positive with an individual prevalence of 15.12% and for farms of 21.95%. The questionnaire indicated that most of the farms had less than 20 animals, had no records and natural mating was the main reproductive system. The contact of cows with bulls from other farms constituted a risk factor. The prevalence for the region was lower than found in other studies in the country. Some management conditions should be improved to avoid risk factors and prevent the spread of the disease. It is important to determine the presence of persistently infected animals, for their subsequent replacement, as well as to implement systematic records on farms and to test new animals arriving on farms.

Keywords: Animal health; Bovine reproductive diseases; Flaviviridae; Pestivirus; Veterinary epidemiology.

INTRODUCCIÓN

La diarrea viral bovina (DVB) es una enfermedad infectocontagiosa, de distribución mundial, que induce graves patologías reproductivas, respiratorias y gastrointestinales en la ganadería bovina, lo cual, causa importantes pérdidas económicas (Lanyon *et al.* 2014). Su naturaleza silenciosa, infecciones transitorias prolongadas y la existencia de animales persistentemente infectados (PI), como reservorios eficientes, son responsables de su presencia ubicua en las poblaciones de ganado bovino, en todo el mundo (Moennig & Becher, 2018). El bovino es considerado el hospedero natural del virus (Walz *et al.* 2010) y las infecciones con el virus son endémicas, a nivel global (Scharnböck *et al.* 2018).

El agente etiológico de la enfermedad es el virus de Diarrea Viral Bovina (VDVB), que tiene como genoma un ARN de polaridad positiva, envuelto, esférico, que mide de 40 a 60 nm, pertenece al género pestivirus de la familia *Flaviviridae* y se clasifica en dos biotipos, dependiendo de su comportamiento en cultivos celulares citopáticos (CP) y no citopáticos (NCP). Adicionalmente, dado que la ARN polimerasa del VDVB no posee la capacidad de corrección, cabe esperar una alta tasa de mutaciones y de sustituciones, por lo que se presenta una amplia variedad genética, permitiéndole evadir la respuesta inmune del huésped, dificultando los programas de control y de erradicación (Walz *et al.* 2020; González-Bautista *et al.* 2021).

La DVB presenta manifestaciones clínicas y lesiones variadas, dependiendo el momento en el que se presenta la infección, el genotipo y el biotipo del virus, siendo las más importantes las formas reproductivas, debido al impacto económico, efecto inmunosupresor y, en consecuencia, la susceptibilidad a infecciones secundarias en los animales (Campbell, 2004).

Entre las metodologías diagnósticas para determinar la presencia de la enfermedad en una región, se tienen la detección de antígeno viral y anticuerpos o genoma viral (Houe *et al.* 2006). Los métodos serológicos son un componente clave durante la fase de vigilancia de los programas de control del VDVB y permiten monitorear la seroprevalencia, a nivel del hato y regional. La detección de antígeno viral permite identificar la prevalencia de la enfermedad y la posible introducción de animales PI para su posterior eliminación (Wernike & Beer, 2022). La detección de anticuerpos específicos se realiza mediante pruebas serológicas, especialmente, la seroneutralización, que ha mostrado tener una alta especificidad y sensibilidad; sin embargo, al ser bastante laboriosa se prefiere la utilización del ELISA indirecto y competitivo (Ridpath *et al.* 2010).

Cuando se desea medir la distribución del VDVB en una población bovina, se debe tener presente la vacunación y la presencia de los animales PI. En los animales vacunados, el diagnóstico serológico permite medir cuál es la respuesta inmunológica hacia las vacunas, lo que determina si hay o no una respuesta inmune de protección (Toker & Yeşilbaş, 2021). En el caso de infecciones persistentes (PI), la detección directa del virus en animales portadores es el principal método de diagnóstico, toda vez que estos animales

pueden ser negativos a las pruebas serológicas (Tomazi Fritzen *et al.* 2024).

Para establecer la seroprevalencia en poblaciones no vacunadas, se determina la proporción de seropositivos bovinos de una muestra aleatoria y representativa de dicha población, usualmente, alrededor del 10 %. Es importante tener presente que los bovinos mayores de seis meses, que no hayan sido vacunados contra el VDVB y que tengan anticuerpos contra este virus, son animales que sufrieron infección natural y que poseen inmunidad contra la enfermedad, la cual, es superior a la que puede ser inducida por cualquier vacuna, siendo, además, libres de VDVB, con un 99 % de seguridad (Lanyon *et al.* 2014).

A nivel mundial, se han detectado diferentes niveles de seroprevalencia de VDVB en poblaciones bovinas de varios continentes; por ejemplo, en Irlanda, en un programa de erradicación, que inició en 2013, se logró reducir la seropositividad de 11,27 %, en los rebaños de cría y el 0,78 %, de los terneros, examinados ese año, hasta 0,56 %, en los rebaños y 0,03 %, en los terneros, en 2020 (Casey *et al.* 2022). En el continente africano, en el Noroeste de Etiopía, se hizo un estudio de seroprevalencia en hatos bovinos lecheros, encontrando un promedio de seropositividad de 26,84 % (Demil *et al.* 2021).

Respecto a la prevalencia, en Estonia, se analizaron 120 hatos bovinos lecheros, entre 2019 y 2020, encontrando una prevalencia promedio del 27,0 %, de bovinos positivos para el virus VDVB (Móttus *et al.* 2021). En otro estudio realizado en dos regiones productoras de ganado de leche en Chile (Alocilla & Monti, 2022), se encontró, para el VDVB, una prevalencia real del rebaño, de un 77 % y una prevalencia individual real de infección activa, de un 3,5 % (González-Bautista *et al.* 2021).

En Colombia, se ha reportado la presencia de animales PI en diferentes regiones del país, con una prevalencia que oscila entre el 1 y 10 % de los animales positivos, los cuales, son los responsables de mantener la enfermedad en una población determinada (Quintero *et al.* 2019). Igualmente, se han realizado diferentes estudios de seroprevalencia, que comprueban la presencia del virus (Mogollón *et al.* 1990; Jaime *et al.* 1996; Vera *et al.* 2003; González-Bautista *et al.* 2021; Martínez-Rodríguez *et al.* 2021; Rúa Giraldo *et al.* 2023). En la región oriental existen evidencias serológicas de la presencia del virus. Un estudio realizado en el departamento de Santander reportó una seroprevalencia de 29,7 %, demostrando la importancia de la enfermedad en la zona (Vargas-Niño *et al.* 2018); sin embargo, no hay estudios sistemáticos que indiquen la seroprevalencia de la región nororiental y, en especial, en la provincia de Pamplona.

La región de Pamplona es una zona de bosque altoandino, con una fuerte vocación lechera, donde predominan las razas lecheras y de doble propósito y posee una población bovina estimada de 3.322 animales. El objetivo del presente trabajo fue determinar la seroprevalencia de una población bovina de Pamplona y determinar posibles factores de riesgo, con relación al manejo propio de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El estudio se realizó en la provincia de Pamplona, ubicada en las estribaciones de la cordillera oriental, a 2.200 m s.n.m.; el clima es seco y la temperatura varía de 8 a 18 °C, con un régimen de lluvias, que va de mayo a agosto. El ganado predominante en la región corresponde a razas criollas y sus cruces con razas doble propósito, especialmente, el ganado normando.

Tipo de estudio y selección de predios y animales. Se realizó un estudio descriptivo y de corte transversal. Teniendo en cuenta que no se tenían antecedentes, ni estudios formales de la enfermedad para la región, se seleccionó el tamaño de muestra usando, como referencia, un nivel de confianza del 95 %, una prevalencia estimada del 50 %, un error de estimación del 5 %, una probabilidad a favor del 0,5 y una probabilidad en contra de 0,5 %, así como el último censo agropecuario, que incluía, aproximadamente, 3.322 animales.

La población mínima fue obtenida tomando en cuenta los factores, tanto logísticos como estadísticos; en estos últimos, se tuvo en cuenta, principalmente, la relevancia del tamaño de la muestra, con relación al efecto y a la significancia estadística de la misma (Hulley *et al.* 2001). Los criterios de inclusión fueron bovinos hembra en edad reproductiva (mayores de dos años), no vacunados.

El promedio de animales por predio para el municipio no supera los 20 bovinos, por lo tanto, se muestrearon todos los animales del predio, que cumplían con los criterios de inclusión. En aquellos casos donde los predios tenían más de 20 animales, se muestrearon un mínimo de 10.

Toma de muestras. Se recolectaron 10 ml de sangre en tubos tipo vacutainer® sin anticoagulante. Para obtener el suero, estos fueron llevados al laboratorio de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Pamplona, donde se centrifugaron a 2.500 rpm, por 15 minutos, para la extracción del suero, los cuales, se conservaron en crioviales, a -20 °C, hasta su procesamiento. Se obtuvieron 324 muestras de suero de bovinos no vacunados de 82 predios, distribuidos en municipios y en veredas de la provincia de Pamplona.

Desarrollo del ELISA contra VDVB. Las pruebas para detectar anticuerpos específicos contra VDVB fueron realizadas utilizando un inmunoensayo enzimático comercial de la casa IDEXX®, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La lectura, la interpretación de resultados de ELISA y el análisis para los informes, así como la gestión de los datos sanitarios, se realizaron utilizando el software xChekPlus. Algunos de los animales no presentaron pruebas concluyentes, de acuerdo con lo reportado por el fabricante, por lo que, en este caso, se repitió la toma de muestra y análisis.

Cuestionario. Se hicieron dos encuestas: A) Encuesta a los productores, con el objeto de determinar las características de los sistemas de producción del municipio, basado en datos generales de las explotaciones, relacionados con 1) manejo, 2) alimentación, 3) uso de inseminación artificial o monta natural, 4) contacto con

animales de otras explotaciones, 5) número y censo de animales, 6) sistema de explotación, raza, tipo de explotación, 7) Presencia de abortos y 8) así como datos de índices reproductivos. B) Encuesta a pie de animal, con el objeto de recolectar datos específicos acerca de: a) edad, b) número de partos y c) presencia de abortos e índices reproductivos específicos. Los datos obtenidos fueron utilizados para hacer correlación con los hallazgos, a nivel seroepidemiológico, con el fin de determinar factores de riesgo relacionados.

Análisis de los datos. Todos los resultados se analizaron mediante estadística descriptiva. Para los análisis estadísticos se utilizaron, principalmente, el coeficiente de contingencia de Pearson, el cual, aplica la estadística Ji cuadrado, para determinar posibles asociaciones y los coeficientes de correlación, mediante tablas de contingencia de Pearson. Para la obtención de los resultados se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 19.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo constituye el primer estudio sistemático realizado en la zona lechera de Pamplona, donde se utilizó la técnica de ELISA indirecto, para determinar la seroprevalencia del VDVB. De las 324 muestras de suero analizadas, 49, procedieron de 18 predios y fueron positivas a la prueba de ELISA indirecta, lo que correspondió a una seroprevalencia individual de 15,12 % (49/324) (95 % CI 11.61 - 19.45) y de 21,95 % (18/82) (95 % CI 14,28 – 32,14), para predios. Este valor se encuentra por debajo de los reportados para diferentes partes de país.

Vargas-Niño *et al.* (2018) reportaron una seroprevalencia de 29,7 % para el departamento de Santander, encontrando una homogeneidad en todos los municipios estudiados. En un estudio realizado con 96 animales en la sabana de Bogotá, se encontró una seropositividad del 56 %, sin síntomas clínicos evidentes, como en los animales analizados en el presente estudio (Parra *et al.* 1994). Martínez-Rodríguez *et al.* (2021) obtuvieron una seroprevalencia del 65 %, para animales y 100 %, para predios, en Valledupar, encontrando variaciones significativas relacionadas con la edad. Adicionalmente, se han determinado seroprevalencias en Boyacá, del 62,7 % (Pulido *et al.* 2009) y en el Valle del Cesar, se determinó una prevalencia del 46 % (Peña, 2011). Estas marcadas diferencias con las prevalencias encontradas en Pamplona se pueden explicar por la densidad y la compacidad del rebaño, la transferencia de animales entre explotaciones, la presencia de animales PI y a las condiciones medioambientales (Uddin *et al.* 2017; Hashemi *et al.* 2022).

Las bajas prevalencias encontradas en el presente trabajo pueden estar asociadas a una baja circulación del virus en la región, debido al tipo de explotaciones, donde predominan los hatos pequeños, con un manejo tradicional con baja tecnificación y con limitada introducción de animales nuevos. Se destaca la presencia de toros propios en los predios y la utilización de la monta natural; sin embargo, no todos los predios poseen machos, por lo que el préstamo de estos entre explotaciones es una práctica común.

Respecto a la encuesta de caracterización de los predios, se lograron obtener datos de 62 cuestionarios completos, con los cuales, se pudo obtener información acerca de la caracterización de las explotaciones. Así, se pudo determinar que, 93,5 % (58/62) de los predios tenían menos de 20 animales, solo en 6,4 % (4/62) predios se reportaron abortos esporádicos y no de manera reciente; no se llevan registros formales productivos ni reproductivos; la monta natural es el principal sistema utilizado para la reproducción; solo el 5,3 % (3/56) de los predios estudiados utilizaban la inseminación artificial, pero, igualmente, por razones culturales, utilizaban lo que se conoce como toros “repasadores”, que montaban a las hembras recién inseminadas, con el fin de asegurar la monta. Esto no permitió realizar una separación absoluta entre el uso de la monta natural y la inseminación artificial.

No se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre la presencia de animales seropositivos y la presencia de abortos, ni con la raza o la edad y el número de partos ($p > 0,05$). Finalmente, se pudo determinar que en el 66 % de los predios en donde se presentaron casos positivos (12/18), prestaban los machos para la monta o las hembras tenían contacto con hembras de otras explotaciones. Los predios en donde se realizaba esta práctica tuvieron seis veces más riesgo de ser positivos a DVB frente a los que no, de acuerdo con la OR encontrada, indicando una relación bastante alta, mientras que el valor de X^2 fue de 0,0017 ($p < 0,05$), por lo que constituyó un factor de riesgo y, además, evidenció una relación con la presencia de los animales seropositivos, así como la posibilidad de contacto con animales de otras explotaciones.

Aunque en este trabajo no se realizó una determinación sistemática de títulos serológicos en machos, el que se compartan los machos entre fincas fue un factor de riesgo reconocido. Esto puede estar relacionado con la eliminación del virus, toda vez que se encontró una relación directa entre el uso de los machos compartidos y la mayor presencia de positividad serológica en los predios. La eliminación del virus por parte de los machos ha sido demostrada, toda vez que hay evidencia que el virus puede infectar los tejidos reproductivos con consecuencias reconocidas sobre la fertilidad, debido a su eliminación por el semen, relacionado con la replicación en las vesículas seminales y la glándula prostática, tanto en animales con infección aguda como en animales PI (Rikula *et al.* 2008). La infección puede persistir durante varias semanas en los testículos, convirtiendo al semen en una fuente potencial de infección (Givens *et al.* 2003).

Si bien la seroprevalencia indica la difusión y la exposición a un determinado microorganismo en una región, el riesgo epidemiológico que implican animales seropositivos o seronegativos diferirá, según el virus que se considere. Un animal seropositivo al VDVB señala a un potencial portador del virus y, por otra parte, un bovino seronegativo al VDVB podría indicar la presencia de un portador persistentemente infectado con el virus. Ambas situaciones, serológicamente distintas, tendrían similar significancia epidemiológica en la diseminación de la DVB (Su *et al.* 2023). Por esta, es necesario determinar la presencia de animales PI, toda vez que estos constituyen una fuente importante del mantenimiento de la infección.

En el presente estudio se encontraron hatos pequeños con deficiencias en el manejo y la falta de registros, lo que no permitió determinar índices reproductivos, que indicaran el efecto económico o sanitario. Es importante señalar que algunos estudios revelan una disminución en la fertilidad en vacas, aparentemente sanas, que tenían anticuerpos a DVB detectables, antígeno de DVB o ambos (Kale *et al.* 2011). La infección puede no causar signos clínicos obvios o una amplia gama de signos en asociación con otros complejos de enfermedades, lo que dificulta la evaluación de su impacto económico y, probablemente, se subestime (Laureyns *et al.* 2010).

Debido a que el estudio se realizó sobre una población no vacunada, la presencia de anticuerpos indica una infección natural y la circulación del virus en la población bovina de la provincia de Pamplona y, pese a la baja prevalencia, no se descarta la posible presencia de PI, toda vez, que estos animales constituyen la principal fuente de infección, por lo que se recomienda complementar los estudios serológicos con otros, que permitan identificar este tipo de animales.

Como conclusión, la seropositividad encontrada en el estudio indica el contacto de la población con el VDVB en la población bovina de la provincia de Pamplona, donde puede estar circulando de manera inaparente, sin la presentación de signos clínicos evidentes.

A pesar de encontrar prevalencias para DVB en la región Nortesantandereana, inferiores a las encontradas a nivel nacional, se puede dilucidar que es una enfermedad relativamente común en dicha región, máxime que es una prevalencia encontrada en hatos que no vacunan, por lo que se convierte en factor de riesgo para propagarse a regiones vecinas del Nororiente colombiano, a la vez, que puede incrementar las pérdidas económicas, por el impacto negativo en los índices reproductivos y la incidencia de abortos, relacionados con dicha infección. Se hace necesario implementar medidas de control, buscando reducir la incidencia de la enfermedad, como adopción de programas de vacunación, prácticas de manejo sanitario adecuadas, programas de reproducción basados exclusivamente en inseminación artificial y continuo monitoreo serológico del ganado bovino.

El préstamo de machos entre las diferentes explotaciones y las condiciones de manejo presentan relaciones estadísticamente significativas en los predios, donde se determinaron la presencia de animales seropositivos al VDVB.

Se requieren estudios sistemáticos para determinar la presencia de animales PI, como fuente principal de la infección, sobre todo, en aquellas explotaciones donde están presente los animales seropositivos.

Agradecimientos. A la Asociación de lecheros de Pamplona (ASOLEP) y el Semillero de Investigaciones en Enfermedades Infecciosas (SIDEIN) del programa de Medicina Veterinaria de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Pamplona. **Financiación:** Este trabajo fue financiado por la vicerrectoría

de investigaciones de la Universidad de Pamplona, dentro de la convocatoria interna de proyectos de investigación. Conflicto de intereses: Los autores declaran que ninguno tiene conflicto de intereses en el desarrollo del presente trabajo. Contribucion de autores: Todos los autores participaron en la conceptualización, la metodología, el trabajo de campo, la escritura del documento, la validación y la revisión crítica del documento y aprobaron la versión final.

REFERENCIAS

- ALOCILLA, O.; MONTI, G. 2022. Bovine viral diarrhoea virus within and herd prevalence on pasture-based dairy systems, in southern Chile dairy farms. *Preventive Veterinary Medicine*. 198:105533. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105533>
- CAMPBELL, J.R. 2004. Effect of bovine viral diarrhoea virus in the feedlot. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 20(1):39-50. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2003.11.003>
- CASEY, M.; TRATALOS, J.; GRAHAM, D.; GUELZENBU, M.; BARRET, D.; O'GRADY, L.; MADDEN, J.; MCGRATH, G.; MORE, S. 2022. Risk factors for detection of bovine viral diarrhoea virus in low – risk herds during the latter stages of Ireland's eradication programme. *Preventive Veterinary Medicine*. 201:105607. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2022.105607>
- DEMIL, E.; FENTIE, T.; VIDAL, G.; JACKSON, W.; LANE, J.; MEKONNEN, S.; SMITH, W. 2021. Prevalence of bovine viral diarrhoea virus antibodies and risk factors in dairy cattle in Gondar city, Northwest Ethiopia. *Preventive Veterinary Medicine*. 191:105363. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105363>
- GIVENS, M.D.; HEATH, A.M.; CARSON, R.L.; BROCK, K.V.; EDENS, M.S.; WENZEL, J.G.; STRINGFELLOW, D.A. 2003. Analytical sensitivity of assays used for detection of bovine viral diarrhoea virus in semen samples from the Southeastern United States. *Veterinary Microbiology*. 96(2):145-55. [https://doi.org/10.1016/s0378-1135\(03\)00213-x](https://doi.org/10.1016/s0378-1135(03)00213-x)
- GONZÁLEZ-BAUTISTA, E.D.; BULLA-CASTAÑEDA, D.M.; LÓPEZ-BUITRAGO, H.A.; DÍAZ-ANAYA, A.M.; LANCHEROS-BUITRAGO, D.J.; GARCÍA-CORREDOR, D.J.; TOBÓN TORREGLOSA, J.C.; ORTIZ ORTEGA, D.; PULIDO-MEDELLÍN, M.O. 2021. Seroprevalence of bovine viral diarrhoea virus (BVDV) in cattle from Sotaquirá, Colombia. *Veterinary and Animal Science*. 14:1-5. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100202>
- HASHEMI, M.; BAKHSHESH, M.; MANAVIAN, M. 2022. Bovine viral diarrhoea virus and bovine herpes virus-1 in dairy cattle herds in Fars province, Southern Iran: seroprevalence and evaluation of risk factors. *Archives of Razi Institute*. 77(5):1621-1629. <https://doi.org/10.22092/ARI.2022.356904.1941>
- HOU, H.; LINDBERG, A.; MOENNIG, V. 2006. Test strategies in bovine viral diarrhoea virus control and eradication campaigns in Europe. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 18(5):427-436. <https://doi.org/10.1177/104063870601800501>
- HULLEY, S.; CUMMINGS, S.; BROWNER, W.; GRADY, D.; HEARST, N.; NEWMAN, T. 2001. *Designing Clinical Research: an Epidemiologic Approach*. Segunda edición. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia. 352 p.
- JAIME, J.; VILLAMIL, L.; VERA, V.; RAMÍREZ, G. 1996. Infección persistente con el virus de la diarrea viral bovina (VDVB) en hatos lecheros de la Sabana de Bogotá. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 49(1):46-53.
- KALE, M.; YAVRU, S.; ATA A.; KOCAMÜFTÜOĞLU, M.; YAPLCL, O.; HASLRCLOGLU, S. 2011. Bovine viral diarrhoea virus (BVDV) infection in relation to fertility in heifers. *Journal of Veterinary Medical Science*. 73(3):331-336. <https://doi.org/10.1292/jvms.10-0254>
- LANYON, S.R.; HILL, F.I.; REICHEL, M.P.; BROWNLIE, J. 2014. Bovine viral diarrhoea: pathogenesis and diagnosis. *The Veterinary Journal*. 199(2):201-209. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.07.024>
- LAUREYNS, J.; RIBBENS, S.; DE KRUIF, A. 2010. Control of bovine virus diarrhoea at the herd level: reducing the risk of false negatives in the detection of persistently infected cattle. *The Veterinary Journal*. 184(1):21-26. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.11.014>
- MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, L.C.; GUZMÁN-BARRAGÁN, B.L.; ORDOÑEZ, D.; TAFUR-GÓMEZ, G.A. 2021. Cattle seroprevalence and risk factors associated with bovine viral diarrhoea in the northeastern of Colombia. *Tropical animal health and production*. 53(3):377. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02774-4>
- MOENNIG, V.; BECHER, P. 2018. Control of bovine viral diarrhoea. *Pathogens*. 7(1):29. <https://doi.org/10.3390/pathogens7010029>
- MOGOLLÓN, J.D.; GONZÁLEZ, H.; CORTÉS, E. 1990. Descripción de un caso de diarrea viral bovina (DVB) en La Sabana de Bogotá. *Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá (Colombia)*. *Revista ICA*. 25(1):26-33.
- MÓTUS, K.; RILANTO, T.; VIIDU, D.; ORRO, T.; VILTROP, A. 2021. Seroprevalence of selected endemic infectious diseases in large-scale Estonian dairy herds and their associations with cow longevity and culling rates. *Preventive Veterinary Medicine*. 192:105389. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105389>

- PARRA, J.; VERA, V.; VILLAMIL, L.; RAMÍREZ, G. 1994. Seroepidemiología de la diarrea viral bovina en explotaciones lecheras de la sabana de Bogotá. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 42(1):29-44.
- PEÑA C. 2011. Estudio serológico de diarrea viral bovina en la microrregión del valle del Cesar. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal – AICA*. 1:309-312.
- PULIDO, M.O.; ANDRADE, R.J.; SANABRIA, O.; SALAMANCA, A. 2009. Dinámica poblacional de diarrea viral bovina en fincas lecheras del municipio de Sotaquirá Boyacá. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 22(3):416-429
- QUINTERO, J.; CORREDOR, A.; SALAS, S.; CAMARGO, H.; SÁNCHEZ, A.; TOBÓN, J.; ORTIZ, D.; SCHACHTEBECK, E.; GUTIÉRREZ, M. 2019. High prevalence of persistently infected animals from bovine viral diarrhoea in Colombian cattle. *BMC Veterinary Research*. 15:1-8. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1769-5>
- RIDPATH, J.F.; FULTON, R.W.; KIRKLAND, P.D.; NEILL, J.D. 2010. Prevalence and antigenic differences observed between Bovine viral diarrhoea virus subgenotypes isolated from cattle in Australia and feedlots in the Southwestern United States. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 22(2):184-91. <https://doi.org/10.1177/104063871002200203>
- RIKULA, U.; NUOTIO, L.; LAAMANEN, U.I.; SIHVONEN, L. 2008. Transmission of bovine viral diarrhoea virus through the semen of acutely infected bulls under field conditions. *Veterinary Record*. 162(3):79-81. <https://doi.org/10.1136/vr.162.3.79>
- RÚA GIRALDO, C.C.; LÓPEZ HERRERA, A.; RUIZ-CORTÉS, T. 2023. Bovine leukosis virus, bovine viral diarrhoea, and bovine neosporosis seroprevalence in specialized dairy herds in Antioquia-Colombia. *Tropical Animal Health and Production*. 55(5):294. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03685-2>
- SCHARNBÖCK, B.; ROCH, F.F.; RICHTER, V.; FUNKE, C.; FIRTH, C.L.; OBRITZHAUSER, W.; BAUMGARTNER, W.; KÄSBOHRER, A.; PINIOR, B. 2018. A meta-analysis of bovine viral diarrhoea virus (BVDV) prevalences in the global cattle population. *Scientific Reports*. 8(1):14420. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32831-2>
- SU, N.; WANG, Q.; LIU, H.Y.; LI, L.M.; TIAN, T.; YIN, J.Y.; ZHENG, W.; MA, Q.X.; WANG, T.T.; LI, T.; YANG, T.L.; LI, J.M.; DIAO, N.C.; SHI, K.; DU, R. 2023. Prevalence of bovine viral diarrhoea virus in cattle between 2010 and 2021: A global systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Veterinary Science*. 9:1086180. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1086180>
- TOKER, E.B.; YEŞILBAĞ, K. 2021. Molecular characterization and comparison of diagnostic methods for bovine respiratory viruses (BPIV-3, BRSV, BVDV, and BoHV-1) in field samples in northwestern Turkey. *Tropical animal health and production*. 53(1):79. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02489-y>
- TOMAZI FRITZEN, J.T.; ZAPAROLI ZUCOLOTO, N.; LORENZETTI, E.; FERNANDES ALFIERI, A.; ALCINDO ALFIERI, A. 2024. Outbreak of persistently infected heifer calves with bovine viral diarrhoea virus subgenotypes 1b and 1d in a BVDV-vaccinated open dairy herd. *Acta Tropica*. 254:107198. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2024.107198>
- UDDIN, M.A.; AHASAN, A.S.M.L.; ISLAM, K.; ISLAM, M.Z.; MAHMOOD, A.; ISLAM, A.; ISLAM, K.M.F.; AHAD, A. 2017. Seroprevalence of bovine viral diarrhoea virus in crossbred dairy cattle in Bangladesh. *Veterinary World*. 10(8):906-913. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.906-913>
- VARGAS-NIÑO, A.; VARGAS, R.; PARRA-MARTÍN, J.; VÁSQUEZ, M.; GÓNGORA, A.; MOGOLLÓN-WALTERO, E. 2018. Estado serológico a IBR, DVB, Leucosis, *Leptospira* y *Neospora caninum* en hembras bovinas del Departamento de Santander, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*. 23(2):6671-6680. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1341>
- VERA, V.; RAMIREZ, G.; VILLAMIL, L.; JAIME, J. 2003. *Biología molecular, epidemiología y control de IBR y BVDV*. ed. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 152p.
- WALZ, P.H.; GROOMS, D.L.; PASSLER, T.; RIDPATH, J.F.; TREMBLAY, R.; STEP, D.L.; CALLAN, R.J.; GIVENS, M.D. 2010. Control of bovine viral diarrhoea virus in ruminants. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 24(3):476-486. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2010.0502.x>
- WALZ, P.H.; CHAMORRO, M.F.; FALKENBERG, S.M.; PASSLER, T.; VAN DER MEER, F.; WOOLUMS, A.R. 2020. Bovine viral diarrhoea virus: An updated American College of Veterinary Internal Medicine consensus statement with focus on virus biology, hosts, immunosuppression, and vaccination. *Journal of veterinary internal medicine*. 34(5):1690-1706. <https://doi.org/10.1111/jvim.15816>
- WERNIKER, K.; BEERM. 2022. International proficiency trial for bovine viral diarrhoea virus (BVDV) antibody detection: limitations of milk serology. *BMC Veterinary Research*. 18(1):168-178. <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03265-w>

The effect of ballot design for strawberry yogurt analysis using CATA (check-all-that-apply)

Efecto del diseño de la ficha para el análisis de yogurt bebible de fresa por el método CATA (check-all-that-apply)

Oscar Jordán-Suárez^{1*} ; Miriam Ramos-Ramírez² ; Pilar Minaya-Agüero^{1,3} ; Matilde Tenorio-Domínguez⁴ ;
Tarsila Tuesta⁵ ; Reynaldo Justino Silva-Paz⁶ 

¹Universidad Le Cordon Bleu, Facultad de Ciencias de los Alimentos. Lima – Perú; e-mail: oscar.jordan@ulcb.edu.pe

²Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias. Lima – Perú; e-mail: meramos@lamolina.edu.pe

³Universidad Nacional Federico Villareal, Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura. Lima – Perú; e-mail: carmen.minaya@ulcb.edu.pe

⁴Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos. Ica – Perú; e-mail: matilde.tenorio@unica.edu.pe

⁵Universidad 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

⁶Universidad Nacional de Barranca, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Lima – Perú; e-mail: rsilva@unab.edu.pe

*corresponding author: oscar.jordan@ulcb.edu.pe

How to cite: Jordán-Suárez, O.; Ramos-Ramírez, M.; Minaya-Agüero, P.; Tenorio-Domínguez, M.; Tuesta, T.; Silva-Paz, R.J. 2024. The effect of ballot design for strawberry yogurt analysis using CATA (check-all-that-apply). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2474. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2474>

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

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

Received: June 13, 2023

Accepted: June 4, 2024

Edited by: Violeta Corona

ABSTRACT

Sensory evaluation of food is a constantly evolving field, where recently developed analysis methods are on their way to be consolidated. Check-All-That-Apply (CATA) is a rapid method used to describe sensory characteristics of a product through a personalized selection of terms; however, the format in which these terms are presented is not standardized. This study aimed to assess the effect of the design of four CATA ballots for the analysis of strawberry drinkable yogurt. Fifteen descriptive terms were established with the participation of 97 consumers, with 6 terms relating to texture, 5 to taste, and 2 to both appearance and odor. The four ballot models: a) columns, b) vertical list, c) radial distribution, and d) random distribution, were applied to characterize the same commercial brand of yogurt using 150 consumers for each model. According to Cochran's Q test, significant differences were found for the pink color, acid/sour taste, strawberry odor, creaminess, viscosity, milk odor, and artificial flavor. Among the four ballot models, model C shows less variability in selecting terms. Furthermore, there were found differences among the yogurt samples for physicochemical properties (p -value<0.05) related to instrumental color, pH, titratable acidity, and soluble solids, except for consistency index. Finally, these findings highlight that the ballot design affects consumer responses associated with

the visual perception process resulting from the design, as well as the physicochemical characteristics of yogurt derived from the technological process experienced during manufacturing and commercialization.

Keywords: CATA; Quality control; Qualitative descriptive analysis; Sensory analysis ballot; Sensory attributes.

RESUMEN

La evaluación sensorial de alimentos se encuentra en constante evolución, donde los métodos de análisis recientemente desarrollados buscan consolidarse. Check-All-That-Apply (CATA) es un método rápido empleado para describir características sensoriales de un producto mediante una selección personalizada de términos. Sin embargo, el formato en que éstos se presentan no está estandarizado. Este estudio evaluó el efecto del diseño de cuatro fichas CATA para el análisis de yogurt bebible de fresa. Se generaron 15 descriptores con la participación de 97 consumidores; de estos descriptores 6 se relacionaron con la textura, 5 con el sabor y 2 tanto con apariencia como con el olor. Se diseñaron 4 modelos de fichas: a) columnas, b) lista vertical, c) distribución radial y d) distribución aleatoria, que fueron aplicados para caracterizar una misma marca de yogurt comercial, empleando 150 consumidores

por cada modelo. La prueba Q de Cochran evidenció diferencias significativas para el color rosado, ácido/agrio, olor a fresa, cremoso, viscoso, olor a leche, y sabor artificial. De las cuatro fichas propuestas, el modelo C mostró menor variabilidad en la selección de términos. Asimismo, los lotes de yogurt presentaron propiedades fisicoquímicas heterogéneas (p -valor <0.05) en relación con el color instrumental, pH, acidez titulable y sólidos solubles con excepción del índice de consistencia. Finalmente, estos hallazgos evidencian que el diseño de la ficha ejerce un efecto significativo en la respuesta de los consumidores asociado al proceso de percepción visual originado por el diseño, así como a características fisicoquímicas inherentes al producto como consecuencia del procesamiento tecnológico y comercialización.

Palabras claves: Análisis descriptivo cualitativo; Atributos sensoriales; Control de calidad; Evaluación sensorial; Ficha sensorial.

INTRODUCTION

Yogurt is a fermented milk originated in the Middle East that is currently produced on an industrial scale and has positioned itself as one of the most massively consumed foods worldwide (Aryana & Olson, 2017; Hashemi Gahrue *et al.* 2015). This food has been widely used as a vehicle to satisfy the functionalities required by consumers, which has resulted in numerous sensory studies (Janiaski *et al.* 2016; Miele *et al.* 2017; Andrade Oliveira *et al.* 2021).

There is a strong interest in the development of rapid sensory methods to increase the efficiency of the data collection process while maintaining the confidence of the information obtained (Meyners & Castura, 2014). In the last decade, multiple rapid sensory profiling methods have been developed as alternatives to traditional descriptive analysis (Fleming *et al.* 2015); such methodologies are shorter, flexible and can be applied to consumers without trained evaluators (Belusso *et al.* 2016). These methods include flash profiling, sorting, polarized sensory positioning (PSP), projective mapping (Napping[®]), and check-all-that-apply or CATA (Fleming *et al.* 2015; Moussaoui & Varela, 2010).

Check-All-That-Apply (CATA) is a qualitative descriptive analysis method, consisting of multiple-choice questions presented to respondents as a list of words or phrases, from which they must select all the options they believe describe the product under evaluation (Ares & Jaeger, 2015a). Terms may include sensory attributes, hedonic responses, emotional responses, purchase intentions, potential applications, product positioning, among other qualities that the consumer might associate with the sample (Meyners & Castura, 2014).

The CATA terms used can be adopted from previous studies on the product to be evaluated, or they can be generated in an unpublished form. In the latter case, they are obtained from either (1) a trained panel, (2) the opinion of a small number of consumers through "free listing", or (3) generated during focus groups (Fleming *et al.* 2015). Delarue *et al.* (2015) suggest that in CATA studies the number of alternatives usually varies between 10 and 40. However,

the use of a short list causes the percentage of selection to increase, while longer lists cause it to decrease. Thus, the results in practice suggest an ideal number of terms in the range of 10 to 28 (Jaeger *et al.* 2015), covering a wide range of sensory attributes (appearance, aroma, flavor/taste, texture, aftertaste/mouthfeel) (Ares & Jaeger, 2015b; Ares *et al.* 2017).

The CATA terms selected should be organized in such a way as to reduce the error by location. Ares & Jaeger (2015a) suggest that the spatial distribution of the terms plays a determining role in the selection process, since the terms located at the beginning are more likely to be selected compared to those located at the end. In the studies conducted using CATA, ballots with a format of two or three columns made up of the terms distributed equally are regularly used. The order of the terms responds to a spatial location on the ballot, and the probability of being chosen is associated with preferences of psychological origin due to the position in which they are found (Blom-Hansen *et al.* 2016).

Considering that the visual layout of the text on the ballot can influence consumers' responses, it was proposed to evaluate the effect of four CATA ballot designs for the analysis of commercial strawberry yogurt.

MATERIALS AND METHODS

Sample. For the generation of descriptors, three of the most representative brands of commercial strawberry yogurt in 1-liter presentations, purchased in supermarkets in the city of Lima, Peru, were used. Brand 1: partially skimmed with strawberry pulp; brand 2: partially skimmed with strawberry pulp and probiotics; brand 3: partially skimmed with artificial strawberry flavor. Subsequently, to evaluate the effect of four ballot models, named as A, B, C and D (Figure 1) the most positioned brand in the market was used. Brand 1: composed of reconstituted milk powder, reconstituted concentrated milk, white sugar, sweetened strawberry pulp, raw milk, hydroxypropyl distarch phosphate (INS 1442), pectin (INS 440), skim milk powder, strawberry and molasses flavorings, carmine coloring (INS 120), zinc source gelatin: zinc sulfate, vitamins A and D, and lactic cultures), according to the ingredient declaration.

CATA evaluation

Generation of descriptors. A total of 97 regular consumers from the university environment were recruited, comprising 41% male and 59% female, aged between 19 and 63 years. Invitations were sent by direct mail and electronic messaging. Twenty-five milliliters of yogurt were served in 2 oz thermal plastic cups at $7 \pm 1^\circ\text{C}$ accompanied by table water served in 7 oz plastic cups for initial mouthwash and between samples. Prior to analysis, consumers were given instructions on how to taste the samples and generate terms describing the sensory characteristics of the product through a free listing task based on the order of appearing attributes as follows Appearance → Odor → Taste → Texture → Residual effect, adapted from Dos Santos *et al.* (2015).

HEADING

Code: SOLE

First name and last name: _____

Date: _____

Gender: M / F

Age: _____

Taste the yogurt indicated below, and mark the terms you consider appropriate to describe it:

CONTENTS

Model A

<input type="checkbox"/> Pink color	<input type="checkbox"/> Strawberry odor	<input type="checkbox"/> Thick
<input type="checkbox"/> Milky odor	<input type="checkbox"/> Viscous	<input type="checkbox"/> Artificial flavor
<input type="checkbox"/> Dense	<input type="checkbox"/> Milk flavor	<input type="checkbox"/> Fluid/watery
<input type="checkbox"/> Sweet	<input type="checkbox"/> Creamy	<input type="checkbox"/> Strawberry flavor
<input type="checkbox"/> Acid/sour	<input type="checkbox"/> With pieces of fruit	<input type="checkbox"/> Homogeneous

Model B

- Dense
- With pieces of fruit
- Pink color
- Thick
- Milk flavor
- Strawberry flavor
- Acid/sour
- Sweet
- Strawberry odor
- Viscous
- Milky odor
- Fluid/watery
- Artificial flavor
- Homogeneous

Model C

Model D

Remarks

THANKS FOR YOUR PARTICIPATION

Figure 1. General model of the four analysis ballots: A, B, C and D. Heading: General data and instruction, Contents: Alternative models according to the case, Closure: Remarks and acknowledgement.

Design of the CATA ballot. With the descriptors generated (693) by the consumers, a frequency matrix of the number of observations of each one was elaborated. The frequency of use of each term was determined by counting the number of times consumers used that term to describe the samples. In the count, terms not appropriate to sensory language were omitted, while similar or synonymous valid terms were grouped together to avoid confusion during the evaluation. Also, words and phrases were adapted to facilitate understanding (Symoneaux *et al.* 2012). This work was conducted by an internal panel of six members with training in sensory evaluation who selected the 15 most frequently mentioned

descriptors to obtain good quality data (Jaeger *et al.* 2018) based on a ranking of mentions. These 15 descriptors were organized into four ballot models (Figure 1). Model A: Terms equally distributed in three columns, conventional structure coming from the literature; Model B: Vertical list, to cause the dilution effect of the terms located at the end; Model C: Radial distribution, based on the structure of chromatic circles or color palettes, integrating the terms to facilitate their linkage in sensory profiling; Model D: Random spatial distribution, based on the structure of a word cloud to generate visual dispersion.

CATA sensory analysis. This analysis was performed with the same brand of strawberry drinkable yogurt for the four ballots, with the participation of 600 regular consumers (54% male, 46% female, aged 18 to 69 years) divided into four groups of 150 for each ballot model. The groups performed the delayed analysis in environments adapted for sensory evaluation (Lichters *et al.* 2021). Prior to the analysis, they were instructed to mark with a check or blades all the characteristics perceived in the sample (25 ml), which were served monadically at 7 - 10°C in 3 oz plastic cups without coding.

For data processing, the evaluation ballots were decoded in a matrix as described by Delarue *et al.* (2015), using a vertical format, generating a cell for the combination of consumer and product for each CATA term, which was filled with 1 or 0 to indicate the absence or presence of the attribute, respectively.

The selection efficacy in each model was evaluated considering the total of the 15 descriptors as 100 % using equation 1.

$$Efficacy (\%) = \left(\frac{x}{15}\right) \times 100 \quad \text{equation 1}$$

where “x” is the total number of brands registered according to the model.

Physicochemical characterization of the yogurts

Color. The color of the samples was expressed by applying the three-dimensional CIELab system in terms of L* (lightness), a* (red/green), b* (yellow/blue) and Chroma (C*) using a Minolta CR-400 colorimeter (Japan), after calibration with a white ceramic plate (Ścibisz & Ziarno, 2023). In order to contrast the color difference (ΔE) between commercial samples versus sensory color analysis, equation 2 was used.

$$\Delta E_{Lab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{equation 2}$$

where ΔL^* , Δa^* y Δb^* represent the mathematical difference between the parameters L*, a* and b*, respectively.

Acidity. Acidity was determined by titration with NaOH (0.1 N) according to Soukoulis *et al.* (2007) and expressed as percentage of lactic acid (g/100 g).

pH. The pH of the samples was determined using a Handylab pH 11 digital portable potentiometer, SCHOTT® (Germany).

Total Soluble Solids (TSS). Soluble solids were determined with an ATC handheld refractometer (0-32 °Brix) according to Yasni & Maulidya (2014).

Consistency Index (K). A dynamic viscosity test of yogurt samples (500 mL) was performed using a Visco Basic Plus rotational viscometer, FUNGILAB® (Spain) with a N° 3 spindle with speeds between 1 to 5 rpm at room temperature (21 ± 1°C). Shear stress and strain rate were calculated to generate rheograms adapted to the pseudoplastic model according to Macedo and Ramírez &

Vélez-Ruiz (2015). The consistency index (K) was employed as an indicator of the rheological characteristics of the samples, which was calculated from equation 3.

$$\tau = K\gamma^n \quad \text{equation 3}$$

where τ is the shear stress, γ is strain rate, K is the consistency index and n is the flow index.

Statistical analysis

The CATA data were analyzed using XLSTAT software (trial version), with which the Cochran's Q test was performed to identify significant differences between the ballots for each of the descriptors. In addition, a sensory map was generated from a Correspondence Analysis to visualize the distribution of the attributes according to the samples. Analysis of variance (ANOVA) was carried out on the physicochemical characteristics of the yogurt, followed by a multiple comparisons test using Statgraphics 18 (trial version). All measurements were performed in triplicate.

RESULTS AND DISCUSSION

Descriptors selected for CATA analysis

During the free listing task, 693 valid words or phrases were generated, at a rate of 1 to 16 per person (7 per person on average). Results included duplicate, synonymous, and non-sensory language terms, such as “nutritious”, “drinkable”, “likeable”, among others. It should be noted that the ability to verbalize descriptive terms is associated with the training level of the analyst, as well as with sociocultural patterns of consumption (Xia *et al.* 2020).

The 15 terms selected after screening by the internal panel are shown in descending order according to frequency of mention in Figure 2, from the sixteenth descriptor onwards, the frequencies of mention were less than or equal to 7. Among the selected terms, 6 were associated with texture, 5 with taste and 2 for both appearance and odor. In studies of strawberry yogurt by CATA, the use of 8 to 16 terms has been observed (Castura *et al.* 2016; Cruz *et al.* 2013; De Carvalho *et al.* 2018). Based on these studies, a qualitative comparison of terms was made (Table 1), showing 9 coincidences, while 6 of the selected terms are original to this research. The latter is associated with intrinsic characteristics of the samples originated by their formulation and processing technology, as well as the degree of experience of consumers to verbalize sensory terms, added to sociocultural patterns (Favalli *et al.* 2013).

Ares & Jaeger (2015b) suggest that CATA terms should cover the full spectrum of sensory attributes, ranging from appearance, odor, aroma, taste, texture, to aftertaste. However, within the 15 most mentioned descriptors, those representing aroma are absent, as well as residual sensations given that consumers scarcely generated terms related to these attributes, which reflects the panel's expertise in verbalizing sensory characteristics (Barton *et al.* 2020) and exhibits the predominance of certain attributes over others for yogurt. The

sensory profile achieved can be useful in quality control and in the design and development of new products within this food category.

Effect of the CATA ballot design

During the analysis conducted with the four ballot models, consumers selected an average of 7 terms, with a minimum of 2 and a maximum of 13, conforming to a normal distribution. In this

regard, Kim *et al.* (2023) reported an average of 7.7 terms (min.=2 and max.=8) out of a total of 24 CATA terms for commercial yogurts. Each marked attribute is known to indicate that it is appropriate to describe the sample being evaluated, whereas an unmarked term could suggest consumer uncertainty about its applicability (Meyners & Castura, 2014), that they paid little attention to it, or even, that they did not understand it.

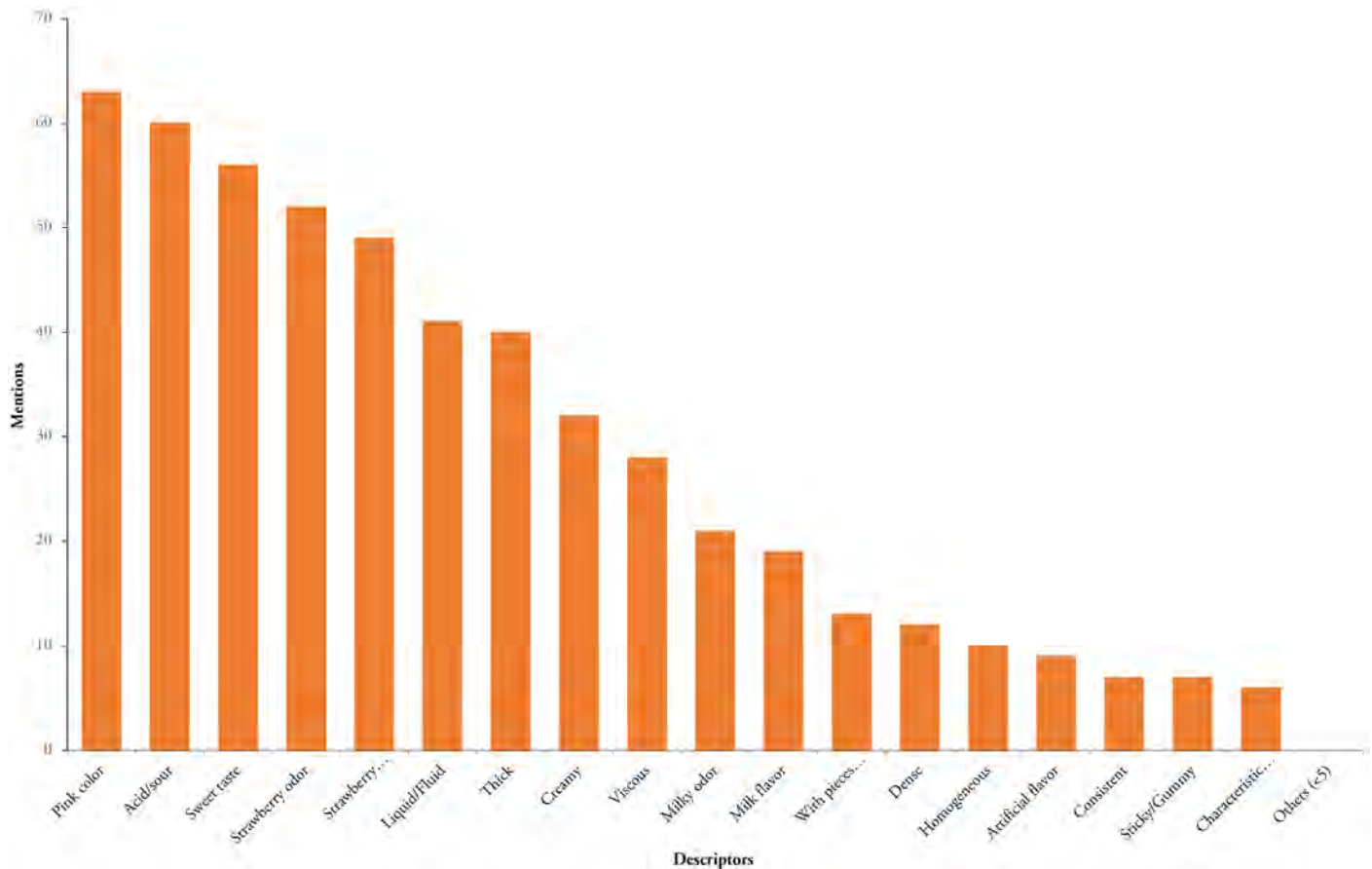


Figure 2. Frequency of descriptor mentions in the term generation phase.

Selection efficacy was employed as a difference indicator, with averages of 44.8%, 47.3%, 44.8% and 42.3%, for models A, B, C and D, respectively. Hypothetically, marking all the descriptors on a ballot would mean that the product has all the characteristics simultaneously, but not necessarily that it is the best. In this study, the terms included in the ballots are associated with the characteristics most commonly found among a triad of commercial yogurts in order to amplify the diversity of descriptors.

According to Cochran's Q test, differences (p -value < 0.05) were found for 7 descriptors (pink color, acid/sour, strawberry odor, creamy, viscous, milk odor, and artificial flavor). This suggests that the design of the ballots impacts the perception of consumers causing them to characterize the properties of yogurt differently. Although these characteristics are the result of the technological conditions of each batch of yogurt, the physicochemical results indicate differences for descriptors with no association such as the consistency index (K), and for some that are related such as instrumental color, acidity index and pH. Also, the apparent

homogeneity for the other attributes (sweet, strawberry flavor, fluid/watery, thick, milk flavor, with pieces of fruit, dense and homogeneous) may be attributed to their notoriety, as well as the lack of analyst training (Lawless & Heymann, 2010). Moreover, the same attribute can be understood in different ways by consumers depending on its complexity (Ares *et al.* 2015).

Sensory map

The sensory map (Figure 3) represents the total variation of the experimental data in terms of the first two dimensions (F1 and F2) which explain 89.7% derived from the correspondence analysis performed on the frequency table. A similar study found a value of 90.7% for the sum of the two main dimensions (Delarue *et al.* 2015), values considered valid for the results interpretation. The map reveals the distribution of descriptors according to their frequency of use by each ballot model, evidencing that the design causes consumers to describe differently the same yogurt sample.

Table 1. Comparison of CATA descriptors with other studies using strawberry drinkable yogurt.

This research	Benchmark studies		
	Cruz <i>et al.</i> (2013)	De Carvalho <i>et al.</i> (2018)	Castura <i>et al.</i> (2016) ^a
Pink color	Pink color	Light pink Pink salmon	-
With pieces of fruit	-	Presence of strawberry pulp	-
-	-	Absence of strawberry pulp	-
Strawberry odor	-	-	-
Milky odor	-	-	-
-	Strawberry aroma	-	-
-	Acid aroma	-	-
-	-	Artificial strawberry aroma	-
-	-	Fermented milk aroma	-
-	-	Bitter taste	-
Sweet	Sweet taste	Sweet	Sweetness
Acid/sour	Acid taste	Acid	Sourness
Artificial flavor	-	-	Artificial flavour
Milk flavor	-	-	-
Strawberry flavor	Strawberry taste	Strawberry pulp flavor	Strawberry flavour
-	-	-	Cream flavour
-	Yogurt taste	-	-
-	-	Sweetish	-
-	-	Astringent	-
-	-	Residual sweetener flavor	-
-	-	-	Off flavour
Viscous	Viscous	-	-
Creamy	-	Creamy	Creamy texture
Fluid/watery	-	No consistency	-
Homogeneous	-	-	-
-	Heterogeneous	-	-
-	Liquid	-	-
Thick	-	-	-
Dense	-	-	-
-	-	Consistent with strawberry pulp	-
-	Residual taste	-	-
-	-	-	Fatty mouthfeel

^a TCATA (Temporal check-all-that-apply)

Based on the significantly different descriptors (Cochran's Q test), model B generates a higher number of mentions in the attributes pink color and strawberry odor while ballot D generates a predominance of acid/sour, creamy, viscous, milk odor and artificial

flavor. Considering that the distance between points corresponding to products is a measure of their similarity (Ares & Jaeger, 2015a), model D is far from the others and corresponds with having the lowest selection efficacy (42.3%).

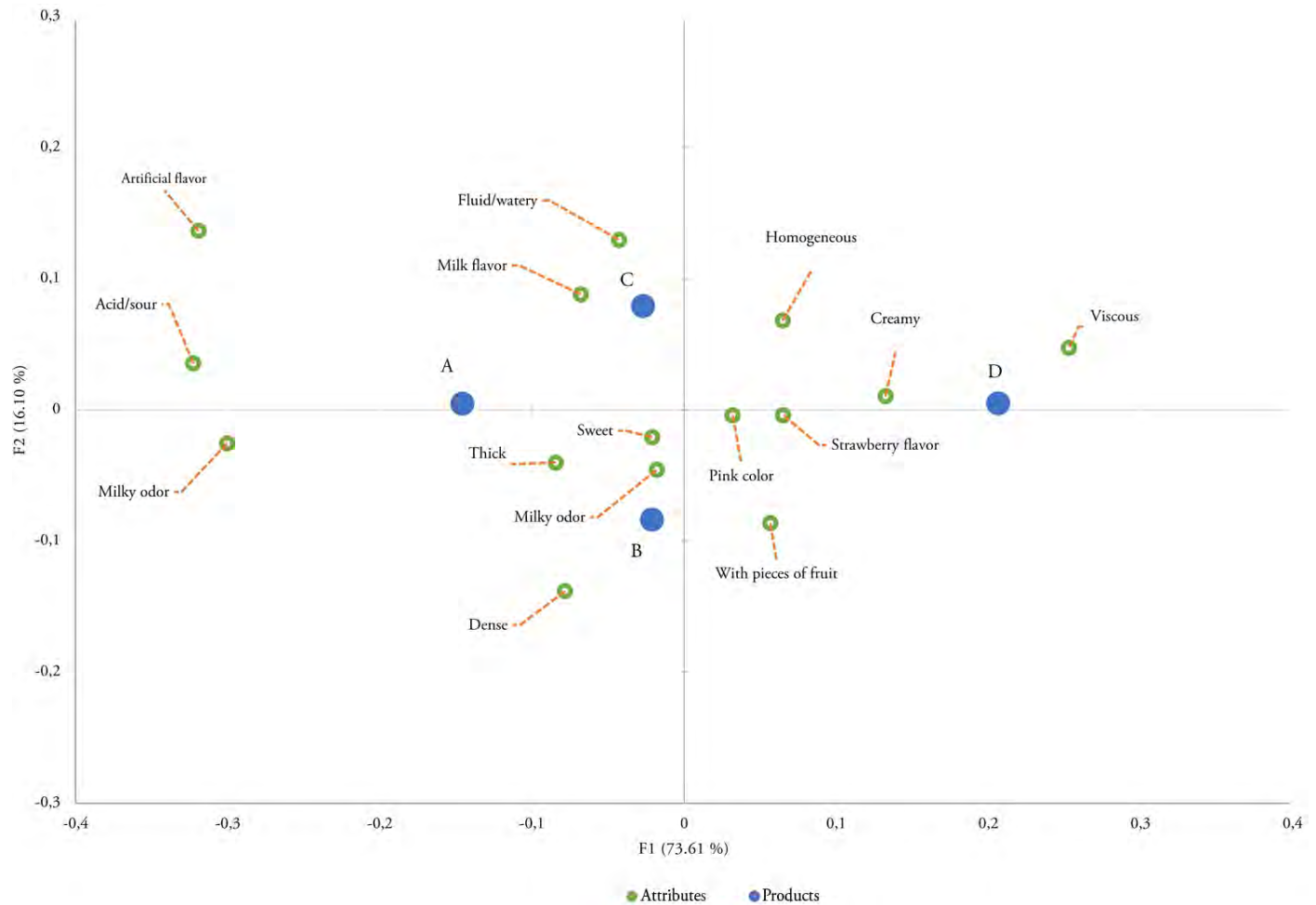


Figure 3. Sensory map of CATA terms for the four ballot models in the analysis of strawberry yogurt.

There are studies that have described a position effect when visualizing a list of alternatives (Söderlund *et al.* 2021). Usually, analysts start reading from top to bottom, incurring in saturation at the end, causing them to have taken greater care in analyzing the first positions. This causes the first terms to be selected more frequently compared to the last ones (Ares & Jaeger, 2015a). On the other hand, the duration of the individual analysis can be an interesting factor to study. In this research, the time to complete the analysis was not measured; however, studies around this factor suggest that the use of long lists causes saturation due to the time invested (Augenblick & Nicholson, 2016).

Effect of samples

The physicochemical characteristics of the yogurt samples showed heterogeneity except for the consistency index (Table 2). Instrumental color had significant differences for the parameters L^* , a^* , b^* and C^* , this same variability was observed for the descriptor "Pink color" in the CATA analysis, suggesting that the differences found would not be attributed to the design of the ballots. However, the difference in color between the samples of models A and B ($\Delta E_{A-B} = 1.15 \pm 0.22$) is insufficient for consumers to be able to differentiate them, given that according to Mokrzycki & Tatol (2011), ΔE should vary between 2 and 3.5 for the difference to be

noticeable to the naked eye, as occurs between the samples of C and D ($\Delta E = 2.67 \pm 0.27$), however, in Cochran's Q test they resulted the same (Table 3). In addition, it is observed that the Chroma had difference in the sample of model D. However, in sensory aspects the different sample corresponds to model B, this is associated with the perception threshold that consumers have regarding the tonality exhibited by the sample in an integral way.

The acidity of the yogurts was heterogeneous ($p < 0.05$), with the sample of model D being higher than the others, and the one with the lowest pH. However, all samples are within the range of 0.6% to 1.5% acidity contemplated by MINAGRI (2017). The inversely proportional relationship that exists between acidity and pH has been reported by Torrico *et al.* (2019) when evaluating strawberry yogurt stored for 28 days at 4°C. It is likely that this behavior derives from a higher production of lactic acid from sugars, which is also reflected by a lower soluble solids content, this phenomenon known as post acidification occurs in the product in storage and marketing stages (Deshwal *et al.* 2021). For this indicator, there is consistency between the physicochemical analysis and the CATA method. Cochran's Q test indicates a difference between two groups, the first group comprising the samples of models A, B and C, against D.

Table 2. Physicochemical characteristics of yogurt samples used in CATA analysis.

Model	Color				Consistency index	Acidity (g/100 g)	pH	TSS (°Brix)
	L*	a*	b*	C*				
A	64.48 ± 0.33 ^a	13.86 ± 0.12 ^a	2.74 ± 0.06 ^a	14.13 ± 0.13 ^a	2.96 ± 0.14 ^a	0.74 ± 0.01 ^a	4.49 ± 0.06 ^a	13.27 ± 0.31 ^a
B	63.89 ± 0.30 ^a	14.02 ± 0.09 ^a	1.82 ± 0.04 ^b	14.14 ± 0.08 ^a	3.10 ± 0.06 ^a	0.76 ± 0.02 ^a	4.61 ± 0.02 ^b	13.33 ± 0.23 ^a
C	65.30 ± 0.29 ^b	13.84 ± 0.08 ^a	1.98 ± 0.01 ^c	13.98 ± 0.08 ^a	2.99 ± 0.15 ^a	0.75 ± 0.01 ^a	4.56 ± 0.01 ^b	13.47 ± 0.12 ^a
D	62.83 ± 0.34 ^c	13.39 ± 0.12 ^b	2.87 ± 0.04 ^d	13.69 ± 0.12 ^b	3.26 ± 0.36 ^a	0.91 ± 0.03 ^b	4.28 ± 0.01 ^c	12.73 ± 0.31 ^b

Table 3. Cochran's Q test and multiple comparisons.

Descriptor	P-value	Ballot model			
		A	B	C	D
Pink color	0.040	0.903 (a)	0.981 (b)	0.916 (ab)	0.929 (ab)
Acid/sour	0.000	0.234 (b)	0.208 (b)	0.221 (b)	0.071 (a)
Sweet	0.064	0.753 (a)	0.799 (a)	0.714 (a)	0.669 (a)
Strawberry odor	< 0.0001	0.578 (a)	0.805 (b)	0.695 (ab)	0.552 (a)
Strawberry flavor	0.130	0.760 (a)	0.838 (a)	0.779 (a)	0.851 (a)
Fluid/watery	0.493	0.214 (a)	0.156 (a)	0.214 (a)	0.175 (a)
Thick	0.184	0.383 (a)	0.364 (a)	0.305 (a)	0.279 (a)
Creamy	0.007	0.526 (a)	0.630 (ab)	0.610 (ab)	0.714 (b)
Viscous	0.001	0.201 (a)	0.318 (ab)	0.344 (b)	0.416 (b)
Milky odor	< 0.0001	0.364 (b)	0.292 (b)	0.260 (ab)	0.130 (a)
Milk flavor	0.279	0.370 (a)	0.305 (a)	0.370 (a)	0.286 (a)
With pieces of fruit	0.273	0.325 (a)	0.383 (a)	0.279 (a)	0.351 (a)
Dense	0.019	0.344 (a)	0.364 (a)	0.227 (a)	0.253 (a)
Homogeneous	0.362	0.545 (a)	0.500 (a)	0.571 (a)	0.597 (a)
Artificial flavor	0.001	0.221 (b)	0.156 (ab)	0.214 (b)	0.071 (a)

The descriptors highlighted in black show significant differences between the models.

Soluble solids ranged from 12.73 to 13.47 °Brix, with the sample of model D having the lowest value ($p < 0.05$). TSS are mainly represented by mono and disaccharides of endogenous origin, as well as added sugars, which are responsible for the sweet taste of yogurt. However, the descriptor sweet was selected without significant differences among the four ballot models (Table 3).

The rheological behavior of the samples was evaluated through the consistency index K (Pa.sⁿ) derived from a fit to the potential model. All samples were statistically equal ($p > 0.05$). Jaster *et al.* (2018) characterized commercial strawberry yogurts finding that they behave as non-Newtonian fluids of Power-law (pseudoplastic) type. In that study, consistency index (K) values were lower (1.217 to 1.577 Pa.sⁿ). In contrast, Wang *et al.* (2019) reported values between 2.02 to 3.22 Pa.sⁿ, similar to this study. According to Macedo & Vélez-Ruiz (2015) the rheological characteristics of yogurt are influenced by the formulation (type of ferments, sugar, stabilizers, as well as the interaction of ingredients), by processing conditions (fermentation time, methods) and storage conditions

(time and temperature). The descriptor “Viscous” related to this indicator was different in Cochran's Q test, which reinforces the effect of the ballot model on consumer responses.

The advantages of ballot models include space saving (A), speed of selection (B), innovative design (C) and randomness (D). Disadvantages include positional risk (A and B), visual fatigue (B), space reduction (C) and less clarity (D). The proposed model (C) offers a higher probability of sensory profiling a strawberry yogurt without biases caused by other designs that require randomization, which is a way to guarantee reproducibility and repeatability.

The results obtained reveal that the differences found when describing yogurt derive from the position in which the descriptors appear in each ballot model, as they create a particular psychosensory experience during the selection of the options. Therefore, an effect due to the differences in physicochemical attributes between samples is also included.

As conclusions, the fifteen descriptors selected for the CATA analysis were associated with the characteristics of appearance, odor, taste and texture, while aroma and residual sensations were absent. Significant differences were found for seven of these terms, which are attributable to the model of the ballots, as well as to characteristics of color, acidity, pH and soluble solids that the sample acquires during its elaboration process. Of the four models evaluated, ballot C caused fewer differences with respect to the others, while ballot D offered greater variability in the selection of terms. The findings of this study can serve as a basis for the design of virtual ballots, an increasingly common trend in sensory analysis with consumers. However, for similar and other products it is recommended that modifications be incorporated given the diversity of food categories.

Acknowledgments. The authors are grateful for the use of facilities, volunteers and administrative staff of the Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Nacional Hermilio Valdizán (Eng. Abel Abdías Valle Pajuelo), Universidad Le Cordon Bleu and Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Additionally, the authors thank to Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas for the financial support for the translation of this article through the project “Propuesta fortalecimiento gestión editorial de revistas científicas de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A 2023-2024”. **Conflict of interest:** the article was written, prepared and reviewed by all authors, who declare that they have no interest that casts doubt on the validity of the results. **Authors’ contributions:** Oscar Jordán-Suárez: logistics, methodology, data analysis, writing, revising and editing. Miriam E. Ramos Ramírez: logistics, methodology, data analysis, writing, reviewing and editing. Pilar Minaya Agüero: methodology, writing, writing, revising and editing. Matilde Tenorio Domínguez: writing, reviewing and editing. Tarsila Tuesta: methodology, writing, revising and editing. Reynaldo Justino Silva-Paz: writing, data analysis, proofreading and editing.

REFERENCES

- ANDRADE OLIVEIRA, A.A.; ANDRADE, A.C.; CARVALHO BASTOS, S.C.; MARQUES PINHEIRO, A.C.; CONDINO, J. P. F.; CURZI JÚNIOR, A. 2021. Use of strawberry and vanilla natural flavors for sugar reduction: A dynamic sensory study with yogurt. *Food Research International*. 139:109972. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109972>
- ARES, G.; JAEGER, S.R. 2015a. 11 - Check-all-that-apply (CATA) questions with consumers in practice: Experimental considerations and impact on outcome. En: Delarue, J.; Ben Lawlor, J.; Rogeaux, M. (eds.). *Rapid sensory profiling techniques and related methods: Applications in new product development and consumer research*. Woodhead Publishing Limited. p.227-245. <https://doi.org/10.1533/9781782422587.2.227>
- ARES, G.; JAEGER, S.R. 2015b. Examination of sensory product characterization bias when check-all- that-apply (CATA) questions are used concurrently with hedonic assessments. *Food Quality and Preference*. 40(A):199-208. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.10.004>
- ARES, G.; ANTÚNEZ, L.; BRUZZONE, F.; VIDAL, L.; GIMÉNEZ, A.; PINEAU, B.; BERESFORD, M.K.; JIN, D.; PAISLEY, A.G.; CHHEANG, S.L.; ROIGARD, C.M.; JAEGER, S.R. 2015. Comparison of sensory product profiles generated by trained assessors and consumers using CATA questions: Four case studies with complex and/or similar samples. *Food Quality and Preference*. 45:75-86. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.05.007>
- ARES, G.; CUNHA DE ANDRADE, J.; ANTÚNEZ, L.; ALCAIRE, F.; SWANEY-STUEVE, M.; GORDON, S.; JAEGER, S.R. 2017. Hedonic product optimisation: CATA questions as alternatives to JAR scales. *Food Quality and Preference*. 55:67-78. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.08.011>
- ARYANA, K.J.; OLSON, D.W. 2017. A 100-year review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of Dairy Science*. 100(12):9987-10013. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12981>
- AUGENBLICK, N.; NICHOLSON, S. 2016. Ballot position, choice fatigue, and voter behavior. *Review of Economic Studies*. 83(2):460-480. <https://doi.org/10.1093/restud/rdv047>
- BARTON, A.; HAYWARD, L.; RICHARDSON, C.D.; MCSWEENEY, M.B. 2020. Use of different panellists (experienced, trained, consumers and experts) and the projective mapping task to evaluate white wine. *Food Quality and Preference*. 83:103900. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103900>
- BELUSSO, A.C.; NOGUEIRA, B.A.; BREDÁ, L.S.; MITTERER-DALTOÉ, M.L. 2016. Check all that apply (CATA) as an instrument for the development of fish products. *Food Science and Technology*. 36(2):275-281. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0026>
- BLOM-HANSEN, J.; ELKLIT, J.; SERRITZLEW, S.; VILLADSEN, L.R. 2016. Ballot position and election results: Evidence from a natural experiment. *Electoral Studies*. 44:172-183. <https://doi.org/10.1016/j.electstud.2016.06.019>
- CASTURA, J.C.; ANTÚNEZ, L.; GIMÉNEZ, A.; ARES, G. 2016. Temporal Check-All-That-Apply (TCATA): A novel dynamic method for characterizing products. *Food Quality and Preference*. 47(A):79-90. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.06.017>

- CRUZ, A.G.; CADENA, R.S.; CASTRO, W.F.; ESMERINO, E.A.; RODRIGUES, J.B.; GAZE, L.; FARIA, J.A.F.; FREITAS, M.Q.; DELIZA, R.; BOLINI, H.M.A. 2013. Consumer perception of probiotic yogurt: Performance of check all that apply (CATA), projective mapping, sorting and intensity scale. *Food Research International*. 54(1):601-610. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.056>
- DE CARVALHO, D.A.; VALENTE, G.D.F.S.; ASSUMPCÃO, G.M.P. 2018. External preference map to evaluate the acceptance of light and diet yogurt prepared using natural sweeteners. *Ciencia Rural*. 48(6):1-9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170941>
- DESHWAL, G.K.; TIWARI, S.; KUMAR, A.; RAMAN, R.K.; KADYAN, S. 2021. Review on factors affecting and control of post-acidification in yoghurt and related products. *Trends in Food Science and Technology*. 109:499-512. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.057>
- DELARUE, J.; BEN LAWLOR, J.; ROGEAUX, M. 2015. Rapid sensory profiling techniques: Applications in new product development and consumer research. Woodhead Publishing. 594p.
- DOS SANTOS, B.A.; BASTIANELLO CAMPAGNOL, P.C.; DA CRUZ, A.G.; GALVÃO, M.T.E.L.; MONTEIRO, R.A.; WAGNER, R.; POLLONIO, M.A.R. 2015. Check all that apply and free listing to describe the sensory characteristics of low sodium dry fermented sausages: Comparison with trained panel. *Food Research International*. 76:725-734. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.035>
- FAVALLI, S.; SKOV, T.; BYRNE, D.V. 2013. Sensory perception and understanding of food uniqueness: From the traditional to the novel. *Food Research International*. 50:176-188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.007>
- FLEMING, E.E.; ZIEGLER, G.R.; HAYES, J.E. 2015. Check-all-that-apply (CATA), sorting, and polarized sensory positioning (PSP) with astringent stimuli. *Food Quality and Preference*. 45:41-49. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.05.004>
- HASHEMI GAHRUIE, H.; ESKANDARI, M.H.; MESBAHI, G.; HANIFPOUR, M.A. 2015. Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*. 4(1):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>
- JAEGER, S.R.; ALCAIRE, F.; HUNTER, D.C.; JIN, D.; CASTURA, J.C.; ARES, G. 2018. Number of terms to use in temporal check-all-that-apply studies (TCATA and TCATA Fading) for sensory product characterization by consumers. *Food Quality and Preference*. 64:154-159. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.09.013>
- 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*. 42:154-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.02.003>
- JANIASKI, D.R.; PIMENTEL, T.C.; CRUZ, A.G.; PRUDENCIO, S.H. 2016. Strawberry-flavored yogurts and whey beverages: What is the sensory profile of the ideal product? *Journal of Dairy Science*. 99(7):5273-5283. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10097>
- JASTER, H.; AREND, G. D.; REZZADORI, K.; CHAVES, V. C.; REGINATTO, F. H.; PETRUS, J. C. C. 2018. Enhancement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with concentrated strawberry pulp obtained by block freeze concentration. *Food Research International*. 104:119-125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.006>
- KIM, M.R.; HEO, J.A.; KWAK, H.S. 2023. Comparison of sensory profiles by two different check-all-that-apply (CATA) terms developed from trained panelists and naïve consumers. *Food Quality and Preference*, 109:104902. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104902>
- LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. 2010. Sensory evaluation of food. Segunda edición. Springer. 596p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- LICHTERS, M.; MÖSLEIN, R.; SARSTEDT, M.; SCHARF, A. 2021. Segmenting consumers based on sensory acceptance tests in sensory labs, immersive environments, and natural consumption settings. *Food Quality and Preference*. 89:104138. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104138>
- MACEDO Y RAMÍREZ, R.C.; VÉLEZ-RUÍZ, J.F. 2015. Propiedades físicoquímicas y de flujo de un yogur asentado enriquecido con microcápsulas que contienen ácidos grasos omega 3. *información tecnológica* 26(5):87-96. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500012>
- MEYNER, M.; CASTURA, J. 2014. Chapter 11 Check-All-That-Apply Questions. En: Varela, P.; Ares, G. (Eds.). *Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling*. Taylor & Francis. Volumen 88. 271-306p.
- MIELE, N.A.; CABISIDAN, E.K.; BLAIOTTA, G.; LEONE, S.; MASI, P.; DI MONACO, R.; CAVELLA, S. 2017. Rheological and sensory performance of a protein-based sweetener (MNEI), sucrose, and aspartame in yogurt. *Journal of Dairy Science*. 100(12):9539-9550. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12894>

- MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO-MINAGRI. 2017. Decreto supremo que aprueba el reglamento de la leche y productos lácteos. Disponible desde Internet en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/orientacion/DS_7_2017_MINAGRI.pdf
- MOKRZYCKI, W.; TATOL, M. 2011. Color difference Delta E - A survey. *Machine Graphics and Vision*. 20(4):383-411.
- MOUSSAOUI, K.A.; VARELA, P. 2010. Exploring consumer product profiling techniques and their linkage to a quantitative descriptive analysis. *Food Quality and Preference*. 21(8):1088-1099. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.09.005>
- ŚCIBISZ, I.; ZIARNO, M. 2023. Effect of Fermented Matrix on the Color and Stability of Strawberry and Blueberry Anthocyanins during the Storage of Fruit Yogurts and Soy-Based and Bean-Based Fruit Yogurt Alternatives. *Molecules*. 28:6222. <https://doi.org/10.3390/molecules28176222>
- SÖDERLUND, P.; VON SCHOULTZ, Å.; PAPAGEORGIOU, A. 2021. Coping with complexity: Ballot position effects in the Finnish open-list proportional representation system. *Electoral Studies*. 71:102330. <https://doi.org/10.1016/j.electstud.2021.102330>
- SOUKOULIS, C.; PANAGIOTIDIS, P.; KOURELI, R.; TZIA, C. 2007. Industrial yogurt manufacture: Monitoring of fermentation process and improvement of final product quality. *Journal of Dairy Science*. 90(6):2641-2654. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-802>
- SYMONEAUX, R.; GALMARINI, M. V.; MEHINAGIC, E. 2012. Comment analysis of consumer's likes and dislikes as an alternative tool to preference mapping. A case study on apples. *Food Quality and Preference*. 24(1):59-66. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.013>
- TORRICO, D.D.; TAM, J.; FUENTES, S.; VIEJO, C. G.; DUNSHEA, F.R. 2019. D-tagatose as a sucrose substitute and its effect on the physico-chemical properties and acceptability of strawberry-flavored yogurt. *Foods*. 8(7):256. <https://doi.org/10.3390/foods8070256>
- WANG, H.; WANG, C. N.; GUO, M. R. 2019. Effects of addition of strawberry juice pre- or postfermentation on physiochemical and sensory properties of fermented goat milk. *Journal of Dairy Science*. 102(6):4978-4988. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15750>
- XIA, Y.; SONG, J.; LEE, P. Y.; SHEN, H.; HOU, J.; YANG, J.; GAO, B.; ZHONG, F. 2020. Impact of consumption frequency on generations of sensory product profiles using CATA questions: Case studies with two drink categories. *Food Research International*. 137(June):109378. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109378>
- YASNI, S.; MAULIDYA, A. 2014. Development of corn milk yoghurt using mixed culture of *Lactobacillus delbrueckii*, *Streptococcus salivarius*, and *Lactobacillus casei*. *HAYATI Journal of Biosciences*. 21(1):1-7. <https://doi.org/10.4308/hjb.21.1.1>



Vigilancia científica y tecnológica en procesos de modificación físico-enzimática en gránulos de almidón

Scientific and technological watch on physical-enzymatic modification processes in starch granules

Nedys, Acevedo-Viloria^{1*} ; Manuel Cervera-Ricardo¹ ; Jorge Figueroa-Flórez¹ ; Jairo Salcedo-Mendoza¹ ;
Veronica Ramos-Villacob¹ 

¹Universidad de Sucre, sede Puerta Roja, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES). Sincelejo - Sucre, Colombia; e-mail: nedys.acevedo@unisucre.edu.co; manuel.cervera@unisucre.edu.co; jorge.figueroa@unisucre.edu.co; jairo.salcedo@unisucre.edu.co; veronica.ramos@unisucre.edu.co

*autor para correspondencia: nedys.acevedo@unisucre.edu.co

Cómo citar: Acevedo-Viloria, N.; Cervera-Ricardo, M.; Figueroa-Flórez, J.; Salcedo-Mendoza, J.; Ramos-Villacob, V. 2024. Vigilancia científica y tecnológica en procesos de modificación físico-enzimática en gránulos de almidón. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2416. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2416>

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 3 de 2023

Aceptado: mayo 8 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Las demandas actuales de las industrias hacen necesario recurrir a nuevas herramientas para la generación de desarrollo e innovación tecnológica, por lo cual, se ha identificado la necesidad de implementar tecnologías en la búsqueda de tendencias en el campo de los procesos de modificación de los materiales amiláceos. Este estudio tuvo por objetivo determinar la dinámica de producción científica, por medio de herramientas de innovación, como la vigilancia científica en la modificación de almidones por hidrólisis enzimática, asistida por tecnologías emergentes. Para ello, se realizó un análisis cuantitativo de los resultados, a partir de recopilaciones de datos derivados de bases científicas, reportados en clústeres y mapas de tendencias, con información sobre las principales revistas, autores, línea de tiempo, entidades y áreas de conocimiento en la modificación físico-enzimática del almidón. Esta vigilancia permitió identificar que las investigaciones se están orientando a las modificaciones duales y la aplicación de tecnologías emergentes (campos eléctricos, ultrasonido y microondas), como métodos alternativos en la modificación del almidón de cereales y tubérculos.

Palabras claves: Agroindustria; Almidón nativo; Desarrollo tecnológico; Enzimólisis; Inteligencia competitiva.

ABSTRACT

The current demands of the industries make it necessary to resort to new tools for the generation of technological development and innovation, therefore, the need to implement technologies in the search for trends in the field of starch modification processes has been identified. The objective of this study was to determine the dynamics of scientific production by means of innovation tools such as scientific surveillance in starch modification by enzymatic hydrolysis assisted by emerging technologies. For this purpose, a quantitative analysis of the results was carried out based on compilations of data derived from scientific databases reported in clusters and trend maps with information on the main journals, authors, timelines, entities, and areas of knowledge in starch physico-enzymatic modification. This monitoring allowed the identification that research is being oriented to dual modifications and the application of emerging technologies (electric fields, ultrasound, and microwaves) as alternative methods in the modification of cereal and tuber starch.

Keywords: Agroindustry; Competitive intelligence; Enzymolysis; Native starch; Technology development.

INTRODUCCIÓN

El almidón es un polisacárido depositado en agregados semicristalinos, birrefringentes e insolubles en agua fría, derivado de diferentes fuentes vegetales, como cereales y tubérculos, que constituye la principal fuente de almacenamiento energética (Arroyo-Dagobeth *et al.* 2023; Figueroa-Flórez *et al.* 2023a). Este polímero es usado ampliamente en diferentes sectores de la industria de alimentos, como espesante, estabilizante o emulsificante. Asimismo, el almidón en la industria no alimentaria es utilizado para elaboración de películas, encapsulantes y adhesivos (Salcedo-Mendoza *et al.* 2018; Velasco *et al.* 2008); sin embargo, este polisacárido presenta limitaciones tecno-funcionales en su estado nativo, al presentar insolubilidad en agua fría, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis, limitando sus aplicaciones (Figueroa *et al.* 2019; Maniglia *et al.* 2021b). De esta manera, el almidón, en la industria panadera, puede presentar poca capacidad de expansión durante el horneado, fenómenos marcados de retrogradación que afectan negativamente la dureza del producto después del horneado o fenómenos de separación de fases en suspensiones durante el almacenamiento (Soto *et al.* 2018).

Para inhibir o potencializar ciertas propiedades del almidón nativo se han implementado procesos físicos, químicos o enzimáticos, que permiten alterar las características estructurales o morfológicas propias de los gránulos y ampliar sus líneas de aplicación en la industria (Ochoa-Martínez *et al.* 2021). Entre esos métodos, la hidrólisis enzimática busca la degradación de cadenas de amilosa y de amilopectina en componentes solubles, de baja viscosidad y poca capacidad de reorganización molecular (Bai *et al.* 2021); no obstante, el proceso se ve ralentizado por debajo de la temperatura de gelatinización, debido al denso empaquetamiento granular y poca porosidad superficial, característico en almidones de tubérculos, que delimitan los procesos de difusión, de adsorción y de activación de la hidrólisis enzimática (Xie *et al.* 2019).

Para acelerar la cinética enzimática durante la modificación del gránulo se pueden usar pretratamientos físicos o proyectar el proceso de biocatálisis, asistido por tecnologías emergentes. Estudios han revelaron que los pretratamientos hidrotérmicos por calor-humedad (HMT) aumentaron el grado de hidrólisis y conllevó a la obtención de gránulos con estructuras microporosas y con excelente capacidad hidrofílica. Dentro de dichas tecnologías emergentes se engloban las vibraciones ultrasónicas, microondas y campos eléctricos (Klein *et al.* 2013; Amini *et al.* 2015; Maniglia *et al.* 2021a); no obstante, existen vacíos científicos concernientes a establecer el efecto de la modificación física empleando ultrasonido o campos eléctricos sobre almidones de tubérculos (yuca, ñame y batata), así como escasa investigación en la modificación enzimática asistida por tecnologías emergentes (Li *et al.* 2022). Por ello, es necesario identificar tecnologías emergentes promisorias en la biocatálisis enzimática de materiales amiláceos con gran proyección, a nivel industrial.

Ante las demandas del sector industrial se hace necesario recurrir a herramientas de innovación, que permitan identificar las nuevas

tendencias tecnológicas en el campo de la modificación enzimática de materiales amiláceos. La vigilancia científica-tecnológica (VCT) es un proceso de búsqueda, de captación y de análisis de información, a partir de bases de datos científicas y tecnológicas, la cual, se vislumbra como una herramienta útil para rastrear posibles soluciones innovadoras, que sirvan de apoyo en las investigaciones, entendiendo que el número de trabajos académicos publicados y patentes concedidas es un indicador importante para medir la tendencia y la dinámica de publicación en el desarrollo de las investigaciones (Orjuela-Garzón *et al.* 2020).

En consecuencia, la presente vigilancia tiene como objetivo determinar la dinámica de producción científica y tecnológica, con potencial de aplicación en la industria de espesantes, de estabilizantes, de texturizante y de emulsificante, derivado de los procesos de modificación enzimática de almidones de yuca y de ñame, asistidos por tecnologías emergentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La captación de información en el estudio de vigilancia científica y tecnológica se estructuró en cuatro etapas: planeación, búsqueda, análisis e inteligencia competitiva (Andrade *et al.* 2017). Las diferentes etapas del estudio de vigilancia se describen en la figura 1.

Planeación: En esta etapa se realizó la delimitación del tema a investigar “Tecnologías físico-enzimáticas en el desarrollo de almidones modificados” y el alcance de la vigilancia, se delimitó a la “Modificación enzimática de almidones asistida por tecnologías emergentes”. Luego, se procedió a la elaboración de una bitácora de palabras claves en idioma inglés, las cuales, fueron seleccionadas, apoyadas en los siguientes criterios: fuentes vegetales, propiedades y características del gránulo, aplicaciones agroalimentarias, tecnologías emergentes, biocatálisis, polipéptidos enzimáticos, productos derivados de la hidrólisis, entre otras. Para tal propósito, se usaron herramientas validadas que agrupan los tesauros, como AGROVOC Multilingual Thesaurus y Cambridge Thesaurus, que permitieron la obtención y validación de 73 palabras claves. A partir de estos tesauros, se estructuraron 80 ecuaciones de búsqueda (Tabla 1). La matriz de búsqueda se estructuró a partir de la articulación de tres palabras claves o expresiones combinadas, con tres operadores booleanos AND (Y), OR (O), AND NOT (Y NO). Estas mismas matrices de búsqueda fueron implementadas en la búsqueda de patentes relacionadas con el tema de interés.

Búsqueda: En esta etapa, con la matriz de búsqueda, se procedió a la consulta de información en la plataforma digital de Scopus, debido a que es una base de datos con una interfaz amplia de recopilación de información de artículos científicos y Patent Inspitation y permite recopilar información de desarrollos tecnológicos consolidados en asignación de patentes, implementado el método de VCT. En síntesis, estas plataformas permiten validar y analizar resultados, ofreciendo una visión general de la producción científica y tecnológica, en los diferentes campos de la Ciencia. La búsqueda se delimitó al periodo comprendido entre enero de 2019 y diciembre de 2023.

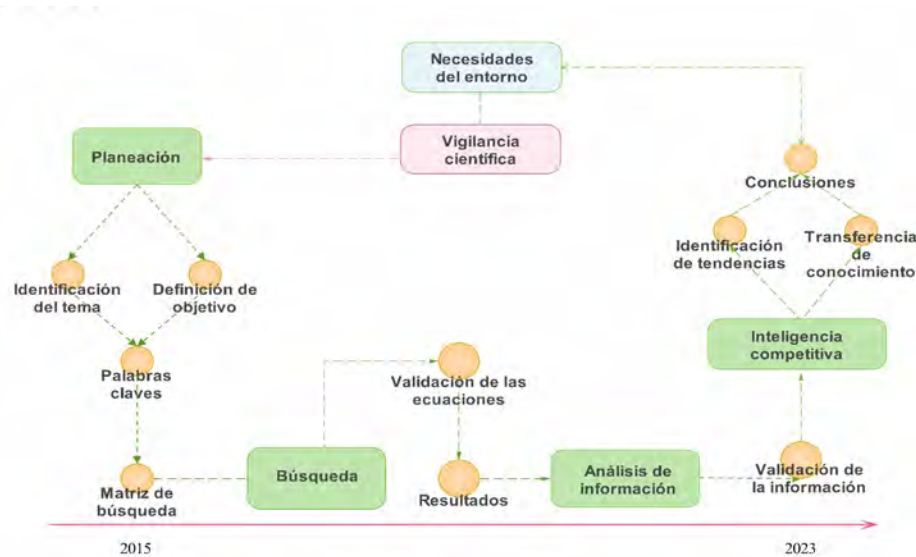


Figura 1. Etapas del proceso para realizar la vigilancia científica y tecnológica.

Tabla 1. Conformación de la matriz parcial de búsqueda a partir de las palabras claves referente a la temática de modificación de almidones de tubérculos.

Ecuación de búsqueda	Resultados
"Modified starches" OR "Enzymatic hydrolysis" AND "Electric field"	106
"Alpha amylase" AND Starch AND "Enzyme modification"	10
Ultrasound AND Pullulanase AND Starch	9
"Electric field" AND "Granular structure" AND "Adsorption capacity"	1
Enzymolysis OR "Electric fields" AND "Porous starch"	6
Matriz parcial	Resultados
((TITLE-ABS-KEY (transglucosidase AND "Native starches" OR "Microporous starches") AND NOT TITLE-ABS-KEY (esterification)) AND PUBYEAR > 2019) OR ((TITLE-ABS-KEY (starch AND "Ultrasound assisted" AND enzymolysis) AND NOT TITLE-ABS-KEY ("Green techniques")) AND PUBYEAR > 2019) OR (TITLE-ABS-KEY ("Porous starch" AND "ultrasound-assisted" AND "enzymatic hydrolysis") AND PUBYEAR > 2019)	10

Análisis de la información: En esta etapa se buscó identificar y correlacionar las ecuaciones búsqueda, usando el software VOSviewer. Esta herramienta permitió depurar la información obtenida de Scopus, eliminando palabras que no tenían una correlación directa con la temática de búsqueda; además, se excluyeron palabras similares, para agruparlas en términos comunes. Luego, se complementó la selección de palabras, solicitando a expertos en el área de estudio (Ciencia, Tecnología e Innovación en Carbohidratos), la elaboración de varios clústeres: clústeres asociados de forma directa, clústeres indirectos y clústeres derivados de la búsqueda, generando resultados y mapas de tendencias, que englobaban información de países, de autores, de revistas y de entidades con mayor aporte y contribución a la temática de estudio.

Inteligencia competitiva: Finalmente, se realizó una validación de los resultados, definiendo los procesos de modificación, fuentes amiláceas y tipos de tecnologías con potencial aplicación, a nivel industrial. Asimismo, definir las proyecciones futuras en el desarrollo de almidones modificados de tubérculos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las divulgaciones científicas en el periodo comprendido entre el 2019 y 2023 revelan un total de 299 documentos publicados, donde se resaltan temáticas de investigación referidas a la modificación de almidones, empleando procesos hidrotérmicos y tecnologías emergentes, como tratamientos físicos individuales, así como coadyuvantes de la actividad hidrolítica, en modificaciones duales o combinadas.

En la figura 2, se observa que la dinámica de publicación de artículos científicos y las principales revistas científicas de alto impacto relacionadas con el alcance temático de interés de la VCT presenta un constante crecimiento en el transcurrir de los últimos cinco años. Entre el 2019 y 2020 se publicaron 75 documentos; en este periodo, la temática de investigación comprende la implementación de modificaciones duales, donde se combinan sistema de microondas y tratamientos hidrotérmicos para la alteración de la estructura nativa de almidones de tubérculos (Li *et al.* 2019). Asimismo, se

reporta el desarrollo de investigaciones asociadas a evaluar el efecto de la combinación de procesos biocatalíticos y ultrasonido, tanto en la cinética enzimática como en las propiedades fisicoquímicas de los materiales amiláceos (Wang *et al.* 2020; Xie *et al.* 2019).

Siguiendo la dinámica científica, se encontró un total de 96 documentos publicados en el periodo bianual 2021-2022, donde los estudios estuvieron referidos a la implementación de campos eléctricos y ultrasonido en la modificación física de gránulos de almidón y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas, de empastamiento y de gelatinización. Además, en la búsqueda de procesos biocatalíticos simultáneos o secuenciales para la producción de estructuras porosas en almidones de cereales y tubérculos (Li *et al.* 2022; Pang *et al.* 2021; Rahaman *et al.* 2021).

Para el 2023, se encontraron 72 documentos, donde se pudo establecer una tendencia de publicaciones con énfasis en la producción de almidones de yuca con superficies porosas para uso

agroalimentario, empleando procesos hidrotérmicos e hidrólisis enzimática simultánea (Figueroa-Flórez *et al.* 2023a). De la misma forma, se visualizan estudios en las propiedades estructurales, fisicoquímicas y de empastamiento en mezclas de almidones de yuca y ñame (Arroyo-Dagobeth *et al.* 2023).

Con relación al tipo de documento científico usado para difundir los resultados de investigación, el estudio de vigilancia refleja que la mayoría de las publicaciones se realizan en formato de artículos científicos, con el 88,0 %, seguido de artículos de revisión, 8,7 % y capítulos de libros, 1,3 % y otros formatos, con 2,0 %. Dentro de las principales revistas científicas de alto impacto para la publicación de resultados de investigación referente a la ciencia y tecnología del almidón, se encuentran International Journal of Biological Macromolecules, Starch Staerke, Food Hydrocolloids, Carbohydrate Polymers, y Food Science and Technology (LWT) (Figura 2).

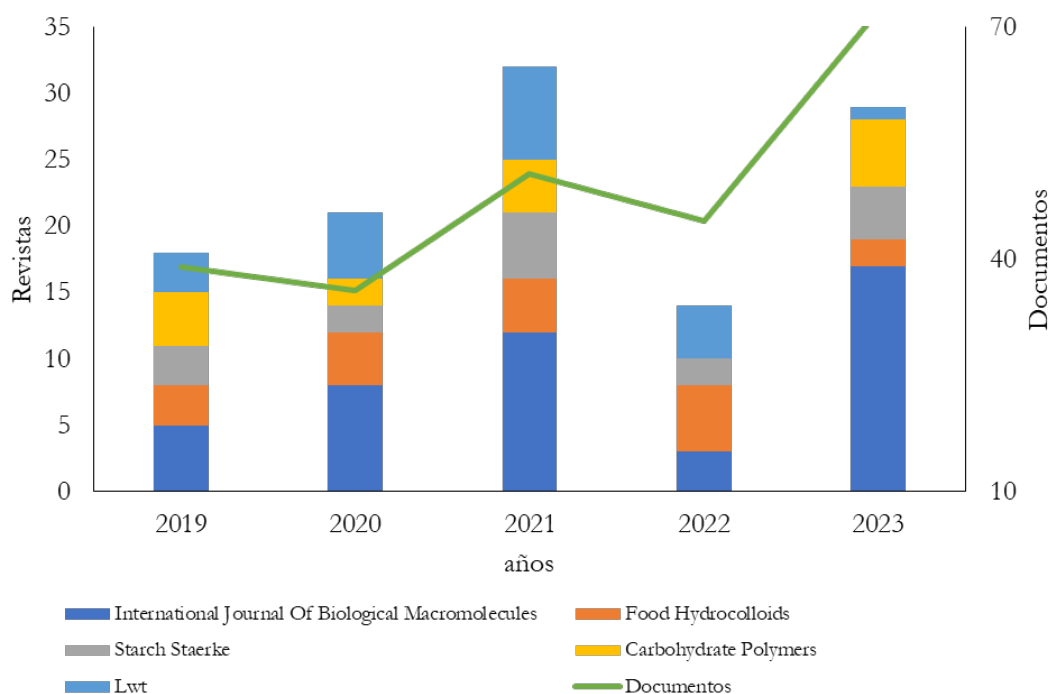


Figura 2. Número de documentos publicados por años y las principales revistas en la publicación de investigaciones, referente a la modificación de almidón de cereales y tubérculos.

Por otro lado, la divulgación científica por países y las áreas de conocimiento con mayor producción científica en procesos de modificación de almidones por hidrólisis enzimática y tecnologías físicas emergentes, se ilustran en la figura 3. Los resultados revelan que China es el país con mayores documentos publicados del 2019 a 2023; su volumen es cinco veces mayor que su sucesor India, que se encuentra desarrollando estudios sobre la modificación de almidón, a través de sistemas de ultrasonidos, seguido de Brasil, Estados Unidos e Irán. En el lugar número 18 se visualiza Colombia, con 4 publicaciones, en la síntesis y modificación de almidón.

En este sentido, en Colombia, en el 2019, se estudió el efecto de los almidones de yuca modificados por biocatálisis enzimática (Figueroa-Flórez *et al.* 2019). En el 2023, se incursionó en la implementación de tratamientos hidrotérmicos (ANN) e hidrólisis enzimática simultánea de almidones nativos de yuca, obteniendo, como resultados concluyentes, un nuevo método en la producción de gránulos de tubérculos con superficie microporosa (Figueroa-Flórez *et al.* 2023a); además, se evaluó el efecto de pre-tratamientos físicos, como annealing, calor-humedad y ultrasonido, en el desarrollo de almidones microporosos de tubérculos (Figueroa-

Flórez *et al.* 2023b) y, en este mismo periodo, se reporta un estudio del efecto del proceso simultáneo de biocatálisis enzimática sobre mezclas de almidones pre-gelatinizados de yuca y ñame (Arroyo-Dagobeth *et al.* 2023). Esto quiere decir que, en el país, se está empezando a investigar sobre el efecto de la implementación de tratamientos hidrotérmicos y tecnologías emergentes, como coadyuvante de las actividades hidrolíticas de amilasas en almidones de tubérculos, para mejorar su funcionalidad y versatilidad en la industria de alimentos.

Por otra parte, dentro de las áreas del conocimiento para esta vigilancia, se encuentran las ciencias agrícolas y biológicas,

química, bioquímica, genética y biología molecular (Figura 3). Las ciencias agrícolas y biológicas están enfocadas hacia procesos de modificación de materiales amiláceos, evaluando efectos de diferentes tratamientos físicos y enzimáticos sobre las propiedades fisicoquímicas, morfológicas y estructurales para el desarrollo de materiales amiláceos, con gran potencial en la industria agroalimentaria. A su vez, en esta área se destacan investigaciones orientadas a la preservación de la batata usando tecnologías limpias, en aras de prevenir el pardeamiento enzimático, mantener la calidad nutricional y reducir la acumulación de azúcares reductores durante el almacenamiento (Barua *et al.* 2021; Li *et al.* 2021b; Pang *et al.* 2021).

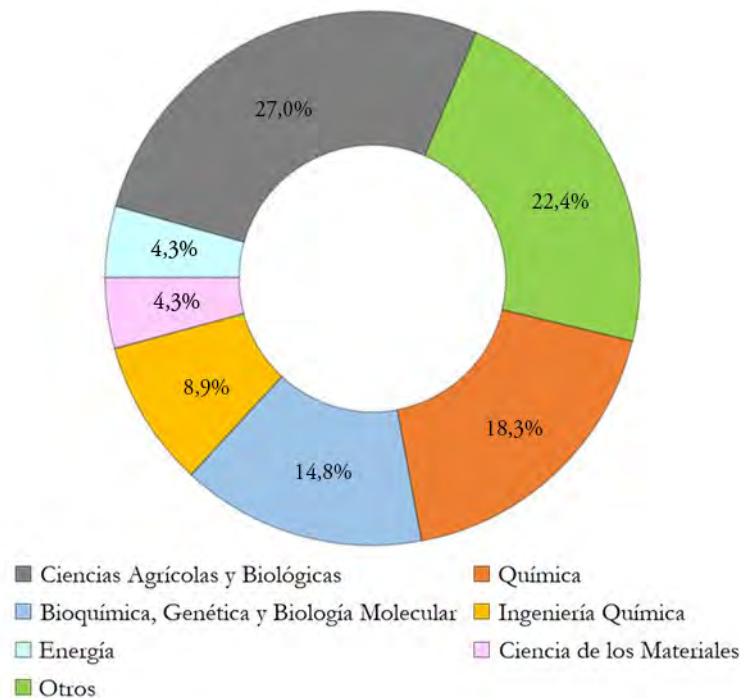


Figura 3. Área temática de las investigaciones referentes a la modificación de almidón de cereales y tubérculos.

El área de química, las investigaciones se han orientado al procesamiento de frutas, cereales y tubérculos para la producción de almidones, así como los procesos de modificación, a través de tratamientos químicos, físicos y enzimáticos. En esta área, se resalta un estudio sobre la mejora del rendimiento de emulsificación del almidón de maíz ceroso, mediante esterificación combinada con campo eléctrico pulsado (Chen *et al.* 2022), mientras que Rahaman *et al.* (2021) han planteado la incorporación de sistemas de ultrasonido, como una tecnología ecológica hacia el desarrollo de materiales amiláceos con nuevas funcionalidades, idóneas para la formulación de productos agroalimentarios.

Respecto al área de Bioquímica, Genética y Biología, los resultados revelan que es un área multi-versátil, donde se encuentran investigaciones relacionadas con procesos de modificación por vía física, química o enzimática, en almidones de cereales, de leguminosas y de tubérculos. En esta área, los estudios se centran en determinar el efecto de tratamientos duales: químicos-hidrotérmicos, ultrasonido-hidrotérmicos y microondas-ultrasonido sobre las

propiedades fisicoquímicas, reológica y digestibilidad *in vitro*, en diferentes tipos de almidones (Duyen *et al.* 2020; Chakraborty *et al.* 2021; Zhang *et al.* 2021).

Del mismo modo, el estudio de vigilancia permitió identificar los principales autores, áreas de investigación e instituciones académicas (Tabla 2). En esta búsqueda se destacan autores, como Bo Cui & Li Guo, adscritos a Qilu University of Technology, cuyas investigaciones se relacionan con temáticas que engloban procesos de biosíntesis del almidón y la modificación del almidón por vía enzimática. Otros autores, como Xinan Zeng & Zhong Han, adscritos a South China University of Technology, han centrado sus investigaciones en la modificación del almidón empleando tratamientos enzimáticos individuales, duales, simultáneos o secuenciales, para la obtención de almidones porosos (Guo *et al.* 2019; 2020; Han *et al.* 2020; Hong *et al.* 2020). A su vez, Dandan Li, adscrito a la Nanjing Agricultural University, ha investigado el mecanismo de aplicación de hidrólisis enzimática electroasistida, como método novedoso en la producción de almidones porosos de

cereales (Li *et al.* 2020a; 2021a; 2022). A nivel de Latinoamérica, el investigador Egon Schnitzler, adscrito a la Universidad de Estadual de Ponta Grossa, en colaboración con otros autores, ha centrados sus estudios científicos en la implementación de tratamientos calor-humedad (HMT), en mezclas de almidones de papa y batata, así como el uso de tecnologías emergentes, en la modificación de almidón de malanga morada (*Colocasia esculenta*) (Henning *et al.* 2019; Martins *et al.* 2020; Thomaz *et al.* 2020).

Depuración de la información: Implementando el software de VOSviewer se obtuvo información más detallada, a través de mapas de tendencias (Figura 4). La búsqueda de información científica y tecnológica realizada permitió identificar las tendencias actuales en los procesos de modificación por vía enzimática asistida con tecnologías emergentes, donde se lograron identificar cuatro líneas temáticas, con el apoyo de expertos en las temáticas de vigilancia científica y en el campo de la Ciencia y Tecnología del Almidón.

Tabla 2. Instituciones y autores de mayor investigación, documentos publicados y sus áreas temáticas de investigación, referente a la modificación de almidones.

Autor	Instituciones	Documentos	Áreas Temáticas
Bo Cui	Qilu University of Technology	11	Bioquímica, Genética y Biología Molecular, Química, Ciencia de Materiales, Ingeniería Química
Li Guo		7	
Jiahao Li		5	
Xinan Zeng	South China University of Technology	10	Ciencias Agrícolas y Biológicas, Química, Ingeniería, Bioquímica, Genética y Biología Molecular.
Zhong Han		8	
Dandan Li	Nanjing Agricultural University	10	Ciencias Agrícolas y Biológicas, Química, Ingeniería Química, Bioquímica, Genética
Yongbin Han		9	
Yang Tao		9	
Han jiang	Northwest A&F University	5	Ciencias Agrícolas y Biológicas, Química, Ingeniería, Bioquímica,
Egon Schnitzler	Universidad de Estadual de Ponta Grossa	5	Química. Física y Astronomía. Ciencias Agrícolas y Biológicas. Ingeniería Química,

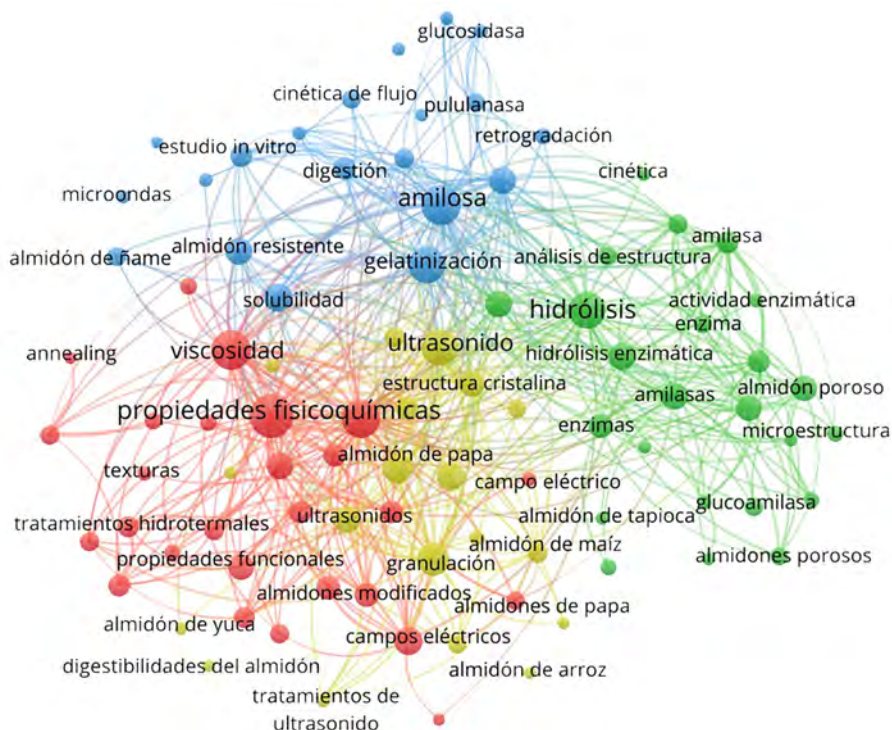


Figura 4. Mapa temático derivado de las palabras claves asociadas a la modificación de cereales y tubérculos.

Clúster I (Rojo). Los temas identificados en esta línea temática, referente a la modificación de materiales amiláceos, presentan un enfoque hacia los “tratamientos físicos”, como el hidrotérmico calor/humedad (HMT), tratamiento por Annealing y los campos eléctricos. Los resultados revelan que los estudios han estado

centrados en evaluar el efecto de diversos tratamientos físicos sobre el grado de cristalinidad, viscosidades de empastamiento y fracciones de digestibilidad *in vitro* del almidón. Asimismo, dentro de este conglomerado, se observa un mayor número de investigaciones asociadas a evaluar el impacto de los tratamientos hidrotérmicos

(annealing y calor-humedad) y las tecnologías emergentes y cómo estas afectan los atributos fisicoquímicos y estructurales de los almidones (Dudu *et al.* 2019; Chakraborty *et al.* 2021; Yu *et al.* 2021; Wang *et al.* 2022).

Adicionalmente, en el clúster se observa la producción de almidones con propiedades de digestión lenta o “almidón resistente”. El almidón resistente es una fracción del almidón, que es capaz de resistir a la digestión y se mantiene íntegro a lo largo del tracto gastrointestinal, el cual, se puede obtener con la acción combinada de un proceso inicial de retrogradación seguido de la acción enzimática, preferentemente, una enzima desramificadora, como la pululanasa (Villarreal *et al.* 2018; Olayo-Contreras *et al.* 2022). En esta línea de investigación se han implementado tecnologías físicas en procesos de modificación dual, mediante campo eléctrico y ultrasonido en almidones de papa, para aumentar las propiedades hidrofílicas y la fracción de almidón resistente (Cao & Gao, 2020; Chi *et al.* 2023). Igualmente, los tratamientos hidrotérmicos, como el annealing, asistidos por ultrasonidos, han permitido el desarrollo de almidones resistentes tipo 3, incrementando las propiedades estructurales y la digestibilidad, con potencial aplicación en alimentos de baja respuesta glucémica (Chang *et al.* 2021). Las modificaciones de los materiales amiláceos están orientadas a métodos sostenibles, que permitan el aumento de las fracciones de lenta digestión y almidón resistente.

Clúster II (Amarillo). La segunda línea temática está orientada hacia las “tecnologías emergentes”, como la cavitación ultrasónica y microondas. Estas tecnologías son utilizadas como un método novedoso para la modificación de materiales amiláceos con cambios significativos sobre la estructura cristalina, propiedades de empastamiento y cambios morfológicos (Yang *et al.* 2019), implementadas, específicamente, en la modificación almidones de maíz, de papa, de ñame y de yuca, con el fin de promover el desarrollo de procesos no-químicos en la ciencia y la tecnología del almidón (Hu *et al.* 2019). Algunos estudios reportan el uso del sistema de ultrasonido y microonda en las propiedades estructurales y térmicas de los almidones de maíz y de batata (Rostamabadi *et al.* 2022; Yilmaz & Tugrul, 2023). De lo anterior, se realiza el análisis competitivo: el uso de tecnologías emergentes ha tenido gran auge en el estudio de las propiedades y las características de los materiales amiláceos, siendo viables para la aplicación de matrices alimentarias; sin embargo, estas tecnologías aún no han sido implementadas en la elaboración de productos alimentarios.

Clúster III (Verde). La tercera línea temática está enfocada hacia “procesos de hidrólisis enzimática”, como tecnologías limpias en la modificación del almidón. La hidrólisis enzimática se ha utilizado como una herramienta eficaz para comprender mejor la estructura del gránulo de almidón de diferentes fuentes vegetales (Salcedo-Mendoza *et al.* 2018); a su vez, también se han usado, para determinar el efecto de la acción enzimática sobre las propiedades fisicoquímicas, morfológicas y de empastamiento de almidones de cereales, particularmente, en la producción de almidones porosos solubles en agua fría o con propiedades de lenta digestión (Figuroa-Flórez *et al.* 2023a). Además, se ha encontrado

que los procesos biocatalíticos asistidos por campos eléctricos son eficaces en la producción de almidones con estructuras porosas, que proporcionan mayor capacidad de absorción de agua, aumentan la solubilidad y mejora la transparencia del gel (Han *et al.* 2020). Otros estudios, como los de Xie *et al.* (2019), se han centrado en los efectos de la combinación del tratamiento térmico-HMT repetido y la hidrólisis de enzimas compuestas sobre las propiedades estructurales y fisicoquímicas de la producción de almidones de trigo porosos; sin embargo, los estudios enfocados a la producción de almidones porosos de tubérculos, como la yuca y el ñame, a través de la implementación de tecnologías físicas y enzimáticas combinadas sobre la modificación de almidones de tubérculos, son escasos.

Inteligencia competitiva

Las proyecciones del estudio de vigilancia científica asociadas a las tecnologías físico-enzimáticas en el desarrollo de almidones modificados permitieron identificar las tendencias en el desarrollo de procesos de funcionalización de materiales amiláceos. En Colombia, la Universidad de Sucre, a través del Grupo de Investigación PADES, ha sido el referente de las investigaciones actuales, enfocados en evaluar el efecto de las modificaciones físico-enzimáticas sobre harinas y almidones nativos de tubérculos, como la yuca, el ñame y la batata. De la misma forma, los resultados encontrados permiten plantear diferentes perspectivas de investigación, las cuales, se encuentran direccionadas a las siguientes líneas temáticas: (1) Evaluar el efecto de la hidrólisis enzimática electro-asistida sobre almidones de tubérculos para producir almidones porosos; (2) Desarrollo de materiales amiláceos derivados de batata con propiedades microencapsulantes de compuestos bioactivos; (3) Aplicación de procesos de funcionalización empleando ultrasonido de alta frecuencia en la modificación enzimática de materiales amiláceos no convencionales; (4) Producción de harinas resistentes o de digestión lenta, mediante el uso de procesos hidrotérmicos, con ciclos repetidos y procesos biocatalíticos de des-ramificación; (5) biocatálisis enzimática simultánea ininterrumpida sobre mezclas poliméricas de materiales amiláceos no convencionales.

Vigilancia tecnológica (Patentes)

En la búsqueda de prototipos tecnológicos patentados se encontraron doce tipos de invención relacionados directamente con la temática de la vigilancia, donde se divulgan métodos para preparar almidón poroso, a través de campos eléctricos en la actividad biocatalítica de α -amilasa. El método resalta la eficiencia en la producción de gránulos porosos usando una tasa de calentamiento uniforme, inducida por campo eléctrico, logrando alcanzar una reducción del 40 a 80 % de energía requerida en el proceso, comparado con el calentamiento inducido por baño de agua tradicional (Li *et al.* 2020b). Un segundo prototipo patentado describe el método para preparar almidón resistente de punta de flecha por pululanasa sinérgico del ultrasonido; el método acelera el movimiento de las moléculas del disolvente, mediante la cavitación y la vibración mecánica de la onda ultrasónica y resuelve el problema de la baja eficacia de la reacción de hidrólisis enzimática en el proceso de

preparación del almidón resistente por el método enzimático (Ren *et al.* 2021).

Se concluye que, de acuerdo con el estudio de VCT, la dinámica de publicaciones ha estado orientada a la evaluación de tecnologías convencionales, como la implementación de procesos físicos y enzimáticos en la modificación del almidón y su efecto sobre el comportamiento de propiedades fisicoquímicas, morfológicas, estructurales y de digestibilidad *in vitro*. Además, se encontró que las investigaciones actuales han estado enfocadas en el uso de tecnologías emergentes, ya sea como pretratamiento o métodos de estimulación de la hidrólisis enzimática del almidón, con funcionalidades microporosas o de digestión lenta.

Las tecnologías emergentes, como ultrasonido, campos eléctricos y microondas, han sido ampliamente utilizadas para acelerar o mejorar la velocidad de hidrólisis de los materiales amiláceos, durante el ataque enzimático. Adicionalmente, se encontró que los tratamientos hidrotérmicos de annealing (ANN) o calor-humedad (HMT) surgen como tecnologías propicias en el hinchamiento granular de almidones de tubérculos previo a la hidrólisis enzimática asistida con tecnologías emergentes, facilitando la difusión de las enzimas y la formación de estructuras microporosas en los almidones. En este sentido, los campos eléctricos y los pretratamientos hidrotérmicos generan gran interés industrial en la producción de almidones de tubérculos, debido a su bajo coste, fácil escalamiento y versatilidad.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue ejecutado, 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:** Los autores agradecen a MINCIENCIAS (Colombia) y al Sistema General de Regalías, por la financiación del proyecto con código BPIN 2020000100035, a través de recursos del Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTel). **Contribución de los autores:** Nedys Acevedo: Estructuración de metodología y redacción de resultados; Manuel Cervera: edición y revisión del manuscrito, validación de ecuaciones de búsqueda; Jorge Figueroa: Estructuración de análisis de resultados y validación de ecuaciones de búsqueda; Jairo Salcedo: edición del manuscrito y validación de ecuaciones de búsqueda; Verónica Ramos: Creación de ecuaciones de búsqueda.

REFERENCIAS

- AMINI, A.M.; RAZAVI, S.M.A.; MORTAZAVI, S.A. 2015. Morphological, physicochemical, and viscoelastic properties of sonicated corn starch. *Carbohydrate Polymers*. 122:282-292. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.020>
- ANDRADE, J.M.; RAMÍREZ PLAZAS, E.; QUINTERO, A. 2017. Vigilancia tecnológica del sector agroindustrial. *Entornos*. 30(2):23-35. <https://doi.org/10.25054/01247905.1404>
- ARROYO-DAGOBETH, E.D.; FIGUEROA-FLOREZ, J.A.; CADENA-CHAMORRO, E.; RODRIGUEZ-SANDOVAL, E.; SALCEDO-MENDOZA, J.G.; CERVERA-RICARDO, M.A. 2023. Structural, physicochemical, and psating properties of native cassava (*Manihot esculenta*) and yam (*Dioscorea alata*) starch blends. *Agronomía Colombiana*. 41(3):1-12. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n3.110111>
- BAI, T.G.; ZHANG, L.; QIAN, J.Y.; JIANG, W.; WU, M.; RAO, S.Q.; LI, Q.; ZHANG, C.; WU, C. 2021. Pulsed electric field pretreatment modifying digestion, texture, structure and flavor of rice. *LWT*. 13:110650. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110650>
- BARUA, S.; TUDU, K.; RAKSHIT, M.; SRIVASTAV, P.P.; 2021. Characterization and digestogram modeling of modified elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) starch using ultrasonic pretreated autoclaving. *Journal of Food Process Engineering*. 44(11):e13841. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13841>
- CAO, M.; GAO, Q. 2020. Effect of dual modification with ultrasonic and electric field on potato starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 150:637-643. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.008>
- CHAKRABORTY, I.; GOVINDARAJU, I.; RONGPIPI, S.; MAHATO, K.K.; MAZUMDER, N. 2021. Effects of hydrothermal treatments on physicochemical properties and in vitro digestion of starch. *Food Biophysics*. 16(4):544-554. <https://doi.org/10.1007/s11483-021-09687-7>
- CHANG, R.; LU, H.; BIAN, X.; TIAN, Y.; JIN, Z. 2021. Ultrasound assisted annealing production of resistant starches type 3 from fractionated debranched starch: Structural characterization and in-vitro digestibility. *Food Hydrocolloids*. 110:106141. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106141>
- CHEN, B.R.; WANG, Z.M.; LIN, J.W.; WEN, Q.H.; XU, F.Y.; LI, J.; WANG, R.; ZENG, X.A. 2022. Improving emulsification performance of waxy maize starch by esterification combined with pulsed electric field. *Food Hydrocolloids*. 129:107655. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107655>
- CHI, C.; YANG, Y.; LI, S.; SHEN, X.; WANG, M.; ZHANG, Y.; ZHENG, X.; WENG, L. 2023. Starch intrinsic crystals affected the changes of starch structures and digestibility during microwave heat-moisture treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*. 240:124297. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124297>
- DUDU, O.E.; OYEDEJI, A.B.; OYEYINKA, S.A.; MA, Y. 2019. Impact of steam-heat-moisture treatment on structural and functional properties of

- cassava flour and starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 126:1056-1064. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.210>
- DUYEN, T.T.M.; HUONG, N.T.M.; PHI, N.T.L.; VANHUNG, P. 2020. Physicochemical properties and in vitro digestibility of mung-bean starches varying amylose contents under citric acid and hydrothermal treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*. 164:651-658. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.187>
- FIGUEROA-FLÓREZ, J.; CADENA-CHAMORRO, E.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SALCEDO-MENDOZA, J.; CIRO-VELÁSQUEZ, H. 2023a. Hydrothermal processes and simultaneous enzymatic hydrolysis in the production of modified cassava starches with porous-surfaces. *Heliyon*. 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17742>
- FIGUEROA-FLÓREZ, J.A.; ARROYO-DAGOBETH, E.D.; CADENA-CHAMORRO, E.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SALCEDO-MENDOZA, J.G.; CIRO-VELÁSQUEZ, H.J. 2023b. Effect of physical and thermal pretreatments on enzymatic activity in the production of microporous cassava starch. *Agronomía Colombiana*. 41(1):1-11. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n1.105089>
- FIGUEROA-FLÓREZ, J.A.; CADENA-CHAMORRO, E.M.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SALCEDO-MENDOZA, J.; CIRO-VELÁSQUEZ, H.J. 2019. Cassava starches modified by enzymatic biocatalysis: Effect of reaction time and drying method. *DYNA (Colombia)*. 86(208):162-170. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72976>
- GUO, L.; LI, J.; GUI, Y.; ZHU, Y.; YU, B.; TAN, C.; FANG, Y.; CUI, B. 2020. Porous starches modified with double enzymes: Structure and adsorption properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 164:1758-1765. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.323>
- GUO, L.; LI, H.; LU, L.; ZOU, F.; TAO, H.; CUI, B. 2019. The role of sequential enzyme treatments on structural and physicochemical properties of cassava starch granules. *Starch/Stärke*. 71(7-8):1800258. <https://doi.org/10.1002/star.201800258>
- HAN, Z.; HAN, Y.; WANG, J.; LIU, Z.; BUCKOW, R.; CHENG, J. 2020. Effects of pulsed electric field treatment on the preparation and physicochemical properties of porous corn starch derived from enzymolysis. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44(3):e14353. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14353>
- HENNING, F.G.; SCHNITZLER, E.; DEMIATE, I.M.; LACERDA, L.G.; ITO, V.C.; MALUCELLI, L.C.; DA SILVA CARVALHO FILHO, M.A. 2019. Fortified rice starches: The role of hydrothermal treatments in zinc entrapment. *Starch – Stärke*. 71(1-2):1800130. <https://doi.org/10.1002/STAR.201800130>
- HONG, J.; AN, D.; ZENG, X.A.; HAN, Z.; ZHENG, X.; CAI, M.; BIAN, K.; AADIL, R.M. 2020. Behaviors of large A-type and small B-type wheat starch granules esterified by conventional and pulsed electric fields assisted methods. *International Journal of Biological Macromolecules*. 155:516-523. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.184>
- HU, A.; LI, Y.; ZHENG, J. 2019. Dual-frequency ultrasonic effect on the structure and properties of starch with different size. *Lwt*. 106(29):254-262. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.040>
- KLEIN, B.; PINTO, V.Z.; VANIER, N.L.; ZAVAREZE, E.D.R.; COLUSSI, R.; DO EVANGELHO, J.A.; GUTKOSKI, L.C.; DIAS, A.R.G. 2013. Effect of single and dual heat-moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhao starches. *Carbohydrate Polymers*. 98(2):1578-1584. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.036>
- LI, D.; HUANG, Y.; TAO, Y.; XU, E.; ZHANG, R.; HAN, Y. 2020a. Effect of metal salts on α -amylase-catalyzed hydrolysis of broken rice under a moderate electric field. *Food Research International*. 137:09707. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109707>
- LI, D.; JIANG, L.; HAN, Y.; TAO, Y.; HOU, V.; DENG, J.; LI, M.; YANG, N.; XU, X. 2020b. Method for preparing porous starch by using alternating electric field (China. Patent No. CN110734569B). Nanjing Agricultural University. <https://app.patentinspiration.com/#report/89C245B876e7/filter/patents/CN110734569A?inventor=5784482%2C4916522>
- LI, D.; JIANG, L.; TAO, Y.; YANG, N.; HAN, Y. 2021a. Enhancement of efficient and selective hydrolysis of maize starch via induced electric field. *LWT*. 143:111190. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111190>
- LI, D.; TAO, Y.; SHI, Y.; WU, Z.; XU, E.; CUI, B.; HAN, Y. 2021b. Preparation of porous starch by α -amylase-catalyzed hydrolysis under a moderate electric field. *Lwt*. 137:110449. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110449>
- LI, D.; WU, Z.; WANG, P.; XU, E.; CUI, B.; HAN, Y.; TAO, Y. 2022. Effect of moderate electric field on glucoamylase-catalyzed hydrolysis of corn starch: Roles of electrophoretic and polarization effects. *Food Hydrocolloids*. 122:107120. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107120>
- LI, Y.; HU, A.; ZHENG, J.; WANG, X. 2019. Comparative studies on structure and physicochemical changes of millet starch under microwave and ultrasound at the same power. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141:76-84. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.218>
- MANIGLIA, B.C.; CASTANHA, N.; ROJAS, M.L.; AUGUSTO, P.E. 2021a. Emerging technologies to enhance starch

- performance. *Current Opinion in Food Science*. 37:26-36. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.003>
- MANIGLIA, B.C.; PATARO, G.; FERRARI, G.; AUGUSTO, P.E.D.; LE-BAIL, P.; LE-BAIL, A. 2021b. Pulsed electric fields (PEF) treatment to enhance starch 3D printing application: Effect on structure, properties, and functionality of wheat and cassava starches. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 68:102602. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102602>
- MARTINS, A.; BENINCA, C.; BET, C.D.; BISINELLA, R.Z.B.; DE OLIVEIRA, C.S.; HORNING, P.S.; SCHNITZLER, E. 2020. Ultrasonic modification of purple taro starch (*Colocasia esculenta* B. Tini): structural, psychochemical and thermal properties. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 142(2):819-828. <https://doi.org/10.1007/S10973-020-09298-3>
- OCHOA-MARTÍNEZ, L.A.; LUNA-SOLÍS, H.A.; BERMÚDEZ-QUIÑONES, G. 2021. Almidón de camote: Modificaciones enzimáticas, físicas y químicas: Una revisión. *Tecnociencia Chihuahua*. 15(3):221-233. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i3.854>
- OLAYO-CONTRERAS, V.M.; ALEMÁN-CASTILLO, S.J.; RODRÍGUEZ-CASTILLEJOS, G.; CASTILLO-RUIZ, O. 2022. Almidón resistente como prebiótico y sus beneficios en el organismo humano. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 24:1-7. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.406>
- ORJUELA-GARZÓN, W.A.; ARAQUE E.W.A.; CABRERA P.R.A. 2020. Identificación de tecnologías y métodos para la detección temprana del Huanglongbing (HLB) a través de cienciometría en artículos científicos y patentes. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*. 21(2):1-24. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num2_art:1208
- PANG, L.; LU, G.; CHENG, J.; LU, X.; MA, D.; LI, Q.; LI, Z.; ZHENG, J.; ZHANG, C.; PAN, S. 2021. Physiological and biochemical characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) roots treated by a high voltage alternating electric field during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 180:111619. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111619>
- RAHAMAN, A.; KUMARI, A.; ZENG, XIN-AN.; FAROOQ, A.M.; SIDDIQUE, R.; KHALIFA, I.; SIDDEEG, A.; ALI, M.; MANZOOR, M.F. 2021. Ultrasound based modification and structural-functional analysis of corn and cassava starch. *Ultrasonics Sonochemistry*. 80:105795. <https://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2021.105795>
- REN, X.; LIANG, Q.; MA, H.; YANG, X.; CHEN, X.; TANG, J.; LIU Y. 2021. Method for preparing arrowhead resistant starch by ultrasound synergistic pullulanase (China. Patent No. WO2021114694A1). Universidad Jiangsu. <https://patents.google.com/patent/WO2021114694A1/en?q=WO2021114694A1>
- ROSTAMABADI, H.; ROHIT, T.; KARACA, A.; NOWACKA, M.; COLUSSI, R.; FEKSA S.; AALIYA, B.; VALIYAPEEDIYEKKAL, K.; REZA, S. 2022. How non-thermal processing treatments affect physicochemical and structural attributes of tuber and root starches? *Trends in Food Science & Technology*. 128(1):217-237. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.009>
- SALCEDO-MENDOZA, J.; PATERNINA-URZOLA, S.; LUJAN-RHENALS, D.; FIGUEROA-FLÓREZ, J. 2018. Enzymatic modification of cassava starch (Corpoica M-Tai) around the pasting temperature. *DYNA (Colombia)*. 85(204):223-230. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.66620>
- SOTO, I.L.; LUJAN, R.D.; SALCEDO, J.; TORRES, R. 2018. Evaluation of physical, physico-chemical and sensorial properties of cottage diabolines and diabolines obtained under standard conditions of process. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 16:5965. <https://doi.org/10.19026/ajfst.16.5965>
- THOMAZ, L.; ITO, V.C.; MALUCELLI, L.C.; DA SILVA CARVALHO FILHO, M.A.; DEMIATE, I.M.; BET, C.D.; MARINHO, M.T.; SCHNITZLER, E.; LACERDA, L.G. 2020. Effects of dual modification on thermal, structural and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta* L.) starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 139(5):312-3132. <https://doi.org/10.1007/S10973-019-08728-1>
- VELASCO, R.J.; LUNA, W.A.; MERA, J.A.; VILLADA, H.S. 2008. Producción de dextrinas a partir de almidón nativo de yuca por ruta seca en una agroindustria rural. *Información Tecnológica*. 19(2):15-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000200003>
- VILLARROEL, P.; GÓMEZ, C.; VERA, C.; TORRES, J. 2018. Almidón resistente: características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*. 45:8. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- WANG, D.; HOU, F.; MA, X.; CHEN, W.; YAN, L.; DING, T.; YE, X.; LIU, D. 2020. Study on the mechanism of ultrasound-accelerated enzymatic hydrolysis of starch: Analysis of ultrasound effect on different objects. *International Journal of Biological Macromolecules*. 148:493-500. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.064>
- WANG, L.; WANG, M.; ZHOU, Y.; WU, Y.; OUYANG, J. 2022. Influence of ultrasound and microwave treatments on the structural and thermal properties of normal maize starch and potato starch: A comparative study. *Food Chemistry*. 377:131990. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131990>
- XIE, Y.; LI, M.N.; CHEN, H.Q.; ZHANG, B. 2019. Effects of the combination of repeated heat-moisture treatment and compound enzymes hydrolysis on the structural and physicochemical properties of

- porous wheat starch. *Food Chemistry*. 274:351-359. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.034>
- YANG, W.; KONG, X.; ZHENG, Y.; SUN, W.; CHEN, S.; LIU, D.; ZHANG, H.; FANG, H.; TIAN, J.; YE, X. 2019. Controlled ultrasound treatments modify the morphology and physical properties of rice starch rather than the fine structure. *Ultrasonics Sonochemistry*. 59:104709. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2019.104709>
- YILMAZ, A.; TUGRUL, N. 2023. Effect of ultrasound-microwave and microwave-ultrasound treatment on physicochemical properties of corn starch. *Ultrasonics Sonochemistry*. 98:106516. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106516>
- YU, B.; LI, J.; TAO, H.; ZHAO, H.; LIU, P.; CUI, B. 2021. Physicochemical properties and in vitro digestibility of hydrothermal treated Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) starch and flour. *International Journal of Biological Macromolecules*. 176:177-185. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.064>
- ZHANG, K.; ZHAO, D.; GUO, D.; TONG, X.; ZHANG, Y.; WANG, L. 2021. Physicochemical and digestive properties of A- and B-type granules isolated from wheat starch as affected by microwave-ultrasound and toughening treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*. 183:481-489. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.04.180>



La agregación de valor en organizaciones de agricultura familiar en Nariño, Colombia

Adding value in family farming organizations in Nariño, Colombia

Venancio Cuevas-Reyes¹ ; Carlos Julián Ramirez-Gómez^{2*}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - INIFAP. Ciudad de México, México; e-mail: cuevas.venancio@inifap.gob.mx.

²Universidad de Caldas, Departamento de Desarrollo Rural. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: carlosj.ramirez@ucaldas.edu.co

*autor de correspondencia: carlosj.ramirez@ucaldas.edu.co

Cómo citar: Cuevas-Reyes, V.; Ramirez-Gómez, C.J. 2024. La agregación de valor en organizaciones de agricultura familiar en Nariño, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2430. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2430>

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 14 de 2023

Aceptado: febrero 20 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La agricultura familiar es considerada como un modelo productivo potencial, ya que desde la organización asociativa se contribuye con volúmenes de producción y de abastecimiento de alimentos; sin embargo, estas entidades enfrentan retos relacionados con una mejor inserción en los circuitos de mercado, por lo cual, buscan estrategias para diferenciarse. El objetivo de este estudio es identificar los factores que determinan la agregación de valor de los productos agrícolas comercializados por organizaciones de agricultura familiar, en el Departamento de Nariño, Colombia. A través del método de estudio de caso fue seleccionada una muestra de 150 organizaciones agrícolas familiares y el análisis de la información, se realizó mediante un modelo Probit. El 64 % de las entidades realizan actividades de valor agregado, las variables significativas ($P < 0,05$) fueron el nivel de ingresos y con signo negativo, la pérdida de producto, la producción promedio y los kilogramos vendidos. Además, las organizaciones con mayores ingresos tienen más probabilidad de dar valor agregado a los productos; en contraste, menor producción y pérdidas del producto, ocasionan que disminuya dicha probabilidad. Se requiere la implementación de políticas que favorezcan la agregación de valor de los productos agroalimentarios, para lograr una mejor comercialización de los productos, menor pérdida de alimentos y mayor ingreso.

Palabras clave: Agroindustria; Circuitos de mercado; Mercado agrícola; Producción agrícola; Valor agregado.

ABSTRACT

Family farming is considered a potential productive model since the associative organization contributes to production volumes and food supply. However, these organizations face challenges related to a better insertion in the market circuits, for which they seek strategies to differentiate themselves. This study aims to identify the factors that determine the added value of agricultural products marketed by family farming organizations in the Department of Nariño, Colombia. Through the case study method, a sample of 150 family farm organizations was selected, and the information was analyzed using a Probit model. 64 % of the organizations carry out value-added activities; the significant variables ($P < 0.05$) were the income level and, with a negative sign, the loss of product, the average production, and the kilograms sold. In addition, higher-income organizations are more likely to add value to products; in contrast, lower production and product losses cause this probability to decrease. Implementing policies that favor adding value to agri-food products is required to achieve better commercialization of the products, less food loss, and higher income.

Keywords: Agroindustry; Agricultural market; Agricultural production; Market circuits; Value added.

INTRODUCCIÓN

La agricultura familiar es la forma predominante de producción alimentaria y agrícola en los países desarrollados y en desarrollo, ya que produce más del 80 % de los alimentos del mundo (FAO & IFAD, 2019). De acuerdo con Acevedo-Osorio & Martínez-Collazo (2016), la agricultura familiar en Colombia es multidiversa, puesto que se encuentra representada por campesinos, indígenas, afrocolombianos, pescadores, agricultores urbanos y neo-rurales, en el marco de variados sistemas de producción agropecuaria, generando la producción de buena parte de los alimentos básicos de los colombianos y tiene una representación importante en la economía nacional; sin embargo, las políticas y los programas rurales del país, aún carecen de criterios de política diferencial, que reconozcan sus particularidades y potencien sus capacidades, desde un enfoque territorial.

La agricultura familiar es una noción conceptual con variadas categorías e interpretaciones, dentro de las cuales, se destaca como modelo productivo, con capacidad y medios para diseñar diversas formas de explotación de sus predios, pero, también, como un modelo con amplia flexibilidad de los factores de producción, que caracteriza a la agricultura familiar, como una agricultura de mercado, con objetivos, incluso, similares a la agricultura empresarial (Carmagnani, 2008); no obstante, la agricultura familiar viene enfrentando en los territorios rurales diversas adversidades socioeconómicas, asociadas con cambios globales en el ámbito económico (mercados globalizados, estructuras corporativas y consolidación de monopolios), cambios sociales, alteraciones ambientales y, además, transformaciones culturales (Rodríguez Espinosa, 2018).

Desde el punto de vista sectorial, probablemente, uno de los mayores desafíos de la agricultura familiar consiste en su inserción en los circuitos de mercado, lo que ha generado, en diversos territorios rurales, procesos organizativos de la agricultura familiar, como mecanismos de respuesta colectiva, que tiene, como fin, una mayor relación de poder dentro de la dinámica comercial agropecuaria, incluso, la búsqueda de acuerdos y articulación (Caballero *et al.* 2010); no obstante, las organizaciones de agricultura familiar siguen presentando dificultades para acceder a mercados favorables, por lo cual, suelen buscar diferenciar su producción, a través de sellos y etiquetas, procesos de certificación y mínimas transformaciones agroindustriales a los productos, entre otros (Roldán Rueda *et al.* 2018). Esto pone en contexto la importancia de la agregación de valor que pueden llevar a cabo las organizaciones de agricultura familiar, buscando comprender más sobre diversos factores y determinantes asociados al asunto.

De hecho, la mayor parte de la literatura define la creación de valor en los agronegocios, como la agregación de valor económico a un producto, al cambiar sus características actuales de lugar, tiempo y forma, a características más preferidas en el mercado (Anderson & Hanselka, 2009; Coltrain *et al.* 2000). Además, se ha planteado que la agregación de valor depende de varios factores, como las características del mercado, condiciones institucionales,

sociales y ambientales, capacidades tecnológicas de los productores, incluso, preferencias de los consumidores (Fan *et al.* 2021). De hecho, autores, como Kruska *et al.* (2003), plantean que el valor agregado se ve afectado por la oportunidad de tener recursos, así como por la oferta laboral, las tecnologías utilizadas, las demandas de los consumidores, las instalaciones disponibles y los equipos contratados.

Es así, como las estrategias de agregación de valor que pueden ser desplegadas por las organizaciones de agricultura familiar, cuentan con amplios grados de complejidad, dado que se pueden basar en los canales y sistemas de comercialización específicos, asentados en los territorios rurales (Rodríguez Sperat *et al.* 2015) y donde las construcciones de tales estrategias comerciales responden a un balance entre la realidad y la disponibilidad de recursos endógenos y exógenos, de mercado, de redes sociales, de tecnología y de conocimientos propios (Paz & Infante, 2020). Es por ello, por lo que el involucramiento de amplios componentes y variables en torno a la agregación de valor en el sector agropecuario demanda de mayor investigación empírica, con el fin de validar nuevas hipótesis asociadas con el rol que tienen las organizaciones de agricultura familiar.

La presente investigación tiene como objetivo identificar los factores que determinan la agregación de valor de los productos agrícolas comercializados por organizaciones de agricultura familiar, en el Departamento de Nariño, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la zona de estudio. El Departamento de Nariño cuenta con una superficie total de 33.265 km², correspondientes al 2,9 % de la extensión territorial de Colombia, conformando 64 municipios rurales y cinco subregiones (UNAL, 2012). Esta región constituye un territorio con una realidad social y económica especial, por la multiplicidad de grupos étnicos que interactúan y su riqueza cultural. El departamento de Nariño cuenta con un marco de oportunidades para la dinamización de su economía agropecuaria, que parte de su ubicación geográfica estratégica, la cual, genera posibilidades de intercambio comercial con Ecuador, así como una variada oferta climática y de usos del suelo para la producción agropecuaria, con una amplia presencia del modelo de agricultura familiar (FAO, 2019).

Recolección de datos y análisis. En esta investigación se utilizó el estudio de caso, ya que esta metodología permite contribuir a la comprensión de fenómenos individuales u organizacionales en una región (Yin, 2009). Además, el estudio de caso sirve como una estrategia de investigación empírica en torno a un fenómeno de investigación específica, en un contexto real (Jiménez Chaves, 2012).

La información fue obtenida a través del desarrollo de encuestas, las cuales, fueron aplicadas directamente con los dirigentes de organizaciones de agricultura familiar (OAF), en el departamento de Nariño. Se obtuvo la respuesta de 150 OAF de producción

agrícola, en diversos renglones y en 34 municipios rurales, de los 64 con que cuenta el Departamento. El cuestionario aplicado contiene información sobre los productos agrícolas que se venden, cantidades correspondientes, destino y canal de comercialización y procesos de valor agregado que le dan a sus productos, antes de la venta.

Para el análisis de la información se tomaron en cuenta diez variables (Tabla 1). La selección de las variables está basada en estudios previos que señalan que el mercado (X_7, X_8, X_9, X_{10}) es un factor determinante para dar valor agregado (Fan *et al.* 2021); demanda (X_2, X_3, X_4, X_5) de los productos que se generan (Kruska *et al.* 2003), así como los ingresos (X_1) y tamaño de la tierra (X_6) (Wangu *et al.* 2020). Es importante mencionar que el cuestionario aplicado se enfocó a la parte de vinculación comercial y no se obtuvieron datos sobre el contexto y los aspectos sociales de los integrantes.

Modelo econométrico y análisis de la información. El análisis de la información se realizó mediante un modelo Probit, de elección discreta, en donde la variable endógena presenta dos alternativas 0 y 1 (Aldrich & Nelson, 1984). De esta forma, la variable dependiente (Y) está relacionada con la adición de valor agregado y para los términos del análisis, se asumieron dos valores: 1, si la OAF se dedica a la adición de valor y 0, en el caso contrario. El modelo econométrico propuesto sigue las etapas desarrolladas por Cuevas-Reyes *et al.* (2020) y los sustentos teóricos propuestos por Aldrich & Nelson (1984) y Greene (2012), en las cuales, señala que el modelo probit utiliza una función de distribución acumulativa normal;

el modelo probabilístico se estima por el método de máxima verosimilitud y, posteriormente, se obtiene el cambio marginal. El cambio marginal de la función de densidad de la distribución normal estándar se evalúa en un punto definido y el parámetro a evaluar (Greene, 2012), como se expresa en la ecuación 1.

$$\frac{\partial P_i}{\partial X_{ki}} = \frac{\partial \Phi(X_i \beta)}{\partial X_{ki}} = \phi(X_i \beta) \beta_k \tag{ecuación 1}$$

El modelo empírico que representa la variable dependiente Y (agregación de valor) y las variables independientes (X), que influyen en la decisión de agregación de valor, se presentan en la ecuación 2:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i \tag{ecuación 2}$$

Dónde, Y = variable binaria de agregación de valor; β_i = coeficientes a ser estimados; X_{li} = variables explicativas del modelo (Tabla 1) y u_i = error estocástico. Además, se utilizó la prueba de Wald para evaluar la significancia individual de los parámetros y para la evaluación de la bondad global de los ajustes del modelo, se utilizó el R^2 de McFadden y el estadístico LR o razón de verosimilitud. Los resultados se obtuvieron con el paquete Data Analysis and Statistical Software (Stata) versión 12.

Tabla 1. Variables de análisis para el valor agregado de las organizaciones de agricultura familiar OAF de Nariño, Colombia.

Variable	Tipo	Descripción
X ₁ =Ingresos	Continua	Ingresos anuales de la organización (pesos colombianos por año)
X ₂ =Kilogramos vendidos	Continua	Kilogramos de producto vendidos según frecuencia de venta (continua en kg)
X ₃ =Cosechas	Continua	Número de cosechas que tienen al año
X ₄ =Producción promedio	Continua	Producción promedio en kilogramos por cosecha
X ₅ =Kilogramos de producto perdido	Continua	Kilogramos de pérdida puede tener el asociado en promedio
X ₆ =Tamaño de la OAF	Continua	Superficie sembrada (promedio de hectáreas año)
X ₇ =A quien vende	Nominal	1= agroindustria, 2= comerciante, 3= consumidor final, 4= mercado institucional, 5= intermediario, 6= mercado campesino, 7= detallista plaza de mercado, 8= dos o más actores
X ₈ =Frecuencia de venta	Nominal	1= 2 veces por semana, 2= 3 veces por semana, 3= semanal, 4= quincenal, 5= mensual, 6= en cosecha, 7=otros
X ₉ =Forma de pago	Nominal	1=contado, 2=crédito
X ₁₀ =Donde vende	Nominal	1=municipio, 2=otro departamento, 3= otro país, 4=varios municipios y Departamentos de Colombia, 5=varios municipios y al extranjero

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valor agregado en las OAF. La agregación de valor en las organizaciones de agricultura familiar abordadas en la región de estudio es porcentualmente mayor. Donde, 96 de las OAF, realizan algún proceso de agregación de valor (64 % de la muestra), mientras que 54 (36 % de la muestra), no incurrir en ninguno de estos procesos. En esta región, el valor agregado de la producción agrícola que realizan las OAF se clasifica en cuatro tipos: rallado o picado

(3,12 %), reempaque (9,37 %), lavado (12,50 %) y selección o clasificación (88,54 %). Algunas de las organizaciones familiares pueden hacer más de un proceso de agregación de valor, pero, en general, la selección o clasificación es la actividad que realizan de forma común; sin embargo, como se mencionó en líneas anteriores, en la agregación de valor de la agricultura familiar pueden mediar diversas variables relacionadas con el mercado, la demanda, los ingresos y el tamaño de la tierra (Tabla 2).

Tabla 2. Estadísticas descriptiva de las variables explicativas de las organizaciones de agricultura familiar OAF de Nariño, Colombia.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
X ₁ =Ingresos	57.400.000	40.000	200.700.000	245.000.000
X ₂ =Kilogramos vendidos	246.496,80	30	27.000.000	2.221.430
X ₃ =Cosechas	11,46	0	144	22,25
X ₄ =Producción promedio	115.965,60	40	2.400.000	297.043,80
X ₅ =Kilogramos de producto perdido	304,51	0	3000	624,78
X ₆ =Tamaño de la OAF	99,53	0,1	5000	577,03
X ₇ =A quien vende	4,71	1	2,38	8
X ₈ =Frecuencia de venta	4,28	1	1,89	7
X ₉ =Forma de pago	1,32	1	10,47	2
X ₁₀ =Donde vende	2,61	1	1,55	5

En los resultados se consideraron variables concernientes con el volumen de producción, su promedio y el número de cosechas por año. Estas variables se podrían asociar con cierta capacidad técnica-productiva de las OAF, las cuales, han sido discutidas por autores, como Rodríguez Sperat *et al.* (2015) y Rodríguez Sperat *et al.* (2017), como la capacidad de gestión de la organización y de sus explotaciones, a nivel de finca, para generar un mercado para su colocación, desde una dimensión de la oferta y la demanda agroalimentaria, en un entorno territorial.

Además, el ingreso percibido por las OAF es considerada como una variable clave, dado que la disponibilidad de recursos económicos permite introducir diversas innovaciones en el producto final, lo que también concuerda con planteamientos de algunos autores, como Vieira & Ribeiro, (2013), según los cuales, cuando la organización obtiene una cantidad menor de ingreso bruto, genera menor valor agregado; no obstante, desde otra perspectiva, se ha evidenciado que la implementación de tecnologías modernas y de gestión poscosecha, contribuye a la generación de ingresos percibidos, elevando la viabilidad económica de sistemas de producción agrícolas, procurando, incluso, por transformaciones que incorporen técnicas de procesamiento, como el empaquetado y el envasado (Vikram *et al.* 2023).

Se evidenció, que el principal agente de comercialización en la región estudiada es la agroindustria, con una frecuencia de venta de hasta dos veces semanales, en el propio municipio de influencia de la OAF. Los resultados obtenidos se relacionan con discusiones planteadas en torno a la importancia del canal de comercialización, pues las OAF pueden lograr potenciar su valor agregado, interpretando mejor las demandas del mercado, así como las preferencias de los consumidores, dado que los volúmenes ofertados y los canales de comercialización tienen sus propias especificidades (de Fátima Carvalho & de Fátima Grossi, 2019; Camara *et al.* 2020). De hecho, la relación entre canal de comercialización y el valor agregado implica, para las OAF, una incursión más efectiva en mercados especializados, lo que les demanda la implementación de estrategias de competitividad y de mejoramiento de estándares de calidad (Fonseca-Carreño *et al.* 2020). Aunque las OAF, generalmente, pueden interactuar con diversos agentes de la comercialización, la agroindustria se constituye como el principal canal de venta, donde se ha discutido que ambos actores pueden y deben coexistir, dado que pueden generar diversas complementariedades (Craviotti & Soleno Wilches, 2015; Craviotti, 2017).

Factores determinantes del valor agregado en las OAF. A continuación, se describen los resultados obtenidos del modelo probit estimado (Tabla 3). El valor de Ji cuadrada se utilizó para el contraste de la significancia global del modelo; la hipótesis nula señala que todos los coeficientes de la ecuación, excepto la constante, son nulos. El número de casos correctamente clasificados fue de 71,81 %, el estadístico LR Ji2(10) fue de 39,01 y la probabilidad asociada fue menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el modelo global es significativo.

El estadístico z muestra que tres variables fueron significativas y contribuyen a determinar la agregación de valor de los productos que comercializan las OAF. Estas variables fueron: ingresos ($p < 0,10$) y producción promedio y kilogramos de producto perdido ($p < 0,05$). De esta forma, las variables mencionadas influyen en la probabilidad de adopción de prácticas o esquemas para dar valor agregado a los productos de las OAF agrícolas, en el Departamento de Nariño.

Tabla 3. Variables influyentes en la probabilidad de generar valor en organizaciones de agricultura familiar OAF de Nariño, Colombia.

Variable	Coficiente	z	P>z	dy/dx
X ₁ =Ingresos	1,66e-08	1,96	0,050	6,60e-09
X ₂ =Kilogramos vendidos	-6,07e-06	-1,60	0,110	-2,42e-06
X ₃ =Cosechas	-0,00367	-0,69	0,489	-0,0014652
X ₄ =Producción promedio	-2,65e-06	-2,62	0,009	-1,05e-06
X ₅ =Kilogramos de producto perdido	-0,0005279	-2,52	0,012	-0,0002102
X ₆ =Tamaño de la OAF	0,004138	1,33	0,182	0,0016475
X ₇ =A quien vende	0,0220468	0,42	0,674	0,0087779
X ₈ =Frecuencia de venta	-0,0674446	-0,90	0,370	-0,026853
X ₉ =Forma de pago	0,0337907	0,1	0,617	0,0134537
X ₁₀ =Donde vende	-0,0445452	-0,50	0,572	-0,0177356
Constante	1,66e-08	1,19	0,235	

dy/dx es el efecto marginal de la variable x sobre la variable dependiente y; Nivel de significancia dy/dx: $P < 0,05^*$. LR Ji2(10) = 39,01; Prob > Ji2=0,0001; Pseudo R2=0,2011, Correctamente clasificados= 71,81 %.

De acuerdo con los resultados, la variable “ingresos”, resultó significativa al 90 % ($p < 0,10$) y positiva, por lo que un mayor nivel de ingresos obtenidos por la venta de productos incrementa la probabilidad de dar valor agregado a los productos que comercializa una OAF; este resultado concuerda con Kyomugisha *et al.* (2018), quienes encontraron que agregar valor a la producción de papa en la granja les genera más ingresos a los agricultores. En contraste, las variables: “producción promedio” y “kilogramos de producto perdido”, también fueron significativas ($p < 0,05$), pero en este caso, presentan coeficientes negativos en el modelo, lo que implica que una menor producción promedio y menor cantidad de kilogramos de producto perdido incrementa la probabilidad de que las OAF den valor agregado a sus productos.

De esta forma, los mayores ingresos obtenidos en una OAF son determinantes para que los miembros de dicha organización decidan realizar mayores acciones para dar valor agregado a los productos

agroalimentarios que comercializan. Por lo tanto, los resultados obtenidos contribuyen con la identificación de los factores que influyen en la probabilidad de que los productores decidan agregar valor a su producción. Además, se diferencian de otros hallazgos propuestos, donde se ha determinado la influencia de otras variables, como el tamaño de la finca, el acceso a la información y la capacitación, en la agregación de valor en la agricultura familiar (Melembe *et al.* 2021). Adicionalmente, el enfoque del presente trabajo sobre la agricultura familiar y producción de alimentos, principalmente de hortalizas, genera una diferenciación con algunos de los estudios abordados, los cuales, se centran en la agregación de valor en productos commodity asociados a cadenas de valor y su acceso a los mercados nacionales y globales (Melembe *et al.* 2020).

Acorde con los resultados del estudio, variables como la producción y las ventas contribuyen a la generación de valor agregado en las OAF de Nariño, lo que coincide con Adeyonu *et al.* (2016),

quienes establecen que la cantidad de producción aumentó significativamente la decisión de los agricultores de agregar valor. Por su parte, el ingreso de la OAF es una variable que influye positivamente en la agregación de valor, pues se presume que los productores y la misma organización pueden desarrollar infraestructura y adecuaciones, que permita generar estos procesos; sin embargo, la mayoría de los estudios abordan el ingreso como un efecto del valor agregado (Lawal *et al.* 2011; Sebatta *et al.* 2015), también, desde los costos que reducen la rentabilidad (Tamru & Minten, 2023), pero esta variable, generalmente, no se ha abordado como una variable influyente del valor agregado, lo cual, también se encontró en el presente estudio.

Asimismo, la variable relacionada con el tamaño de las OAF, contrasta con resultados obtenidos por Melembe *et al.* (2021) y están en concordancia con Eze *et al.* (2022), quienes encontraron que los coeficientes ($p < 0,01$) y negativos del tamaño del hogar implican que el tamaño grande del hogar disminuye la probabilidad de agregar valor al anacardo o nuez de la india (*Anacardium occidentale*), en Nigeria.

La variable “Kilogramos de producto perdido”, también presentó influencia negativa en la generación de valor agregado ($p < 0,05$). La pérdida de producto de los cultivos agrícolas, debido a su perecibilidad y otros factores, como el clima o el manejo, ocasionan pérdidas económicas a los pequeños productores agrícolas. En principio, la perecibilidad de la producción agrícola presenta problemas en el manejo de cosechas, su transporte y los períodos que van entre la recolección de bienes y el consumo final (Reyes, 2011). En las organizaciones familiares estudiadas se identificó que un factor que impacta en la pérdida de productos agroalimentarios se encuentra asociado con el transporte de los productos, ya que cerca de una cuarta parte de las OAF (24,90 %), lo señalaron como un factor importante de pérdidas de los productos.

Se puede señalar que el asunto de pérdidas y desperdicio de alimentos es uno de los temas que viene tomando mayor auge entre organizaciones internacionales, académicos y tomadores de decisión en el sector agropecuario; sin embargo, también es una temática con amplias brechas en la investigación. Es esperado pensar que las pérdidas de productos agrícolas desincentiven la agregación de valor y, aunque pareciera un asunto elemental, lo cierto es que esta variable se puede profundizar en próximos estudios, siempre que se logre comprender las condiciones socio-económicas de las regiones (García-Lara & Bergvinson, 2007).

Se considera que futuras investigaciones se pueden centrar en variables que implican contextos y dinámicas propias territoriales, donde se conforman percepciones del riesgo, de confiabilidad, de relacionamientos formales con los mercados y el tema de costos de producción, que implica la realización de diversas acciones o estrategias, para dar valor agregado a los productos del sector primario.

El presente estudio contribuye con un análisis de variables que influyen en la agregación de valor en la producción agrícola, pero, específicamente, sobre organizaciones de agricultura familiar

(OAF), lo cual, aporta a disminuir la brecha de conocimiento que se presenta en la literatura latinoamericana, con relación al tema.

Con base en los resultados obtenidos se considera que las OAF del Departamento de Nariño son un modelo de producción relevante, por sus formas de relación con diferentes actores del mercado.

Los resultados obtenidos aplican a las OAF del Departamento de Nariño; sin embargo, pueden contribuir a la generación de políticas diferenciadas para esta y otras regiones o territorios similares, para mejorar las condiciones de los pequeños productores de agricultura familiar. Para ello, es pertinente que se propongan y ejecuten estrategias de desarrollo de capacidades, financiamiento, asistencia técnica, entre otros, para mejorar la productividad agrícola y la agregación de valor, contribuyendo a una comercialización más eficiente y sostenible, frente a la disminución de pérdida de alimentos en el sector primario.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la organización FAO Colombia, por su apoyo con el aporte de información de contactos y otros datos agroalimentarios del territorio, que permitieron adelantar este estudio. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad de Caldas y los autores. **Contribución de los autores:** Venancio Cuevas Reyes: conceptualización, investigación, curaduría de datos y análisis formal; Carlos Julián Ramírez Gómez: conceptualización, investigación y escritura del borrador original.

REFERENCIAS

- ACEVEDO-OSORIO, Á.; MARTÍNEZ-COLLAZOS, J. 2016. La agricultura familiar en Colombia. Estudios de caso desde la multifuncionalidad y su aporte a la paz. Bogotá. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia - Corporación Universitaria Minuto de Dios Agrosolidaria. 266p. Disponible desde Internet en: <https://ediciones.ucc.edu.co/index.php/ucc/catalog/download/33/35/164?inline=1>
- ADEYONU, A.; AJALA, A.O.; ADIGUN, G.T.; AJIBOYE, B.O.; GBOTOS, H.O. 2016. Determinants of sweet potato value addition among smallholder farming households in Kwara State, Nigeria. *Agro-Science*. 15(1):17-22. <https://doi.org/10.4314/AS.V15I1.4>
- ALDRICH, J.H.; NELSON, F.D. 1984. Linear probability, logit, and probit models. Sage. Beverly Hills, CA: 94p. Disponible desde Internet en: <https://methods.sagepub.com/book/linear-probability-logit-and-probit-models>
- ANDERSON, D.P.; HANSELKA, D. 2009. Adding value to agricultural products. Disponible desde Internet en: <https://core.ac.uk/download/pdf/4274837.pdf>

- CABALLERO, L.; DUMRAUF, S.; GONZÁLEZ, E.; MAINELLA, F.; MORICZ, M. 2010. Los procesos organizativos de la agricultura familiar y la creación de ferias y mercados de economía social. *Otra Economía*. 4(7):26-41.
- CAMARA, S.B.; ANDREATTA, T.; DE AZEVEDO, J.; CHRISTOFARI, L.F.; CASARIN, M.A. 2020. Análise econômica comparativa de diferentes canais de comercialização utilizados pela agricultura familiar. *Revista IDeAS*. 14(1): e020004.
- CARMAGNANI, M. 2008. La agricultura familiar en América Latina. *Problemas Del Desarrollo*. 39(153):11-56.
- COLTRAIN, D.; BARTON, D.; BOLAND, M. 2000. Value added: opportunities and strategies. Arthur Capper Cooperative Center. 18p. Disponible desde Internet en: <https://agmanager.info/sites/default/files/VALADD10%25202col.pdf>
- CRAVIOTTI, C. 2017. La problemática de la coexistencia entre la agricultura familiar y la agroindustria: una aproximación desde la producción de quesos. *Revista Brasileira de Sociologia*. 5(10):163-185. <http://dx.doi.org/10.20336/rbs.209>
- CRAVIOTTI, C.; SOLENO WILCHES, R. 2015. Circuitos cortos de comercialización agroalimentaria: un acercamiento desde la agricultura familiar diversificada en Argentina. *Mundo Agrario*. 16(33):1-19.
- CUEVAS-REYES, V.; SÁNCHEZ TOLEDANO, T.B.; SERVÍN JUÁREZ, R.; REYES JIMÉNEZ, J.E.; LOAIZA MEZA, A.; MORENO GALLEGOS, T. 2020. Factores determinantes del uso de sorgo para alimentación de ganado bovino en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 11(4):1113-1125. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.5292>
- DE FÁTIMA CARVALHO, F.; DE FÁTIMA GROSSI, S. 2019. A importância das feiras livres e seus impactos na agricultura familiar. *Revista Interface Tecnológica*. 16(2):226-234. <https://doi.org/10.31510/inf.v16i2.665>
- EZE, A.; MACHARIA, I.; NGARE, L. 2022. Factors influencing value addition to cashew products processed in the South-East Zone, Nigeria: A multinomial logistic regression approach. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*. 4(1):61-71. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2022.4.1.448>
- FAN, P.; WANG, Y.; XU, N. 2021. Value added mechanism and organizational model optimization of agricultural products circulation value chain from the perspective of game theory. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 71(2):215-223. <https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1879927>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. 2019. Sistema de abastecimiento agroalimentario del Departamento de Nariño. Colombia.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO; INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT, IFAD. 2019. Decenio de las naciones unidas para la agricultura familiar 2019-2028. Plan de acción mundial. Roma. Disponible desde Internet en: <https://www.fao.org/3/ca4672es/ca4672es.pdf>
- FONSECA-CARREÑO, N.; GONZÁLEZ MORENO, M.; NARVÁEZ BENAVIDES, C. 2020. Asociatividad para la administración los sistemas de producción campesina. *Revista Estrategia Organizacional*. 9(1):1-17. <https://doi.org/10.22490/25392786.3644>
- GARCÍA-LARA, S.; BERGVINSON, D.J. 2007. Programa integral para reducir pérdidas poscosecha en maíz. *Agricultura Técnica en México*. 33(2):181-189.
- GREENE, W.H. 2012. *Econometric analysis*. 7th ed. Pearson Education. New York. 1238p.
- JIMÉNEZ CHAVES, V.E. 2012. El estudio de caso y su implementación en la investigación. *Revista Internacional de Investigación En Ciencias Sociales*. 8(1):141-150.
- KRUSKA, R.L.; REID, R.S.; THORNTON, P.K.; HENNINGER, N.; KRISTJANSON, P.M. 2003. Mapping livestock-oriented agricultural production systems for the developing world. *Agricultural Systems*, 77(1):39-63. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00085-9](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00085-9)
- KYOMUGISHA, H.; SEBATA, C.; MUGISHA, J. 2018. Potato market access, marketing efficiency and on-farm value addition in Uganda. *Scientific African*. 1(2018):e0013. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2018.e00013>
- LAWAL, J.O.; ODUWOLE, O.O.; SHITTU, R.; MUYIWA, A.A. 2011. Profitability of value addition to cashew farming households in Nigeria. *African Crop Science Journal*. 19(1):49-54.
- MELEMBE, T.; SENYOLO, G.M.; MMBENGWA, V.M. 2020. Patterns of smallholder farmers' choice of value addition in Gauteng Province, South Africa. *Journal of Human Ecology*. 70(3):9-14. <https://doi.org/10.31901/24566608.2020/70.1-3.3210>
- MELEMBE, T.; SENYOLO, G.M.; MMBENGWA, V.M. 2021. Factors influencing value-addition agricultural choice within smallholder farming agribusinesses of Gauteng Province in South Africa. *Journal of Agribusiness and Rural Development*. 2(60):183-191. <http://dx.doi.org/10.17306/J.JARD.2021.01374>

- PAZ, R.G.; INFANTE, C.M. 2020. Circuitos cortos de comercialización: el juego entre lo disponible y lo posible en la agricultura familiar. *Economía y Sociedad*. 25(58):35-49. <http://dx.doi.org/10.15359/eyes.25/58.3>
- REYES, G.E. 2011. Problemas estructurales del sector agrícola y subsidio recurrente a otros sectores económicos en América Latina. *Revista de Ciencias Sociales*. 17(3):503-516.
- RODRÍGUEZ ESPINOSA, U. 2018. La persistencia de la agricultura familiar campesina en contextos socioproductivos adversos. Estudio de caso en la provincia Magdalena Centro, Cundinamarca. *Desbordes*. 9(1):107-116.
- RODRÍGUEZ SPERAT, R.; BRUGIAFREDDO, M.P.; RAÑA, E. 2017. Eficiencia técnica en la agricultura familiar: Análisis envolvente de datos (DEA) versus aproximación de fronteras estocásticas (SFA). *Nova Scientia*. 9(18):342-370. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.697>
- RODRÍGUEZ SPERAT, R.; PAZ, R.; SUÁREZ, V.; DÍAZ, J.P. 2015. Construyendo mercados desde la propia finca. Tres experiencias en la agricultura familiar. *AgroSur*. 43(1):3-17. <http://dx.doi.org/10.4206/agrosur.2015.v43n1-02>
- ROLDÁN RUEDA, H.N.; GRACIA, M.A.; TERÁN, M. 2018. Los mercados locales alternativos en México y Colombia: resistencias y transformaciones en torno a procesos de certificación. *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 15(82):57-73. <https://doi.org/10.11144/javeriana.cdr15-82.mlam>
- SEBATTA, C.; MUGISHA, J.; KATUNGI, E.; KASHARU, A.K.; KYOMUGISHA, H. 2015. Adding value at the farm: The case of smallholder potato farmers in the highlands of Uganda. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*. 4(3):210-223. <http://dx.doi.org/10.9734/AJAEES/2015/13844>
- TAMRU, S.; MINTEN, B. 2023. Value addition and farmers: Evidence from coffee in Ethiopia. *PloS One*. 18(1):e0273121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273121>
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, UNAL. 2012. Caracterización del departamento de Nariño. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- VIEIRA, E.; RIBEIRO, J.E. 2013. Heterogeneidad estructural de la agricultura familiar en el Brasil. *Revista de La Cepal*. 111:103-121.
- VIKRAM, B.; GANGWAR, S.; BELWEL, A.; MATHUR, R.; KUMAR, P.; KISHOR, B.; SIKARWAR, P. 2023. A review on post-harvest management and value addition of horticultural crops: A source of income generation for the farmers of Bundelkhand, India. *International Journal of Environment and Climate Change*. 13(11): 4662-4672. <https://doi.org/10.9734/ijeccl/2023/v13i113645>
- WANGU, J.; MANGNUS, E.; VAN WESTEN, A. 2020. Limitations of inclusive agribusiness in contributing to food and nutrition security in a smallholder community. A case of mango initiative in Makueni county, Kenya. *Sustainability*. 12(14): 5521. <https://doi.org/10.3390/su12145521>
- YIN, R.K. 2009. How to do better case studies. En: Bickman, L.; Rog, D.J. (eds.). *The SAGE handbook of applied social research methods*. : SAGE Publications. Thousand Oaks, CA. p.254-282. <https://doi.org/10.4135/9781483348858>

Bioquímica y valores hematológicos en hormiguero palmero (*Myrmecophaga tridactyla*) rescatados en Colombia

Biochemistry and hematological values of Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) rescued in Colombia

José Fernández-Manrique^{1*}; Daniel Felipe Buitrago-Linares¹; Ricardo Murillo-Pacheco¹

¹Universidad de Los Llanos, Escuela de Ciencias Animales, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación en Especies Silvestres Sanidad y Bienestar Animal. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: jose.fernandez@unillanos.edu.co; daniel.buitrago.linares@unillanos.edu.co; rmurillo@unillanos.edu.co

*autor de correspondencia: jose.fernandez@unillanos.edu.co

Cómo citar: Fernández-Manrique, J.; Buitrago-Linares, D.F.; Murillo-Pacheco, R. 2024. Bioquímica y valores hematológicos en hormiguero palmero (*Myrmecophaga tridactyla*) rescatados en Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2035. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2035>

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 11 de 2022

Aceptado: marzo 21 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El hormiguero palmero *Myrmecophaga tridactyla* es una especie que se encuentra amenazada en la Orinoquía, por la fragmentación del paisaje, el atropellamiento en las vías, los monocultivos de arroz, la palma africana y la actividad de extracción de petróleo. El atropellamiento de animales en las redes viales disminuye la tasa de supervivencia anual de los hormigueros, reduciendo la tasa de crecimiento de la especie a valores nulos, como se observa en algunas áreas. Por otro lado, los animales enfermos o atropellados requieren diagnóstico o tratamiento para recuperar su salud, por lo tanto, el propósito del trabajo fue conocer la hematología y la bioquímica sérica en animales silvestres, aparentemente sanos, rescatados por Cormacarena. Previa restricción y sedación con Zoletil® 50, a la dosis de 4 mg/kg de peso vivo, se practicó examen clínico y se recolectó de 5-10 mL de sangre por venopunción, a 21 animales. Posterior a su recuperación se liberaron los individuos. Se presentan los valores hematológicos de referencia para eritrocitos, hemoglobina, hematocrito, plaquetas, leucocitos, neutrófilos, linfocitos, proteínas totales, ALT, AST, BUN, creatinina, calcio, fósforo, potasio, sodio, los cuales, son de importancia en la valoración médico-veterinaria, en los programas de conservación de la especie. Se resalta que los valores en osos palmeros de la región son similares a los descritos en otros trabajos en América.

Palabras clave: Animales silvestres; Monitoreo ambiental; Myrmecophagidae; Oso hormiguero; Parámetros hematológicos.

ABSTRACT

The giant anteater, *Myrmecophaga tridactyla* is a species threatened in the Orinoquia region by the fragmentation of the landscape, the running over of the roads, the monocultures of rice, african palm, and the activity of oil extraction. Running over animals on road networks decreases the annual survival rate of giant anteaters from 0.95 to levels of 0.78 reducing the growth rate of the species to null values. On the other hand, sick or run-over animals require diagnosis or treatment to recover their health; in this sense, the work aimed to know the hematology and serum biochemistry in apparently healthy wild animals rescued by Cormacarena. After restriction and sedation with Zoletil® 50, at a dose of 4 mg/kg of live weight, a clinical examination was performed, and 5-10ml of blood was collected by venipuncture from 21 animals; after recovery, the individuals were released. This work presents the references hematological values of erythrocytes, hemoglobin, hematocrit, platelets, leukocytes, neutrophils, lymphocytes total protein, ALT, AST, BUN, creatinine, calcium, phosphorus, potassium, sodium, which are essential for the veterinary medical assessment for the conservation programs of the species. It is highlighted that the results for palm tree bears in the region are like those described in other works in America.

Keywords: Anteater; Environmental monitoring; Hematological parameters; Myrmecophagidae; Wild animals.

INTRODUCCIÓN

El hormiguero palmero *Myrmecophaga tridactyla* Linnaeus, 1758, conocido también como oso hormiguero, oso palmero en Colombia, pertenece al superorden Xenarthra, suborden Vermilingua, familia Myrmecophagidae (Humanéz López & Chacón Pacheco, 2013). *M. tridactyla* es un mamífero caracterizado por un cuerpo cubierto de un denso pelaje, la forma de su cola es de penacho, igual o más larga que la longitud cabeza-cuerpo (Rojano Bolaño *et al.* 2014). Animal de gran tamaño, la amplitud del largo cabeza cuerpo se encuentra entre 100-190 cm de longitud, con un largo de cola entre 64-90 cm (De Faria *et al.* 2015). Un peso promedio de animales adultos de 40-45 kg; los miembros anteriores son fuertes y musculosos (Rojano Bolaño *et al.* 2014). La cabeza es elongada, con un desarrollo más grande en la parte facial que la parte craneal. La cavidad craneal es pequeña, formada principalmente por los huesos parietales. La cavidad bucal es relativamente larga, estrecha, ocupada por una lengua larga, delgada, recubierta de saliva; no tiene dientes (Farha *et al.* 2021).

M. tridactyla es un animal insectívoro especializado, consume hormigas (Hymenoptera: Formicidae) y termitas (Blattodea: Termitidae), en vida silvestre (Cunha *et al.* 2015); su sistema digestivo es similar a la del perro doméstico (*Canis familiaris*) y gato doméstico (*Felis catus*), en términos de digestibilidad de nutrientes (Gull *et al.* 2015). Se registra la presencia en su dieta de 27 especies de hormigas, agrupadas en 14 géneros, 10 tribus y cinco subfamilias y dos especies de termitas. Los géneros de hormigas que se encuentran con mayor proporción son *Camponotus*, *Solenopsis* y *Ectatomma* (Sandoval-Gómez *et al.* 2012).

De acuerdo con Miranda *et al.* (2014), su estado de conservación, a nivel internacional y en Colombia, es vulnerable. Se reporta su presencia en Centro América y en Sur América, en el sur del Gran Chaco-Bolivia, Paraguay y Argentina. Se registra como extinto en Belice, Guatemala, Uruguay y en algunas áreas de Costa Rica y Honduras. En Brasil está señalado como regionalmente extinto en los estados de Río de Janeiro, Espírito Santo y Rio Grande Do Soul y Santa Catarina, mientras que en el estado de Paraná, se encuentra en estado crítico (Miranda *et al.* 2014; Alberici *et al.* 2020). Los estudios de distribución de la especie en Colombia lo reportan en las cinco regiones del país (Chacón Pacheco *et al.* 2017).

La conservación de la biodiversidad es fundamental para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos; sin embargo, las presiones antropogénicas vienen amenazando las poblaciones de vida silvestre. Dentro de la amenaza crítica para *M. tridactyla* se encuentra la degradación, la fragmentación y la destrucción de su hábitat (Diniz & Brito, 2015; Alberici *et al.* 2020), ocasionado por las quemadas constantes de praderas, como actividad previa de procesos agrícolas, como parte de la ampliación de la frontera de producción (Verdade *et al.* 2015; Bertassoni *et al.* 2019; Noonan *et al.* 2021); la caza furtiva y la persecución de la especie es considerada una amenaza media (Humanéz López & Chacón-Pacheco, 2013); el enfrentamiento con caninos (*Canis familiaris*) y el atropellamiento en vías, causado por la ruptura de los corredores ecológicos (Humanéz-López *et al.* 2014; Diniz & Brito, 2015;

Rojano Bolaño & Ávila Avilán, 2021). El atropellamiento de animales en las redes viales disminuye la tasa de supervivencia anual de los hormigueros, de 0,95 (0,86-1,00), a niveles de 0,78 (0,62-0,97) (Ascensão & Desbiez, 2022).

La homeostasis, principio fundamental de la fisiología integrativa (De Luca Jr., 2022), es el mecanismo, mediante el cual, se regula la presión arterial, la presión de O₂, la presión de CO₂, el pH de la sangre, los niveles de glucosa, la temperatura corporal y el tamaño de las células en los animales (Zatulovskiy & Skotheim, 2020). En este sentido, la sangre y sus componentes contribuyen al proceso de homeostasis del individuo (Alves *et al.* 2023). En consecuencia, la determinación de la bioquímica sanguínea permite evaluar el estado de salud de un animal, como, por ejemplo, en los casos de individuos con quemaduras en el cuerpo (Souza *et al.* 2022).

La salud se puede interpretar como la ausencia de la enfermedad; otros autores, como López-Otín & Kroemer (2021), la definen como un compendio de características organizacionales y dinámicas que mantienen la fisiología normal en un individuo. La salud de los animales en la naturaleza debe ser observada como un sistema, compuesto por elementos y sus relaciones, que permiten la supervivencia de las especies, las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas. En este sentido, las especies del superorden *Xenarthra*, incluyendo *M. tridactyla*, poseen una temperatura corporal y una tasa metabólica basal más baja que otras especies de mamíferos, con similar masa corporal (Jean Desbiez & Medri, 2010).

La valoración médico-veterinaria permite conocer la salud de los animales, para lo cual, se determinan parámetros, como el peso, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, respiratoria y el tiempo de llenado capilar. Lo anterior, complementado con la hematología, permite establecer la presencia de una infección o inflamación, dado los niveles de neutrófilos y monocitos y el recuento de linfocitos, como indicador de respuesta inmunológica. Niveles de eritrocitos, hemoglobina, hematocrito e índices hematimétricos para evaluar el estado de anemia.

Los estudios en hematología en *M. tridactyla* incluyen los trabajos realizados en el bioma del cerrado de Brasil y en los zoológicos de Argentina, los cuales, reportan los valores para glóbulos rojos, blancos y plaquetas (Alves *et al.* 2023, De Oliveira *et al.* 2017, Di Nucci *et al.* 2014, Sanches *et al.* 2013). Igualmente, en Colombia se reportan valores de hematología en animales de vida libre (Rojano-Bolaño *et al.* 2014). Los trabajos de Satake & Fagliari (2006) y De Oliveira *et al.* (2018) reportan algunos análisis.

Dentro de las prioridades de investigación del súper Orden *Xenarthra*, propuestas en el II Simposio Colombiano de armadillos, perezosos y hormigueros, se destacó el escaso conocimiento sobre la ecología, reproducción, fisiología y la conservación de estas especies en Colombia (Humanéz-López *et al.* 2014). Teniendo en cuenta estas consideraciones, el presente trabajo tuvo como objetivo conocer aspectos importantes de la homeostasis sanguínea del *M. tridactyla*, como es la hematología y la bioquímica sérica, descritos escasamente en la literatura científica, fundamentales para establecer los planes de sanidad y la conservación de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área estudio. El Departamento del Meta se encuentra localizado en el centro - oriente del territorio colombiano, entre los 4°55' y 1°35' de latitud Norte y los 74°54' y 71°3' de longitud Oeste, formando parte de la región natural de la Orinoquia y parte de la región de la Amazonia colombiana; en general, el departamento del Meta es privilegiado por la biodiversidad. El departamento cuenta con 85.000 km² de extensión, abundante en recurso hídrico y hábitat de una gran cantidad de flora y fauna, propias de la biodiversidad de la Orinoquia Colombiana. El departamento aporta al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) un total de 20 áreas para la conservación, que cubren aproximadamente 4.460.000 hectáreas, que corresponden al 52 % del territorio, ubicadas en 15 municipios (Asamblea Departamental del Meta, 2020).

Tamaño y toma de muestras de los especímenes. Los especímenes incluidos en el estudio fueron evaluados y rescatados en el periodo 2016 - 2017 en el departamento del Meta, por la autoridad ambiental de la región, la Corporación para el desarrollo sostenible del área manejo especial la Macarena, Cormacarena.

Un total de 21 individuos, ocho hembras y trece machos de los animales rescatados cumplieron los requisitos de inclusión para el estudio: animales vivos, machos o hembras, en aparente buen estado de salud, valorados y liberados nuevamente en su hábitat natural, en la región de estudio (Fernández-Manrique *et al.* 2021).

Una vez identificado el animal reportado a Cormacarena para rescatar, se procedió a la captura, se empleó nasa red de maya en fibra gruesa de 14 mm, para la restricción física del animal; posteriormente, se transportó a las instalaciones de la Universidad de los Llanos. Se determinó el peso y teniendo en cuenta la curva de crecimiento y de desarrollo, descrita para *M. tridactyla* (Valle Jerez & Halloy, 2003), se clasificaron como neonatos, los individuos con peso entre 1.200 y 2.000 g; como juveniles, aquellos con peso entre 4.000 y 6.500 g y adultos, los de más de 6.500 g.

Para la toma de la muestra de sangre se calculó el volumen para aplicación del medicamento de sedación, Zoletil® (tiletamina-zolazepam), a una dosis de 4 mg/kg de peso vivo. Se aplicó el sedante vía intramuscular, se mantuvo bajo control médico-veterinario. Se extrajo de 5 a 10 mL de sangre, por venopunción en la vena cefálica, vena femoral o vena safena externa. Las muestras de sangre se colectaron en tubo con anticoagulante etilen diamino tetraacetato de calcio (EDTA) al 10 % y un tubo sin anticoagulante. Finalmente, se valoró y monitoreó el individuo hasta su liberación. La toma de muestras se registró en la base de datos del sistema de información sobre biodiversidad de Colombia-SIB (Fernández-Manrique *et al.* 2021).

Examen clínico y análisis de laboratorio. A cada animal se le practicó examen y registro de datos en historia clínica, teniendo en cuenta la frecuencia cardíaca, respiratoria y la temperatura corporal. Se realizó un examen exploratorio de carácter general y por sistemas, con el propósito de verificar el estado de salud; se tomó la temperatura rectal, se determinó el sexo por observación

directa. Se exploró la presencia de síntomas o lesiones compatibles con alguna patología específica.

En el laboratorio se identificó y se registró la muestra. Se determinó el hematocrito mediante el método de micro hematocrito. El hemograma se realizó determinando los parámetros de recuento de glóbulos rojos, blancos y plaquetas de forma manual, en cámara de Neubauer. El recuento diferencial de leucocitos se llevó a cabo en frotis sanguíneo y coloración con Wright, incluyendo neutrófilos, neutrófilos en banda, linfocitos, eosinófilos, monocitos y basófilos. Se determinaron los índices de volumen corpuscular medio (V.C.M), la hemoglobina corpuscular media (H.C.M), la concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) y el volumen plaquetario medio (VPM). El frotis sanguíneo coloreado con Wright se revisó en microscopio con luz clara, con aumento 100X, observando la presencia de hemoparásitos; se siguieron los protocolos descritos por Diaz González & Ceroni da Silva (2008). Los sueros se analizaron con un auto analizador clínico, marca Mindray, en base húmeda, por espectrofotometría y kits comerciales Spinreact, para identificación de las siguientes enzimas, alanina aminotransferasa (ALT), aspartato aminotransferasa (AST), nitrógeno ureico sérico (BUN), fosfatasa alcalina, amilasa, gamma glutamil transferasa (GGT) y creatinina quinasa (CK-Total). Igualmente, mediante técnicas colorimétricas, se analizó creatinina, proteína total, albumina, globulina, bilirrubina total, bilirrubina directa, bilirrubina indirecta, glucosa, colesterol, triglicéridos, calcio y fósforo.

Aspectos éticos. Se tuvo en cuenta los principios éticos para el manejo de los animales establecidos en el Estatuto Nacional de protección para los animales, Ley 84 de 1989 (Congreso de la República de Colombia, 1989), las normas éticas para investigación sin riesgos en comunidades, descritas en la resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud y se obtuvo el aval del Comité de Ética de Investigación de Unillanos, en el acta 04/2016. Igualmente, la Unillanos cuenta con el permiso Marco de recolección de especies silvestres de la diversidad biológica, con fines de investigación científica no comercial, mediante la Resolución 1313 de 2015 de la ANLA.

Análisis de datos. Con los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, se construyó la matriz de datos en Excel® y se realizó un análisis de estadística descriptiva. En el programa Spss statistic 21, se comparó las medias de los valores de hematología y bioquímica sérica entre machos y hembras, con la prueba t de student, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La población muestreada estuvo compuesta por 21 individuos, 61 % machos y 39 % hembras; el 61 % de la población eran adultos, el 24 % neonatos y 15 % juveniles. Una vez revisados los animales no presentaron síntomas, ni signos de enfermedad alguna, por lo que se consideraron en aparente buen estado de salud. Los resultados del hemograma realizado a los individuos de *M. tridactyla* se observan en la tabla 1 y los resultados de la bioquímica sérica, se presentan en la tabla 2.

Tabla 1. Valores de hematología para *Myrmecophaga tridactyla*, Meta Colombia.

	n	Mínimo	Máximo	Media	Desviación
Eritrocitos 10 ⁶ μ L	14	2,10	4,45	2,98	0,61
Hemoglobina mg/dl	14	8,70	17,60	12,65	2,66
Hematocrito %	14	27,30	54,00	38,86	8,35
V.C.M Fl	14	96,90	165,00	137,25	21,43
H.C.M Pg.	14	27,60	55,00	41,90	8,23
Plaquetas 10 ³ / μ L	15	85,00	393,00	192,48	78,27
VPM Fl	12	7,90	12,70	11,33	1,39
Leucocitos 10 ³ / μ L	14	5,70	24,60	10,52	4,85
Neutrófilos %	16	24,00	95,00	66,06	21,39
Neutrófilos band %	16	0,00	6,00	0,56	1,63
Linfocitos %	16	3,00	60,00	23,93	15,54
Eosinófilos %	16	0,00	39,00	8,25	9,84
Monocitos %	16	0,00	6,00	1,12	1,85
Basófilos %	16	0,00	1,00	0,06	0,25
Neutrófilos	16	0,00	18,45	6,87	4,90
Neutr Ban	16	0,00	1,48	0,11	0,37
Linfocitos	14	0,50	6,10	2,07	1,41
Eosinófilos	13	0,00	1,20	0,52	0,42
Monocitos	14	0,00	1,23	0,16	0,32
Basófilos	14	0,00	0,10	0,00	0,02

Tabla 2. Valores de bioquímica sanguínea en *Myrmecophaga tridactyla*, Meta-Colombia.

Analito	n	Media	Máximo	Mínimo	Desviación
Proteínas Totales mg/dl	19	4,30	9,00	6,30	1,049
ALT U/L	18	34,90	163,00	71,06	33,44
AST U/L	17	18,10	143,60	62,17	37,91
Nitrógeno ureico mg/dl	18	6,90	37,50	19,47	8,03
Creatinina mg/dl	18	0,55	2,17	1,16	0,51
Fosfatasa alcalina U/L	12	13,90	745,60	154,12	204,13
Gama glutamil transferasa U/L	7	3,00	203,00	45,25	70,53
Amilasa U/L	6	399,80	878,00	573,43	181,85
Albumina g/dl	15	2,13	3,84	2,86	0,52
Globulina g/dL	15	1,20	5,30	3,08	1,21
Colesterol mg/dl	3	54,90	70,00	62,80	7,57
Triglicéridos mg/dL	3	26,10	106,60	71,80	41,34
Glucosa mg/d/L	7	23,00	166,00	70,48	45,60
Calcio mg/dL	15	6,10	10,10	8,20	1,02
Fosforo mg/dL	13	3,20	16,10	6,11	3,44
Sodio MEq/L	9	6,70	159,20	132,58	47,96
Potasio MEq/L	8	4,30	6,20	5,07	0,59
Bilirrubinas totales mg/dL	6	0,20	1,45	0,71	0,55
Bilirrubina directa mg/dL	6	0,10	0,64	0,28	0,20
Bilirrubina indirecta mg/dL	6	0,10	1,02	0,43	0,39
Creatinina kinasa U/L	5	1,34	1368,00	373,96	560,86

En el análisis de los resultados de la prueba t de student no se encontró diferencias significativas, entre las medias de las variables de hematología y la bioquímica sérica, en la población de machos y hembras (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Valores de hematología por sexos para *Myrmecophaga tridactyla* en Meta Colombia.

	Sexo	n	Media	Desviación
Eritrocitos 106 μ L	Macho	8	2,88	0,49
	Hembra	6	3,11	0,78
Hemoglobina mg/dl	Macho	8	13,38	2,90
	Hembra	6	11,66	2,15
Hematocrito %	Macho	8	40,85	9,05
	Hembra	6	36,21	7,20
V.C.M Fl	Macho	8	141,61	18,16
	Hembra	6	131,43	25,71
H.C.M Pg.	Macho	8	44,25	7,26
	Hembra	6	38,78	9,06
Plaquetas 103/ μ L	Macho	9	179,44	58,92
	Hembra	6	212,03	104,09
VPM Fl	Macho	7	11,38	1,64
	Hembra	5	11,26	1,13
Leucocitos 103/ μ L	Macho	8	10,16	6,19
	Hembra	6	11,00	2,65
s %	Macho	9	62,00	20,38
	Hembra	7	71,28	23,10
s band %	Macho	9	0,66	2,00
	Hembra	7	0,42	1,13
Linfocitos %	Macho	9	26,00	13,55
	Hembra	7	21,28	18,56
Eosinofilos %	Macho	9	9,77	12,10
	Hembra	7	6,28	6,26
Monocitos %	Macho	9	1,44	2,35
	Hembra	7	0,71	0,95
Basófilos %	Macho	9	0,11	0,33
	Hembra	7	0,00	0,00
Neutrófilos	Macho	9	6,2722	5,41
	Hembra	7	7,65	4,46
Neutr Ban	Macho	9	0,16	0,49
	Hembra	7	0,05	0,15
Linfocitos	Macho	8	2,51	1,69
	Hembra	6	1,49	0,67
Eosinofilos	Macho	7	0,55	0,44
	Hembra	6	0,48	0,42
Monocitos	Macho	8	0,22	0,42
	Hembra	6	0,08	0,10
Basófilos	Macho	8	0,01	0,03
	Hembra	6	0,00	0,00

Tabla 4. Valores de Bioquímica sanguínea por sexos, para *Myrmecophaga tridactyla*, Meta-Colombia.

	Sexo	N	Media	Desviación
Proteínas Totales mg/dl	Macho	12	6,09	1,25
	Hembra	7	6,67	0,42
ALT U/L	Macho	13	73,58	36,69
	Hembra	5	64,50	25,28
AST U/L	Macho	13	57,13	36,32
	Hembra	4	78,55	43,81
Nitrógeno ureico mg/dl	Macho	12	21,07	8,38
	Hembra	6	16,28	6,84
Creatinina mg/dl	Macho	12	1,33	0,51
	Hembra	6	0,83	0,31
Fosfatasa alcalina U/L	Macho	9	163,25	234,44
	Hembra	3	126,73	88,52
Gama glutamil transferasa U/L	Macho	4	13,60	12,18
	Hembra	3	87,46	100,12
Amilasa U/L	Macho	3	630,93	239,49
	Hembra	3	515,93	124,09
Albumina g/dl	Macho	11	3,05	0,45
	Hembra	4	2,34	0,30
Globulina g/dL	Macho	11	2,83	1,22
	Hembra	4	3,78	1,02
Colesterol mg/dl	Macho	1	63,50	
	Hembra	2	62,45	10,67
Triglicéridos mg/dL	Macho	1	82,70	
	Hembra	2	66,35	56,92
Glucosa mg/d/L	Macho	3	64,50	15,80
	Hembra	4	74,97	62,68
Calcio mg/dL	Macho	11	8,13	0,96
	Hembra	4	8,37	1,31
Fosforo mg/dL	Macho	11	6,46	3,63
	Hembra	2	4,20	1,13
Sodio MEq/L	Macho	9	132,58	47,96
	Hembra	0 ^a		
Potasio MEq/L	Macho	8	5,07	0,59
	Hembra	0 ^a		
Billirrubinas totales mg/dL	Macho	3	0,81	0,62
	Hembra	3	0,61	0,59
Bilirrubina directa mg/dL	Macho	3	0,37	0,27
	Hembra	3	0,18	0,09
Billirrubina indirecta mg/dL	Macho	3	0,43	0,35
	Hembra	3	0,42	0,51
Creatinina kinasa U/L	Macho	3	117,81	105,99
	Hembra	2	758,20	862,38

^a.r no se puede calcular porque, como mínimo, uno de los grupos está vacío.

Teniendo en cuenta los lineamientos descritos para el seguimiento y el monitoreo post liberación de fauna silvestre rescatada, previo a la liberación, Choperena Palencia & Mancera Rodríguez (2016) sugieren realizar una valoración integral de los ejemplares, incluyendo exámenes paraclínicos e identificación de agentes patógenos específicos. En este sentido, se presentan los resultados de los análisis de la hematología y la bioquímica, realizados a una muestra de *M. tridactyla* antes de ser liberados por Cormacarena. Una aproximación inicial para tener en cuenta en el análisis de los resultados, las muestras se tomaron en individuos bajo el efecto de sedación, lo cual, puede alterar los resultados, teniendo en cuenta que son animales silvestres; es preciso realizar la restricción química de los animales para poder tomar las muestras.

Descripción de la población de eritrocitos: los índices eritrocitarios V.C.M, H.C.M, CHCM, RDW definen el tamaño y el contenido de hemoglobina del eritrocito y, además, ayudan a evaluar la función de hematopoyesis de los animales y el diagnóstico diferencial de la anemia. Los resultados obtenidos en este trabajo de $2,98 \times 10^{12}$ eritrocitos son similares a los reportados por Alves *et al.* (2023) y por Di Nucci *et al.* (2014), mientras que Rojano Bolaño *et al.* (2014) encontraron un recuento de eritrocitos de $1,97 \pm 0,3 \times 10^{12}$. Los valores de hemoglobina encontrados de 126,5 g/L son similares a los encontrados por Di Nucci *et al.* (2014), Rojano Bolaño *et al.* (2014) y Alves *et al.* (2023). En cuanto al hematocrito, el encontrado fue de 38,6 %, valor que es similar a los encontrados por Di Nucci *et al.* (2014), Rojano Bolaño *et al.* (2014) y Alves *et al.* (2023); por lo tanto, los valores encontrados para eritrocitos, hemoglobina y hematocrito permiten inferir que los animales liberados por Cormacarena en la región de influencia no presentaban anemia.

Recuento total de leucocitos: los glóbulos blancos forman parte del sistema inmune, genéticamente programado para la neutralización y la eliminación de agentes infecciosos. El recuento promedio de los niveles de leucocitos descrito es similar a los reportados en animales en vida libre en el municipio de Pore-Casanare, región de la Orinoquia Colombiana (Rojano Bolaño *et al.* 2014), a los reportados en animales en cautiverio del parque zoológico de Sao Paulo-Brasil (Sanches *et al.* 2013), en Argentina (Di Nucci *et al.* 2014) y en el Parque zoológico de Brasilia-Brasil (De Oliveira *et al.* 2017). En cuanto al recuento diferencial de leucocitos, el porcentaje promedio encontrado de 66 % de neutrófilos es similar a los reportado en animales en vida libre en Pore-Casanare, Colombia (Rojano Bolaño *et al.* 2014).

Recuento de plaquetas: la hemostasia es un sistema fisiológico que impide la salida de sangre, bloquea el daño vascular e inicia los mecanismos de reparación. La hemostasia primaria se da en la interacción vaso sanguíneo-plaquetas, la hemostasia secundaria por las proteínas plasmáticas de la coagulación. En este sentido, el recuento de plaquetas observado es similar a lo encontrado en animales en vida libre en Pore-Casanare, Colombia (Rojano Bolaño *et al.* 2014).

En general, los recuentos de los promedios celulares encontrados, en los hemogramas son similares a los encontrados en el trabajo

realizado en Pore-Casanare, región de la Orinoquia colombiana (Rojano Bolaño *et al.* 2014). Lo anterior se puede explicar, toda vez que los dos trabajos fueron realizados en animales en vida libre, muestreados con similares métodos de captura, restricción y sedación. Individuos localizados en regiones similares de la Orinoquia colombiana, que comparten paisajes, como el piedemonte llanero y las sabanas inundables. En contraste, se encuentra lo descrito en Brasil, para la población *M. tridactyla*, expuesta a quemaduras de segundo y tercer grado, donde se observó recuentos celulares con desviación degenerativa, anemia severa, hipoproteinemia y cambios marcados en las enzimas que evalúan el daño muscular (Souza *et al.* 2022). Otro ejemplo de la importancia del hemograma se observa en el caso descrito por Lértora *et al.* (2016), de anemia y de gastritis hiperplásica en *M. tridactyla*, ocasionada por la infección de *Physaloptera magnipapilla*.

Las enzimas son catalizadores biológicos, utilizados en la regulación química de las células y en la homeostasis de los seres vivos. En este sentido, la determinación de las enzimas tiene una importancia diagnóstica, toda vez que su determinación en sangre, más los resultados de la exploración física y la valoración clínica, permite evaluar el estado de salud de un individuo (Diaz González & Ceroni da Silva, 2008). Con este propósito, se discuten los resultados de ALT y AST, que permiten evaluar el funcionamiento del hígado.

Los resultados obtenidos de alanina aminotransferasa (ALT) son similares a los descritos por Satake & Fagliari (2006), en animales en vida libre y a los de Satake & Fagliari (2006) y Di Nucci *et al.* (2014), en animales en cautiverio.

Igualmente, los resultados de aspartato aminotransferasa (AST) son similares a los reportes de Satake & Fagliari (2006), en animales de vida libre en el Cerrado Brasileiro y a los reportados por Satake & Fagliari (2006), Di Nucci *et al.* (2014) y De Oliveira *et al.* (2018), para animales en cautiverio.

La amilasa es una enzima que apoya el diagnóstico del estado del páncreas (López Villalba & Mesa Sánchez, 2015). Se encontraron valores promedio de $606,45 \pm 207,45$ U/l, los cuales, fueron similares a los descritos por Satake & Fagliari (2006), en animales de vida libre y en cautiverio.

Las proteínas se sintetizan en el hígado, excepto las gammaglobulinas, la alteración en las concentraciones pueden indicar un problema hepático, renal, intestinal, hemorragia o inflamación (Diaz González & Ceroni da Silva, 2008). Los resultados de los promedios encontrados de proteínas totales son similares a los descritos para animales cautivos (Di Nucci *et al.* 2014; De Oliveira *et al.* 2018).

Albumina: comparando los resultados obtenidos, los valores de albumina son similares a los trabajos realizados en animales en vida libre en Brasil (Satake & Fagliari, 2006) y para animales en cautiverio (Satake & Fagliari, 2006; Di Nucci *et al.* 2014; De Oliveira *et al.* 2018).

Globulina: los valores promedio encontrados en globulina de 3,08 ± 1,22 g/dl son similares a los promedios en animales en cautiverio en el Cerrado-Brasileño (De Oliveira *et al.* 2018).

Creatinina: las determinaciones en suero de creatinina y albumina ayudan a evaluar la función renal de los animales. Los resultados encontrados son similares en animales en vida libre (Satake & Fagliari, 2006) y a los encontrados en animales en cautiverio en Sao Paulo (Satake & Fagliari, 2006; Di Nucci *et al.* 2014) y en el Cerrado Brasileño (De Oliveira *et al.* 2018).

La valoración de la condición corporal más la determinación de analitos, como la albumina, el calcio y el fósforo, permiten evaluar el estado nutricional de los animales y la dieta suministrada en cautiverio; a continuación, se comparan los resultados de calcio y de fósforo.

Calcio: los niveles de calcio de 2,04 mmol/L son similares a los resultados publicados en animales de vida libre (Satake & Fagliari, 2006) y a los de animales en cautiverio (Satake & Fagliari, 2006; Di Nucci *et al.* 2014).

Fósforo: en referencia a este analito, los resultados de 1,52mmol/L son similares a lo reportado por Satake & Fagliari (2006), para animales en vida libre y en cautiverio. En contraste, los resultados obtenidos son mayores a lo indicado por Di Nucci *et al.* (2014), para animales en cautiverio. Esta última diferencia puede ser explicada, teniendo en cuenta que son animales en cautiverio, a los cuales, se les suministra una dieta elaborada y los animales en vida libre son insectívoros especializados.

Se puede concluir que, teniendo en cuenta la valoración médico-veterinaria, los resultados obtenidos y su respectiva comparación con otros estudios de *M. tridactyla*, se puede inferir que los animales se encontraban sanos y que los valores reportados en el presente estudio se pueden emplear como referentes para futuros trabajos de investigación y en el desarrollo de planes de conservación de esta especie.

Agradecimientos. A la Universidad de los Llanos, por la financiación del proyecto. A la Corporación para el desarrollo sostenible del área manejo especial la Macarena-Cormacarena, por permitir el apoyo en sus actividades de rescate de fauna silvestre.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores y declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Contribución autores:** José Fernández-Manrique, conceptualización, análisis formal, adquisición y manejo de los recursos, desarrollo de la investigación, metodología, administración y supervisión del proyecto, procesamiento de datos, escritura, revisión y edición del documento. Daniel Felipe Buitrago-Linares, desarrollo de la investigación, metodología, administración, procesamiento de datos, escritura, revisión y edición del documento. Ricardo Murillo-Pacheco conceptualización, análisis formal, adquisición y manejo de los recursos, desarrollo de la investigación, metodología, administración y procesamiento de datos, escritura, revisión y edición del documento.

REFERENCIAS

- ALBERICI, V.; DEZBIEZ, A.L.J.; CHIARELLO, A.G.; TELES, D. 2020. Survival Blueprint for the conservation of the giant anteater, *Myrmecophaga tridactyla*, in the Brazilian cerrado. An output from the Anteaters & Highways project, Brazil, and EDGE of existence fellowship, Zoological Society of London, London, UK. 28p. Disponible desde Internet en: https://www.edgeofexistence.org/wp-content/uploads/2018/01/Survival_Blueprint_2020_GiantAnteater_Brazil.pdf
- ALVES, M.H.; KLUYBER, D.; ALVES, A.C.; YOGUI, D.R.; PEREIRA, F.M.; COSTA, M.R.; ATTIAS, N.; PEREIRA DA SILVA, P.M.; DESBIEZ, A.L.J. 2023. Hematology and biochemistry reference intervals in chemically immobilized free-ranging giant anteaters (*Myrmecophaga tridactyla*). European Journal of Wildlife Research. 69:37. <https://doi.org/10.1007/s10344-023-01663-5>
- ASAMBLEA DEPARTAMENTAL DEL META. 2020. Plan de desarrollo económico y social departamental “Hagamos Grande al Meta” para el periodo 2020-2023. Ordenanza 1069 de 2020. Disponible desde Internet en: <https://regioncentralrape.gov.co/plan-de-desarrollo-meta/>
- ASCENSÃO, F.; DESBIEZ, A.L.J. 2022. Assessing the impact of roadkill on the persistence of wildlife populations: A case study on the giant anteater. Perspectives in Ecology and Conservation. 20(3):272-278. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.05.001>
- BERTASSONI, A.; COSTA, R.T.; GOUVEA, J.A.; BIANCHI, R. DE C.; RIBEIRO, J.W.; VANCINE, M.H.; RIBEIRO, M.C. 2019. Land-use changes and the expansion of biofuel crops threaten the Giant anteater in southeastern Brazil. Journal of Mammalogy. 100(2):435-444. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz042>
- CHACÓN PACHECO, J.; FIGEL, J.; ROJANO, C.; RACERO-CASARRUBIA, J.; HUMANEZ-LÓPEZ, E.; PADILLA, H. 2017. Actualización de la distribución e identificación de áreas prioritarias para la conservación de una especie olvidada: el hormiguero gigante en Colombia. Edentata. 18(2017):12-25. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.Edentata-18-1.3.en>
- CHOPERENA PALENCIA, M.C.; MANCERA RODRÍGUEZ, N.J. 2016. Lineamientos para el seguimiento y monitoreo post-liberación de fauna silvestre rehabilitada. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 19(2):411-424. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.96>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. 1989. Ley 84 de 1989. Estatuto nacional de protección de los animales. Disponible desde Internet en: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Leyes/_ley_0084_271289.pdf

- CUNHA, H.F.D.; CARRIJO, T.F.; PRESTES, A.C.; ARRUDA, L.S.; REZENDE, P.B.; SANTOS, T.; BRANDÃO, D. 2015. Food preference of Giant anteater and collared anteater (*Pilosa*, *Myrmecophagidae*) regarding the termite defense strategies. *Bioscience Journal*. 31(1):234-241. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-23360>
- DE FARIA, L.G.; RAHAL, S.C.; MESQUITA, L.D.R.; AGOSTINHO, F.S.; KANO, W.T.; TEIXEIRA, C.R.; BARROS MONTEIRO, F.O. 2015. Gait analysis in Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) with the use of a pressure-sensitive Walkway. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 46(2):286-290. <https://doi.org/10.1638/2014-0057r1.1>
- DE LUCA JR., L.A. 2022. A critique on the theory of homeostasis. *Physiology & Behavior*. 247:113712. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113712>
- DE OLIVEIRA, E.; DE CAMPOS TRENTIN, T.; GARCIA VILA, L.; DA SILVA, S.L.; ARHNOLD, E.; MARTINS, D.B. 2017. Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla* Linnaeus, 1758) of the Brazilian Cerrado: Hematology and storage effect. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 37(7):773-780. <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2017000700019>
- DE OLIVEIRA, E.; VILA, L.G.; TRENTIN, T. DE C.; JUBÉ, T.D.O.; MARTINS, D.B. 2018. Biochemical parameters of the Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla* Linnaeus, 1758) of the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 38(1):189-194. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-5306>
- DI NUCCI, D.L.; MARC, L.B.; PÉREZ JIMENO, G.; SCAPINI, J.P.; DI MASSO, R.J. 2014. Valores hematológicos y bioquímica sanguínea en osos hormigueros gigantes (*Myrmecophaga tridactyla*) cautivos en Argentina. *Edentata*. 15:39-51. <https://doi.org/10.5537/020.015.0102>
- DIAZ GONZÁLEZ, F.H.; CERONI DA SILVA, S. 2008. Patología clínica veterinária: texto introdutório. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre). 342p.
- DINIZ, M.F.; BRITO, D. 2015. Protected areas effectiveness in maintaining viable Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) populations in an agricultural frontier. *Natureza & Conservação*. 13(2):145-151 <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.08.001>
- FARHA, A.H.; DA SILVA, J.P.; DE SOUZA BETE S.B.; MAMPRIM, M.J.; SCHIMMING, B.C. 2021. Computed tomography and cross-sectional anatomy of the head in the giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*). *Anatomía Histología Embriología*. 50(3):614-624. <https://doi.org/10.1111/ah.12669>
- FERNÁNDEZ-MANRIQUE, J.; MURILLO-PACHECO, R.; MORALES ROZO, A. 2021. Fauna silvestre rescatada por Cormacarena y evaluada por la Universidad de los Llanos. Universidad de los Llanos-Unillanos. <https://doi.org/10.15472/ntwgf>
- GULL, J.M.; STAHL, M.; OSMANN, C.; ORTMANN, S.; KREUZER, M.; HATT, J.-M.; CLAUSS, M. 2015. Digestive physiology of captive Giant anteaters (*Myrmecophaga tridactyla*): Determinants of faecal dry matter content. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 99(3):565-576. <https://doi.org/10.1111/jpn.12223>
- HUMANEZ LÓPEZ, E.; CHACÓN PACHECO, J. 2013. Nuevo registro de *Myrmecophaga tridactyla* para el departamento de Córdoba, Colombia con anotaciones sobre comportamiento agonístico interespecífico. *Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA*. 5(2):422-426. <https://doi.org/10.24188/recia.v5.n2.2013.454>
- HUMANEZ-LÓPEZ, E.; CHACÓN PACHECO, J.J.; SUPERINA, M.; GONZÁLEZ-MAYA, J.F. 2014. Prioridades de investigación del superorden *Xenarthra* en Colombia II Simposio Colombiano de perezosos, armadillos y hormigueros IV Congreso Colombiano de Zoología, Cartagena, 1-5 de diciembre de 2014. *Edentata*. 15(2014):73-76. <https://doi.org/10.5537/020.015.0114>
- JEAN DESBIEZ, A.L.; MEDRI, Í.M. 2010. Density and Habitat Use by Giant Anteaters (*Myrmecophaga tridactyla*) and Southern Tamanduas (*Tamandua tetradactyla*) in the Pantanal Wetland, Brazil. *Edentata*. 11(1):4-10. <https://doi.org/10.1896/020.011.0102>
- LÉRTORA, W.J.; MARIA, M.; MUSSART, N.B.; VILLORDO, G.I.; SANCHEZ NEGRETTE, M. 2016. Anemia and hyperplastic gastritis in a giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) due to Physaloptera magnipapilla Parasitism. *Brazilian Journal of Veterinary Pathology*. 9(1):20-26.
- LÓPEZ-OTÍN, C.; KROEMER, G. 2021. Hallmarks of health. *Cell*. 184(1):33-63. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.11.034>
- LÓPEZ VILLALBA, I.; MESA SÁNCHEZ, I. 2015. Guía práctica de interpretación analítica y diagnóstico diferencial en pequeños animales. *Servet (España)*. 168p.
- MINISTERIO DE SALUD. 1993. Ministerio de Salud. Resolución Número 8430de1983. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Disponible desde Internet en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>

- MIRANDA, F.; BERTASSONI, A.; ABBA, A.M. 2014. *Myrmecophaga tridactyla*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014. <https://www.iucnredlist.org/species/14224/47441961>
- NOONAN, M.J.; ASCENSÃO, F.; YOGUI, D.R.; DESBIEZ, A.L.J. 2021. Roads as ecological traps for Giant anteaters. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.04.02.438243>.
- ROJANO BOLAÑO, C.; ÁVILA AVILÁN, R. 2021. Mortalidad de vertebrados silvestres por atropellamiento en el departamento de Casanare, Colombia. *Revista de Medicina Veterinaria*. 42:27-40. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss42.4>
- ROJANO BOLAÑO, C.; MIRANDA CORTÉS, L.M.; ÁVILA AVILÁN, R.C. 2014. Manual de rehabilitación de los hormigueros de Colombia. Fundación Cunaguaro; Geopark Colombia S.A.S. Yopal, Casanare.155p.: <https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/manual-de-rehabilitacin-de-hormigueros-de-colombia.pdf>
- ROJANO-BOLAÑO, C.; MIRANDA-CORTÉS, L.; ÁVILA-AVILÁN, R.; ÁLVAREZ-OTERO, G. 2014. Parámetros hematológicos de hormigueros gigantes (*Myrmecophaga tridactyla* Linnaeus, 1758) de vida libre en Pore, Colombia. *Veterinaria y Zootecnia*. 8(1):85-98. <https://doi.org/10.17151/vetzo.2014.8.1.6>
- SANCHES, T.C.; MIRANDA, F.R.; OLIVEIRA, A.S.; MATUSHIMA, E.R. 2013. Hematology values of captive giant anteaters (*Myrmecophaga tridactyla*) and collared anteaters (*Tamandua tetradactyla*). *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 33(4):557-560. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2013000400022>
- SANDOVAL-GÓMEZ, V.E.; RAMÉREZ-CHAVES, H.E.; MARÍN, D. 2012. Registros de hormigas y termitas presentes en la dieta de Osos hormigueros (Mammalia: Myrmecophagidae) en tres localidades de Colombia. *Edentata*. 13(1):1-9. <https://doi.org/10.5537/020.013.0104>
- SATAKE, F.; FAGLIARI, J.J. 2006. Proteinogramas séricos de tamanduás-bandeiras (*Myrmecophaga tridactyla*) de vida-livre e de mantidos em cativeiro. *Ars Veterinaria*. 22(2):112-116. <http://dx.doi.org/10.15361/2175-0106.2006v22n2p112-116>
- SOUZA, T.G.DE.; BARROS, M.A.DE.; ZORZO, C.; BORGES, J.C.; MAGALHÃES, T.B.S.; MENDONÇA, A.J.; ALKMIM, J.G.M.; MORGADO, T.O.; KUKZMARSKI, A.H.; PALERMO, A.L.P. 2022. Alterações clínicas e hematológicas em Tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) vítima de incêndios no Pantanal Mato-grossense: Relato de caso. *Research, Society and Development*. 11(3): e42811327113. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.27113>
- VALLE JEREZ, S.D.; HALLOY, M. 2003. El oso hormiguero, *Myrmecophaga tridactyla*: crecimiento e independización de una cría. *Mastozoología Neotropical*. 10(2):323-330.
- VERDADE, L.M.; PIÑA, C.I.; ROSALINO, L.M. 2015. Biofuels and biodiversity: Challenges and opportunities. *Environmental Development*. 15:64-78. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.05.003>
- ZATULOVSKIY, E.; SKOTHEIM, J.M. 2020. On the molecular mechanisms regulating animal cell size homeostasis. *Trends in Genetics*. 36(5):360-372. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2020.01.011>

Trematodes and acanthocephalans associated with the yellow mojarra (*Caquetaia kraussii*) in a coastal lagoon system, San Onofre, Colombia

Tremátodos y acantocéfalos asociados a mojarra amarilla (*Caquetaia kraussii*) en un sistema de laguna costera, San Onofre, Colombia

Daisy A. Gómez-Ruíz^{1*} ; Carolina Lenis² 

¹Corporación Universitaria Remington, Faculty of Veterinary Medicine, GINVER Group. Medellín-Antioquia, Colombia; e-mail: daisy.gomez@uniremington.edu.co

²Universidad de Antioquia, Study and Control of Tropical Diseases Program - PECET. Medellín-Antioquia, Colombia; e-mail: carolina.lenis@udea.edu.co

*Corresponding author: daisy.gomez@uniremington.edu.co

How to quote: Gómez-Ruíz, D.A.; Lenis, C. 2024. Trematodes and acanthocephalans associated with the yellow mojarra (*Caquetaia kraussii*) in a coastal lagoon system, San Onofre, Colombia Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2386. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2386>

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

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

Received: March 21, 2023

Accepted: March 11, 2024

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

In Colombia, ichthyozoonoses caused by helminths are little studied and remain neglected by the public health sector, representing an interaction to be explored regarding biodiversity and health. *Caquetaia kraussii* is a native fish of Colombia and Venezuela that is economically important due to its high consumption by local communities. This research records the fauna of parasitic helminths associated with *C. kraussii* in a coastal lagoon system in the Colombian Caribbean. Thirty-two specimens of *C. kraussii* were captured and inspected in February and December 2020, resulting in the collection of 242 helminths at the metacercariae stage and adults. Parasites included metacercaria of the trematodes *Clinostomum* sp., *Austrodiplostomum* sp., two forms of *Posthodiplostomum* and adults of *Oligogonotylus andinus*, and adults of the acanthocephalan *Neoechinorhynchus* sp. These results indicate that *C. kraussii* acts as a definitive host for *O. andinus* and *Neoechinorhynchus* sp., and as an intermediate host for *Clinostomum* sp., *Posthodiplostomum* spp. and *Austrodiplostomum* sp. This research reports for the second time a population of *O. andinus* in Colombia and the occurrence of a morpho-species of the genus *Neoechinorhynchus* that could constitute a new record for Colombia. In addition to contributing to the knowledge of the diversity of fish-associated helminths, the results of this research will make it possible to generate recommendations for the management and control of helminthiasis in artificial fish farming systems that are supplied by natural tributaries, and favor the establishment of hosts and parasites.

Keywords: Cichlid parasites; Eoacanthocephala, Freshwater fishes; Helminths; Trematoda.

RESUMEN

En Colombia, las ictiozoonosis causadas por helmintos son poco estudiadas y permanecen desatendidas desde el sector de la salud pública, representando una interacción por explorar en términos de biodiversidad y salud. *Caquetaia kraussii* es un pez nativo de Colombia y Venezuela de importancia económica, debido a su alto consumo por parte de comunidades locales. Esta investigación registra la fauna de helmintos parásitos asociados a *C. kraussii* en un sistema de laguna costera en el Caribe colombiano. En febrero y diciembre de 2020 se examinaron 32 especímenes de *C. kraussii*, de los que se recolectaron 242 helmintos en los estadios de metacercaria y adulto. Los parásitos incluyeron metacercarias de los tremátodos *Clinostomum* sp., *Austrodiplostomum* sp., dos morfoespecies de *Posthodiplostomum* spp. y adultos de *Oligogonotylus andinus* además de adultos del acantocéfalo (Eoacanthocephala) *Neoechinorhynchus* sp. Estos resultados indican que *C. kraussii* actúa como hospedador definitivo de *O. andinus* y *Neoechinorhynchus* sp., y como hospedador intermediario de *Clinostomum* sp., *Posthodiplostomum* spp. y *Austrodiplostomum* sp. Se reporta por segunda vez una población de *O. andinus* en Colombia y la ocurrencia de una morfoespecie del género *Neoechinorhynchus* que podría ser un reporte nuevo para Colombia. Además del aporte al conocimiento de la diversidad de helmintos asociados a peces, los resultados de esta investigación podrían ser aprovechados para generar recomendaciones para el manejo y control de helmintiasis en sistemas piscícolas artificiales que se surten de afluentes naturales y favorecen el establecimiento de hospederos y parásitos.

Palabras claves: Eoacanthocephala; Helmintos; Parásitos de cíclidos; Peces de agua dulce; Trematoda.

INTRODUCTION

Fishery resources are an important source of macro- and micronutrients for human populations, representing more than 17% of animal protein of the global consumption, and up to 50% in some countries (Thilsted *et al.* 2014). In Latin America, fisheries and aquaculture production are fundamental milestones in social, economic, and nutritional development, with about 85% of production resulting from artisanal fisheries (FAO & ECLAC, 2020).

This nutritional dependence on fish resources also leads to a potential exposure of human communities to health risks, considering that many of the parasitic infections that affect fish species for consumption are zoonotic (Chai *et al.* 2005). These parasitic zoonoses transmitted through food consumption, including fish, are of high relevance to public health and socio-economic problematics in some countries, particularly in Asia (Lima dos Santos & Howgate, 2011), in addition to being a key contributor to the transmission of diseases through food webs.

Zoonotic helminthiasis related to the consumption of fish or fish products have been associated with populations in low- and middle-income countries (Chai *et al.* 2005). In the context of countries such as Colombia, Mexico and Peru, the acquisition of fish in local markets or through subsistence fishing can expose people to parasites at different stages of development (Rojas Sánchez *et al.* 2014; Castellanos-Garzón *et al.* 2019; Murrieta Morey *et al.* 2022). However, the geographic distribution of these diseases and the populations at risk have been constantly growing as a consequence of the expansion of international markets and demographic changes, increasing the risk of contagion even in developed countries (Chai *et al.* 2005).

Considering the above, the identification of parasites in fish not only allows us to know their diversity and ecology (Bautista-Hernández *et al.* 2015) but also to understand their role as keystone species in shaping communities and their importance in various ecological processes (Frainer *et al.* 2018). In addition, this understanding may be crucial for suggesting animal health guidelines aimed at controlling and preventing parasitic infections with health implications for both fish and humans (Quijada *et al.* 2005; Soler-Jiménez *et al.* 2017).

The yellow mojarra *Caquetaia kraussii* (Steindachner, 1878) (Pisces: Cichlidae) is a fish native from Colombia and Venezuela. In Colombia it is distributed in the basins of the Magdalena, Cauca, and Caribbean (Do Nascimento *et al.* 2017) and Pacifica regions (Rivas-Lara & Gómez-Vanega, 2017). This fish is an important food source, being regularly consumed and traded by local communities. The research related to the mojarra amarilla includes biological and fishing aspects (Solano-Peña *et al.* 2013; Durán *et al.* 2014; Rivas-Lara & Gómez-Vanega, 2017; Zapata-Londoño *et al.* 2020), as well as parasitological studies (Olivero-Verbel *et al.* 2012; Castellanos-Garzón *et al.* 2020). However, these works focus on nematodes, overlooking the diversity of trematodes and associated acanthocephalans.

Therefore, the purpose of this paper is to provide an initial record of the diversity of helminths associated with yellow mojarra in a nature reserve in the Colombian Caribbean.

MATERIALS AND METHODS

Area of study. The study was conducted in the Sanguaré Natural Reserve, located north of the Gulf of Morrosquillo 99°43'13.61" N, 75°40'33.31" W, municipality of San Onofre, Sucre, Colombia (Figure 1). The area corresponds to a civil society reserve and has an area of 898 ha and covers an altitudinal range between 0 and 50 m. The ecosystem is categorized as a tropical dry forest, exhibits a bimodal rainfall regime (April-May and October-November), an annual rainfall of 1100 mm, relative humidity close to 86% and an average temperature of 27 °C (Pizano & García 2014). Sanguaré offers a variety of vegetation cover, including 80ha of flood zones with abundant bulrushes and coastal lagoons, 110 ha of secondary forest, and 708 ha of grasslands, shrubs, and mangroves.

Sample collection and identification. The *C. kraussii* specimens were caught in the main inlet of the reserve by artisanal hook-and-line fishing in February and December 2020 (Figure 2a). After capture, the specimens were placed in containers with water and vegetation and transferred alive to the field laboratory, where they remained in a cool place with a constant supply of oxygen (aquarium air motor) (Figures 2b and c). For helminthological examination each fish was sacrificed by overdosing with Isoeugenol (Erikson, 2011), subsequently their total length (TL) was measured. External inspection of the eyes, oral cavity, gills, surface, and fins was carried out, as well as internal evaluation of the vitreous humor, retina, mesentery, digestive system, and body fin muscles, all by observation through a stereomicroscope.

The procedure for handling and treatment of helminths depended on their stage of development and body location. The parasite forms found were separated, cleaned with a Pasteur pipette and a fine brush, counted, and preserved in 96% ethyl alcohol for molecular analysis or AFA solution (pre-warmed in a water bath) for morphological identification. Metacercariae extracted from the buccal cavity and fins were manually dehisced, washed, counted, and fixed. Metacercariae not encysted in the vitreous humor were immediately transferred to fixatives (96% ethyl alcohol or AFA) and cleaned 24 hours after fixation. Helminths in the digestive system were transferred to a Petri dish with saline solution (0.7%), cleaned, counted, and fixed. Finally, large trematodes found in the buccal cavity and selected for morphological analysis were flattened between two slides with saline solution and then fixed. All collected specimens were transferred to the Helminthology Laboratory of PECET (Universidad de Antioquia) for taxonomic identification.

Representative specimens of each morphotype were processed (staining and mounting on permanent plates) for morphological studies following standardized protocols for helminths (Vélez, 1987; Lenis & Vélez, 2011). Specimens were identified to family or genus level (according to their developmental stage (larva or adult) following the specialized documentation (Yamaguti, 1975; Amin, 2002; Gibson *et al.* 2002; Pinacho-Pinacho *et al.* 2018; Vélez-

Sampedro *et al.* 2022) and deposited in the Colombian Helminth Collection of the Universidad de Antioquia (CCH.116 Batch 179-185). For each of the identified taxa, prevalence ($P = \text{number of parasitized hosts} / \text{number of hosts examined} \times 100$) and average

abundance (total number of parasites recovered from the host divided by the number of hosts inspected) were estimated as infection parameters (Bush *et al.* 1997; Bautista-Hernández *et al.* 2015).

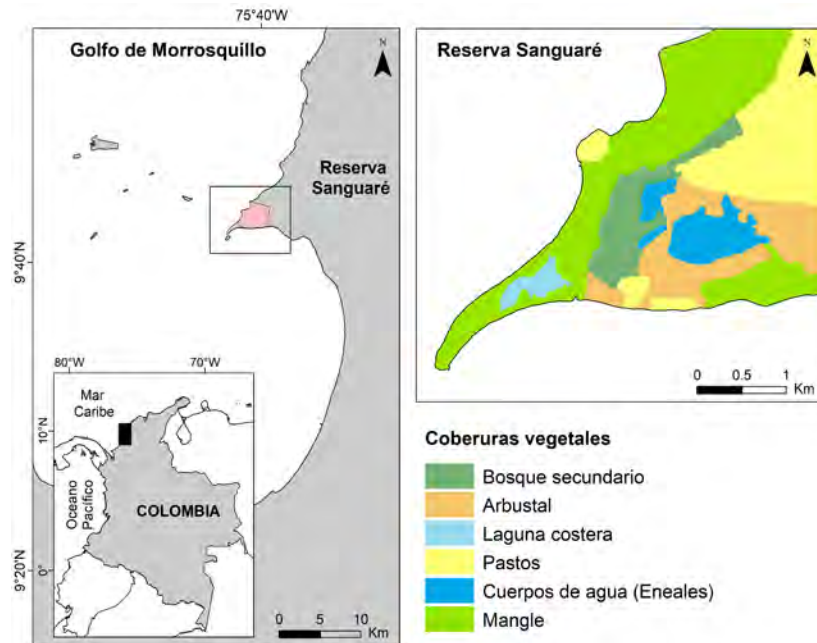


Figure 1. Yellow mojarra *Caquetaia kraussii* sampling site in the Sanguaré Natural Reserve, San Onofre, Sucre.

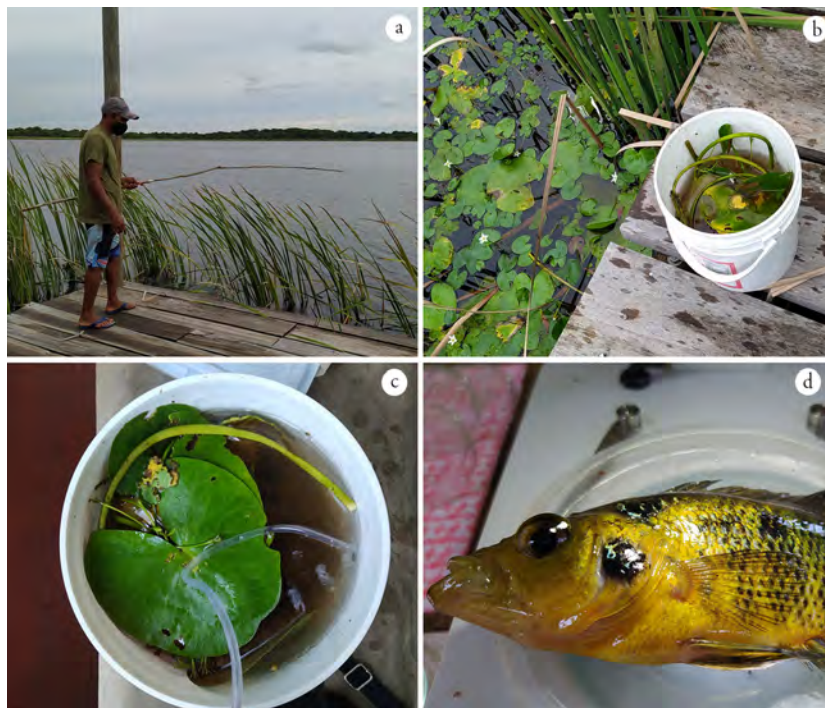


Figure 2. Photographic summary of the collection and processing of yellow mojarra *Caquetaia kraussii* to search for helminths. a) Artisanal fishing with hooks, b) Containers with water and vegetation for the transfer of live fish, c) Installation of an oxygen net for host survival, d) Slaughter and immediate analysis for the recovery of live parasites.

RESULTS AND DISCUSSION

Thirty-two yellow mojarra with a body size range of 15-18 cm were analyzed. The average processing time spent on each host was 2.5 h. From the inspection of the hosts, a total of 242 parasites assigned to six types of helminths were collected, five belonging to the class Trematoda (Platyhelminthes) including *Austradiplostomum* sp., *Clinostomum* sp., *Oligogonytylus andinus* (Vélez-Sampedro et al. 2022), and two morphospecies of the genus *Posthodiplostomum*

in addition to an Acanthocephala of the class Eoacanthocephala (Acanthocephala): *Neoechinorhynchus* sp. (Table 1). Parasites were collected as metacercariae around the eyes, outer part, and muscles of the pectoral fins, in the oral cavity and in the vitreous humor, while adult forms were found exclusively in the intestine (Figure 3 and Table 1). A total of 78.4 % of the fish examined were infected by at least one of the above taxa. The taxa *Austradiplostomum* sp., *Clinostomum* sp. and *Neoechinorhynchus* sp. recorded the highest prevalences and average abundances (Table 1).

Table 1. Helminths registered in yellow mojarra *Caquetaia kraussii* in a coastal lagoon ecosystem, Sanguaré Natural Reserve, Sucre, Colombia.

Helminth taxon	Site of infection	Prevalence (average abundance)	Figure
Platyhelminthes			
Trematoda			
<i>Austradiplostomum</i> sp.*	Vitreous humor	43.8% (1.59)	3a and d
<i>Posthodiplostomum</i> morphospecies I*	Pectoral fin muscle	15.6% (1.06)	3b and e
<i>Posthodiplostomum</i> morphospecies II*	Pectoral fin muscle	6.3% (5)	3b and f
<i>Clinostomum</i> sp.*	Around eyes, pectoral fins, and buccal cavity	50.0% (0.16)	3g
<i>Oligogonytylus</i> sp.	Middle portion of the large intestine	18.8% (0.19)	3h
Acanthocephala			
Eoacanthocephala			
<i>Neoechinorhynchus</i> sp.	Middle and distal portion of the small intestine	46.9% (2.72)	3i

*Genus for which only metacercariae were recovered

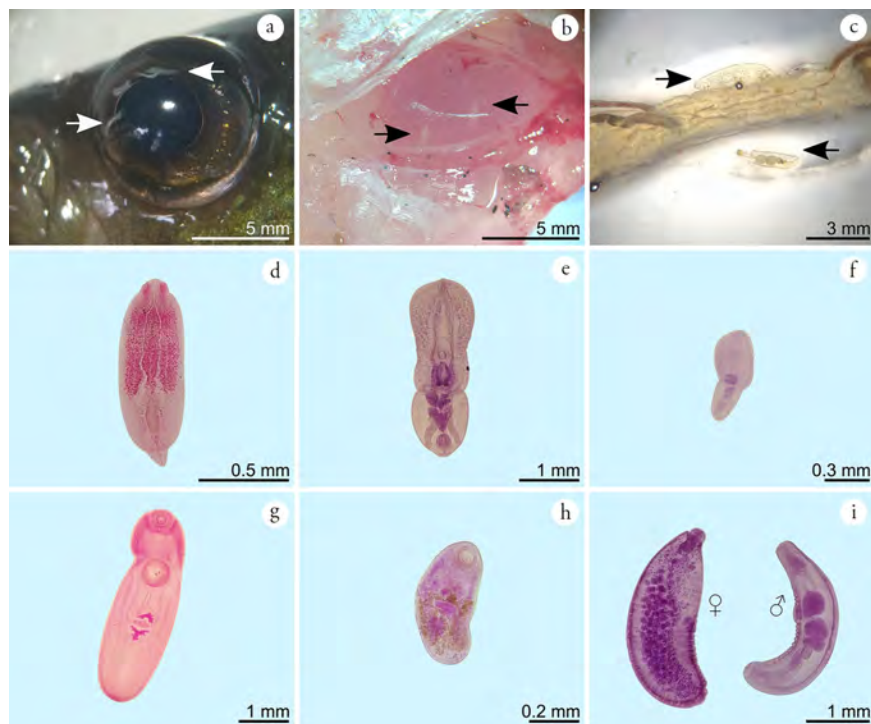


Figure 3. Helminths associated with yellow mojarra *Caquetaia kraussii* in the main redbed of the Sanguaré Natural Reserve, Sucre. a) Free metacercariae in vitreous humor, b) Encysting metacercariae in pectoral fin muscle, c) Acanthocephalans in the middle portion of the small intestine, d) Metacercariae of *Austradiplostomum* sp. e) Metacercaria of *Posthodiplostomum* morphospecies I, f) Metacercaria of *Posthodiplostomum* morphospecies II, g) Metacercaria of *Clinostomum* sp., h) *Oligogonytylus andinus*, i) *Neoechinorhynchus* sp. adults.

The identification of four types of metacercariae and two species in the adult stage suggests that yellow mojarra simultaneously serve as intermediate and definitive hosts for helminths. The life cycles recorded in the literature for the parasites identified here provide information on the trophic position occupied by the yellow mojarra in the ecosystem. As an intermediate host, it harbors trematodes of the genera *Clinostomum*, *Posthodiplostomum* and *Austrodiplostomum*, which complete their life cycle in other piscivorous species present in the reedbed. As a definitive host it harbors the trematode *Oligogonotylus andinus* and the acanthocephalan *Neoechinorhynchus* sp. which use other fish and arthropods as intermediate hosts, respectively (Razo-Mendivil *et al.* 2008; Lourenço *et al.* 2018; Vélez-Sampedro *et al.* 2022).

The infection parameters obtained indicate that *Clinostomum*, *Neoechinorhynchus* and *Austrodiplostomum* are the most prevalent forms in the system studied and provide data on the parasite load for the host in the wild. In the context of local production and consumption, this information is important as a reference to make comparisons with artificial fish farming systems, especially in low-tech fish farms that are supplied by natural tributaries and favor the establishment of hosts and helminths (Lima dos Santos & Howgate, 2011).

The parasite with the highest prevalence was *Clinostomum* (Figure 3g), which was present in 50% of the hosts analyzed. Adults of this genus generally invade the oral cavity, pharynx, or esophagus of piscivorous birds, while several species of fish and amphibians act as second intermediate hosts (Montes *et al.* 2021).

The genus *Clinostomum* comprises 23 validated species of which 11 are found in the New World, four of which are distributed in South America: *C. detruncatum* (Braun, 1899), *C. heluans* (Braun, 1899), *C. marginatum* (Rudolphi, 1819) Braun, 1901), and *C. fergalliarii* (Montes, Barneche, Pagano, Ferrari, Martorelli, & Pérez-Ponce de León, 2021); five in Central America: *C. tataxumui* (Serenio-Uribe, Pinacho-Pinacho, García-Varela & Pérez-Ponce de León, 2013), *C. arquus* (Serenio-Uribe, García-Varela, Pinacho-Pinacho & Pérez-Ponce de León, 2018), *C. caffarae* (Serenio-Uribe, García-Varela, Pinacho-Pinacho & Pérez-Ponce de León, 2018), *C. cichlidorum* (Serenio-Uribe, García-Varela, Pinacho-Pinacho & Pérez-Ponce de León, 2018), and *C. heluans* (Braun, 1899), and four in North America: *C. attenuatum* (Cort, 1913), *C. album* (Rosser, Alberson, Woodyard, Cunningham, Pote & Griffin, 2017), *C. poteae* (Rosser, Baumgartner, Alberson, Noto, Woodyard, King, Wise & Griffin, 2018), and *C. marginatum* (Montes, Barneche, Pagano, Ferrari, Martorelli, & Pérez-Ponce de León, 2021).

The species *C. marginatum* and *C. complanatum* (Rudolphi, 1814) Braun, 1899) were reported from piscivorous birds in the Colombian Caribbean (Rietschel & Werding, 1978; Fernandes *et al.* 2015). However, Caffara *et al.* (2011) indicate that *C. complanatum* has a distribution restricted to the European continent, suggesting the need for a taxonomic revision of the populations of *Clinostomum* reported in Colombia.

Clinostomiasis is a disease of minimal importance at the fish farming level, but Rosser *et al.* (2018) reported serious infections that can affect the health and subsequent marketability of fish. Metacercariae give fish a bad appearance, so people involved in sport, artisanal and commercial fishing discard parasitized individuals (Rodríguez *et al.* 2001). *Clinostomum* infections have been reported in humans, with localization in the mucosa of the throat and eyes. In cases in which a human consumes raw fish, the parasite accidentally attaches to the mucosal surface of the throat, resulting in a clinical syndrome known as halzoun, which manifests with symptoms of laryngopharyngitis (Park *et al.* 2009). This zoonosis has been reported mainly in countries such as Japan and Korea (Hara *et al.* 2014). When the infection is located in the lacrimal opening it manifests with discomfort and pain in the frontal sinus area (Tiewchaloern *et al.* 1999).

Neoechinorhynchus sp. was the form with the highest average abundance and the second most prevalent with 46.9% in *C. kraussii* (Figures 3c and 3i). This genus represents a diverse group of endoparasites of freshwater fish and turtles, with approximately 116 described species (Pinacho-Pinacho *et al.* 2018). The study of different populations of *Neoechinorhynchus* in Central America has allowed the validation of eight species in fish (Pinacho-Pinacho *et al.* 2020): *N. golvani* (Salgado-Maldonado, 1978), *N. chimalapasensis* (Salgado-Maldonado, 2010), *N. roseum* (Salgado-Maldonado, 1978), *N. brentnickoli* (Monks, Pulido-Flores & Violante-Gonzalez, 2011), *N. mamesi* (Pinacho-Pinacho, Pérez-Ponce de León & García-Varela, 2012), *N. panucensis* (Salgado-Maldonado, 2013), *N. mexicoensis* (Pinacho-Pinacho, Sereno-Uribe & García-Varela, 2014), and *N. costarricense* (Pinacho-Pinacho, Sereno-Uribe, García-Varela, & Pérez-Ponce de León, 2020). In South America, 12 species of *Neoechinorhynchus* have been described in fish (Arredondo & Gil de Pertierra, 2012; Melo *et al.* 2013; Brito-Porto *et al.* 2017; De Souza & De O. Malta, 2019): *N. macronucleatus* (Machado, 1954), *N. buttnerae* (Golvan, 1956), *N. paraguayensis* (Machado, 1959), *N. prochilodorum* (Nickol & Thatcher, 1971), *N. curemai* (Noronha, 1973), *N. pterodoridis* (Thatcher, 1981), *N. villoldoi* (Vizcaino, 1992), *N. pimelodi* (Brasil-Sato & Pavanelli, 1998), *N. veropesoi* (Melo, Costa, Giese, Gardner & Santos, 2013), *N. inermis* (Brito-Porto *et al.* 2017), *N. pellonis* (De Souza & De O. Malta, 2019), and *N. colastinense* (Arredondo & Gil de Pertierra, 2012).

In Colombia, the study of acanthocephalans is still in its early stages, and only five species are reported in fish (Nickol & Thatcher, 1971; Schmidt & Huggins, 1973). Two of these belong to the genus *Neoechinorhynchus*: *N. prochilodorum* (Nickol & Thatcher, 1971) reported on *Prochilodus reticulatus* (Valenciennes, 1850) in Laguna del Sonso, Valle del Cauca (Nickol & Thatcher, 1971), and *N. buttnerae* (Golvan, 1956) reported on *Colossoma nigripinnis* (Cope, 1878) in Leticia, Amazonas (Schmidt & Huggins, 1973). Considering the high levels of cryptic diversity that this group presents in other regions of the Neotropics (Pinacho-Pinacho *et al.* 2018), *Neoechinorhynchus* species richness may be underestimated for the country. Based on this scenario, the morphospecies reported

here could represent the record of a species previously unreported for Colombia. Taxonomic studies will allow us to know the specific identity of this morphospecies and its relationship with other species of the genus.

Acanthocephalosis, including that caused by forms of *Neoechinorhynchus*, has negative impacts on fish production. *Neoechinorhynchus buttnerae* is considered one of the species with the greatest impact on aquaculture production (Ramos Valladão *et al.* 2020). It is considered a silent disease, which goes unnoticed by the fish farmer, if adequate sanitary control is not carried out (Ramos Valladão *et al.* 2020). Acanthocephalans affect the mucosal, submucosal, and muscular layers, causing laceration and intense inflammatory reactions. The main clinical manifestation in fish parasitized by acanthocephalans is progressive weight loss. Once in the intestine of the fish, the parasite alters the integrity of the intestinal mucosa and then begins to compete for the nutrients ingested by the fish (Jerônimo *et al.* 2017).

In the present study, three morphospecies of the family Diplostomidae were also found parasitizing *C. kraussii*, these were *Austrodiplostomum* sp. in vitreous humor (prevalence 43.8%; Figures 3a and 3d) and two morphospecies of *Posthodiplostomum* encysted in pectoral fin muscles (prevalences of 15.6% and 6.3%; Figures 3b, 3e and 3f). Adult forms of *Austrodiplostomum* are intestinal parasites of cormorants, while metacercariae are parasites of the eyeball and brain of freshwater and brackish water fish (García-Varela *et al.* 2016; Sereno-Uribe *et al.* 2019). This genus includes only two species: *A. mordax* (Szidat & Nani, 1951), described in South America and *A. compactum* (Lutz, 1928) reported from the United States, Mexico, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Venezuela, Peru, and Brazil (De Fátima Cracco *et al.* 2022). In the Colombian Caribbean, adults of *A. compactum* and *A. ostrowskiae* have been reported in piscivorous birds (Rietschel & Werding, 1978) and as metacercariae in *C. kraussii* (Olivero-Verbel *et al.* 2012) in *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852) and *O. niloticus* (Linnaeus, 1758) (Soler-Jiménez *et al.* 2017). It is important to note that recent molecular analyses propose synonymy between *A. compactum* and *A. ostrowskiae* (García-Varela *et al.* 2016; Ostrowski de Núñez, 2017; De Fátima Cracco *et al.* 2022). *Austrodiplostomum* metacercariae cause verminous cataracts in fish and can affect other organs such as gills, muscle, swim bladder and brain (Amin, 2002). High infections in cultures associated with this genus are attributed to high fish densities and abundance of mollusk hosts in artificial ponds (Violante-González *et al.* 2009).

Posthodiplostomum are intestinal parasites of piscivorous birds with a worldwide distribution. The metacercariae of *Posthodiplostomum* found in the present study correspond to two morphospecies (Figures 3e and 3f), which differ from each other in body size and organ distribution. Eight species are reported from South America: *Posthodiplostomum grande* (Diesing, 1850), *P. macrocotyle* (Dubois, 1937), *P. microsicya* (Dubois, 1937), *P. nanum* (Dubois, 1937), *P. obesum* (Lutz, 1928), *P. giganteum* (Dubois, 1988), *P. mignum* (Boero, Led & Brandetti, 1972), and *P. euryppygae* (Achatz, Chermak, Bell, Fecchio & Tkach, 2021) (Fernandes *et al.*

2015; López-Hernández *et al.* 2018). In Colombia, the presence of *P. nanum* is recognized in *Butorides virescens maculata* (Drago & Lunaschi, 2011), and although previous work considered the occurrence of *P. minimum* (Rietschel & Werding, 1978), this has not been validated in recent listings for South America (Fernandes *et al.* 2015). The high morphological and molecular variation reported in metacercariae of some species of the genus in Central America (Perez-Ponce de León *et al.* 2021; Díaz Pernet *et al.* 2022) highlights the importance of carrying out taxonomic studies of the morphospecies found here, in order to establish their relationship with previously described lineages.

Metacercariae parasitize the surface of the body, fins, scales or in the musculature and body cavity of fish (Ritossa *et al.* 2013; Cech *et al.* 2020). When the parasites are located in the skin, melanophores agglomerate around them, giving rise to dark pigmented spots, which is known in fish farming as black spot disease (Rodríguez *et al.* 2001). Other liver-hosting *Posthodiplostomum* species are associated with liver damage that can cause digestion dysfunction and consequently, malnutrition in infected fish (Osorio-Sarabia *et al.* 1986; López-Hernández *et al.* 2018). Although at the fish farming level, it is known that black spot disease is produced by diplostomids (Alvarez-León, 2007; Horák *et al.* 2014), taxonomic studies are required to determine the species existing in Colombia.

Adult forms of *Oligogonotylus andinus* (Figure 3h) recorded a prevalence of 18.8 % and the lowest average abundance in the study. This is a genus exclusive to cichlids and contains three species, *O. manteri* (Watson, 1976) and *O. mayae* (Razo-Mendivil *et al.* 2008) in Central America (Razo-Mendivil *et al.* 2008) and *O. andinus* (Vélez-Sampedro *et al.* 2022) described in the blue mojarra (*Andinoacara latifrons*) in a fish farm of peasant economy in the Antioquia department. The life cycle of *O. andinus* is complex and involves cochliopid, poeciliid and cichlid micromollusks (Vélez-Sampedro *et al.* 2022). This research reports for the second time a population of *O. andinus* in Colombia, extending its distribution range from the Cauca River basin in the Andean region to the coastal region of the Colombian Caribbean.

The infection parameters in this study for *O. andinus* in yellow mojarra contrast with those found in blue mojarra, where the abundance and prevalence values reach values of 100% and 39.3% (Vélez-Sampedro *et al.* 2022). Focus studies on small fish farming systems provide important data on the dynamics of parasite transmission, useful for the design of control programs. The study of the life cycle of *Oligogonotylus* in blue mojarra revealed that the presence and high densities of intermediate hosts in fishponds favor high parasite loads (re-infection) in definitive hosts.

Therefore, given the importance of the mojarra amarilla in the food security of local communities, it is recommended to continue with efforts to identify the associated helminths and their transmission routes, which will not only strengthen programs for the management and control of diseases caused by helminths, but also public health strategies at the local level, as well as promote new studies to define the impact of parasites at the fish farming level.

At the taxonomic level, an integrative approach is required that includes obtaining adult specimens for morphological characterization of each species, as well as molecular validation of the parasite species found here and reported from metacercariae. In addition, the molecular approach will allow the identification of cryptic species such as the genus *Neoechinorhynchus*.

At the ecological level, the identification of other hosts involved in the life cycle of the parasites and their mode of transmission to fish is necessary.

Finally, from a veterinary perspective, treatment and control schemes should be developed. It is hoped that this study will serve as the foundation for future research, enabling diagnosis for other species of fish consumed in the region.

Acknowledgments. To the Reserva Natural Sangaré. **Funding:** UNIREMINGTON (4000000304), Helminthology Unit-PECET, Universidad de Antioquia and MINCIENCIAS (80740-571-2020). Additionally, the authors thank to Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas for the financial support for the translation of this article through the project “Propuesta fortalecimiento gestión editorial de revistas científicas de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A 2023-2024”. **Conflict of interest:** The authors declare that there are no conflicts of interest for the publication of this study. **Authors’ contribution:** Daisy A. Gómez-Ruíz: logistics, conceptualization, writing, revision, and editing. Carolina Lenis: conceptualization, data analysis, research, and writing.

REFERENCES

- ACHATZ, T.J.; CHERMAK, T.P.; MARTENS, J.R.; PULIS, E.E.; FECCHIO, A.; BELL, J.A.; GREIMAN, S.E.; CROMWELL, K.J.; BRANT, S.V.; KENT, M.L.; TKACH, V.V. 2021. Unravelling the diversity of the Crassiphialinae (Digenea: Diplostomidae) with molecular phylogeny and descriptions of five new species. *Current Research in Parasitology & Vector-Borne Diseases*. 1:100051. <https://doi.org/10.1016/j.crpvbd.2021.100051>
- ALVAREZ-LEÓN, R. 2007. Asociaciones y patologías en los peces dulceacuícolas, estuarinos y marinos de Colombia: aguas libres y controladas. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*. 11(1):81-129.
- AMIN, O.M. 2002. Revision of *Neoechinorhynchus* Stiles & Hassall, 1905 (Acanthocephala: Neoechinorhynchidae) with keys to 88 species in two subgenera. *Systematic Parasitology*. 53:1-18. <https://doi.org/10.1023/A:1019953421835>
- ARREDONDO, N.J.; GIL DE PERTIERRA, A.A. 2012. A new species of *Neoechinorhynchus* (Eoacanthocephala: Neoechinorhynchidae) from *Pachyurus bonariensis* (Perciformes: Sciaenidae) from the Paraná River basin in Argentina, with comments on two other species of the genus. *Revue Suisse de Zoologie*. 119(4):425-439. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.part.150202>
- BAUTISTA-HERNÁNDEZ, C.E.; MONKS, S.; PULIDO-FLORES, G.; RODRÍGUEZ-IBARRA, A. 2015. Revisión bibliográfica de algunos términos ecológicos usados en parasitología, y su aplicación en estudios de caso. En: Pulido-Flores, G.; Monks, S.; Lopez-Herrera, M. (eds). *Estudios en biodiversidad*. I. Zea Books, Estados Unidos. p.11-19.
- BRITO-PORTO, D.; SILVA-DE SOUZA, A.K.; DE OLIVEIRA-MALTA, J.C. 2017. A new species of *Neoechinorhynchus* (Eoacanthocephala: Neoechinorhynchidae) from the freshwater fish *Ageneiosus inermis* (Siluriformes) in the Brazilian Amazon. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88(4):798-800. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.023>
- BUSH, A.O.; LAFFERTY, K.D.; LOTZ, J.M.; SHOSTAK, W. 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *The Journal of Parasitology*. 83(4):575-583. <https://doi.org/10.2307/3284227>
- CAFFARA, M.; LOCKE, S.A.; GUSTINELLI, A.; MARCOGLIESE, D.J.; FIORAVANTI, M.L. 2011. Morphological and molecular differentiation of *Clinostomum complanatum* and *Clinostomum marginatum* (Digenea: Clinostomidae) metacercariae and adults. *Journal of Parasitology*. 97:884-891. <https://doi.org/10.1645/GE-2781.1>
- CASTELLANOS-GARZÓN, J.A.; DASCHNER, A.; PUSTOVRH, M.C.; CUELLAR, C. 2019. Characteristics related to fish consumption and the risk of ichthyozoonosis in a Colombian population. *Revista de Salud Pública*. 21(6):1-8. <https://doi.org/10.15446/rsap.V21n6.69898>
- CASTELLANOS-GARZÓN, J.A.; FALLA-ZÚÑIGA, L.F.; SALAZAR, L.; PUSTOVRH-RAMOS, M.C. 2020. Anisákidos y anisakidosis: generalidades y su actualidad en Colombia. *Revisión Bibliográfica. Latreia*. 33(2):143-154. <https://doi.org/10.17533/udea.iatreia.47>
- CECH, G.; SANDOR, D.; MOLNAR, K.; PAULUS, P.; PAPP, M.; PREISZNER, B.; VITAL, Z.; VARGA, A.; SZEKEL, Y.C. 2020. New record of metacercariae of the North American *Posthodiplostomum centrarchi* (Digenea, Diplostomidae) in pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*) in Hungary. *Acta Veterinaria Hungarica*. 68(1):20-29. <https://doi.org/10.1556/004.2020.00001>
- CHAI, J.Y.; MURRELL, K.D.; LYMBERY, A.J. 2005. Fish-borne parasitic zoonoses: status and issues. *International Journal of Parasitology*. 35(11-12):1233-1254. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2005.07.013>

- DE FÁTIMA CRACCO, A.; SCORSIM, B.; DE OLIVEIRA, A.V.; TAKEMOTO, R.M. 2022. Morphological and molecular characterization of *Austrodiplostomum compactum* metacercariae in the eyes and brains of fishes from the Ivaí River, Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*. 31(2):e021421. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612022021>
- DE SOUZA, A.K.S.; DE O. MALTA, J.C. 2019. A new species of *Neoechinorhynchus* Stiles & Hassall, 1905 (Eoacanthocephala: Neoechinorhynchidae) parasite *Pellona castelnaeana* Valenciennes, 1847 (Clupeiformes: Pristigasteridae) of the Brazilian Amazon. *Neotropical Helminthology*. 13(2):227-233.
- DÍAZ PERNETT, S.C.; BRANT, S.V.; LOCKE, S.A. 2022. First integrative study of the diversity and specificity of metacercariae of *Posthodiplostomum* Dubois, 1936 from native and introduced fishes in the Caribbean. *Parasitology*. 149(14):1894-1909. <https://doi.org/10.1017/S0031182022001214>
- DO NASCIMENTO, C.; HERRERA-COLLAZOS, E.E.; HERRERA-R, G.A.; ORTEGA-LARA, A.; VILLANAVARRO, F.A.; OVIEDO, J.S.U.; MALDONADO-OCAMPO, J.A. 2017. Checklist of the freshwater fishes of Colombia: A Darwin Core alternative to the updating problem. *Zookeys*. 708:25-138. <https://doi.org/10.3897/zookeys.708.13897>
- DURÁN, E.; ROSADO, R.; BALLESTEROS, O.D.; LERMA, D.E. 2014. Comercialización de pescado en las principales plazas de mercado de Montería, Colombia. *Temas Agrarios*. 19(1):50-64. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.724>
- ERIKSON, U. 2011. Assessment of different stunning methods and recovery of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*): Isoeugenol, nitrogen and three levels of carbon dioxide. *The UFAW Journal-Animal Welfare*. 20(3):365-375. <https://doi.org/10.1017/S096272860000292X>
- FERNANDES, B.M.M.; JUSTO, C.N.M.; CÁRDENAS, M.Q.; COHEN, C.S. 2015. South American trematode parasites of birds and mammals. *Oficina de Livros Brasil*. p.549
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS-FAO; ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN-ECLAC. 2020. Food systems and COVID-19 in Latin America and the Caribbean: Towards inclusive, responsible and sustainable fisheries and aquaculture. *Bulletin 15*. FAO. Santiago. p.21 Disponible desde Internet en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46107/1/cb1197_en.pdf
- FRAINER, A.; MCKIE, B.G.; AMUNDSEN, P.A.; KNUDSEN, R.; LAFFERTY, K.D. 2018. Parasitism and the biodiversity-functioning relationship. *Trends in Ecology & Evolution*. 33(4):260-268. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.01.011>
- GARCÍA-VARELA, M.; SERENO-URIBE, A.L.; PINACHO-PINACHO, C.D.; DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, O.; PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. 2016. Molecular and morphological characterization of *Austrodiplostomum ostrouskiae* Dronen, 2009 (Digenea: Diplostomatidae), a parasite of cormorants in the Americas. *Journal of Helminthology*. 90(2):174-185. <https://doi.org/10.1017/S0022149X1500005X>
- GIBSON, D.I.; JONES, A.; BRAY, R.A. 2002. Keys to the Trematoda: Volume 1. CAB International and Natural History Museum London. p.521
- HARA, H.; MIYAUCHI, Y.; TAHARA, S.; YAMASHITA, H. 2014. Human laryngitis caused by *Clinostomum complanatum*. *Nagoya Journal of Medical Science*. 76(1-2):181.
- HORÁK, P.; KOLÁŘOVÁ, L.; MIKEŠ, L. 2014. Schistosomatoidea and Diplostomoidea. En: Toledo, R.; Fried, B. (eds). *Digenetic Trematodes. Advances in Experimental Medicine and Biology*. Ed. Springer New York. p.331-364.
- JERÔNIMO, G.T.; PÁDUA, S.B. DE; BELO, M.A. DE A.; CHAGAS, E.C.; TABOGA, S.R.; MACIEL, P.O.; MARTINS, M.L. 2017. *Neoechinorhynchus buttnerae* (Acanthocephala) infection in farmed *Colossoma macropomum*: A pathological approach. *Aquaculture*. 469:124-127. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.11.027>
- LENIS, C.; VÉLEZ, I. 2011. Digeneans in *Trachemys callirostris* and *Podocnemis lewyana* (Testudinata) from the Magdalena River, Colombia: description of *Pseudonematophila* n. gen. and amendment of *Nematophila* Travassos, 1934 (Cladorchiidae: Schizamphistominae). *Zootaxa*. 3095:49-62. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3095.1.5>
- LIMA DOS SANTOS, C.A.; HOWGATE, P. 2011. Fishborne zoonotic parasites and aquaculture: A review. *Aquaculture*. 318(3-4):253-261. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.046>
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D.; LOCKE, S.A.; MELO, A.L. DE; RABELO, É.M.L.; PINTO, H.A. 2018. Molecular, morphological and experimental assessment of the life cycle of *Posthodiplostomum nanum* Dubois, 1937 (Trematoda: Diplostomidae) from Brazil, with phylogenetic evidence of the paraphyly of the genus *Posthodiplostomum* Dubois, 1936. *Infection, Genetics and Evolution*. 63:95-103. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2018.05.010>
- LOURENÇO, F.; MOREY, G.; MALTA, J. 2018. The development of *Neoechinorhynchus buttnerae* (Eoacanthocephala:


- Neoechinorhynchidae) in its intermediate host *Cypridopsis vidua* in Brazil. *Acta Parasitologica*. 63(2):354-359. <https://doi.org/10.1515/ap-2018-0040>
- MELO, F.T.D.V.; COSTA, P.A.F.B.; GIESE, E.G.; GARDNER, S.L.; SANTOS, J.N. 2013. A description of *Neoechinorhynchus* (*Neoechinorhynchus*) *veropesoi* n. sp. (Acanthocephala: Neoechinorhynchidae) from the intestine of the silver croaker fish *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Osteichthyes: Sciaenidae) off the east coast of Brazil. *Journal of Helminthology*. 89(1):34-41. <https://doi.org/10.1017/S0022149X13000564>
- MONTES, M.M.; BARNECHE, J.; PAGANO, L.; FERRARI, W.; MARTORELLI, S.R.; PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. 2021. Molecular data reveal hidden diversity of the genus *Clinostomum* (Digenea, Clinostomidae) in Argentina, with the description of a new species from *Ardea cocoi* (Ardeidae). *Parasitology Research*. 120:2779-2791. <https://doi.org/10.1007/s00436-021-07234-4>
- MURRIETA MOREY, G.A.; TUESTA ROJAS, C.A.; DE OLIVEIRA MALTA, J.C. 2022. Endoparásitos zoonóticos en peces de consumo comercializados en los mercados de la ciudad de Iquitos, Loreto, Perú. *Folia Amazónica*. 31(1):121-133. <https://doi.org/10.24841/fa.v31i1.604>
- NICKOL, B.B.; THATCHER, V.E. 1971. Two New Acanthocephalans from Neotropical Fishes: *Neoechinorhynchus prochilodorum* sp. n. and *Gorytocephalus plecostomorum* gen. et sp. n. *The Journal of Parasitology*. 57(3):576-581.
- OLIVERO-VERBEL, J.; GUERRA-HERNÁNDEZ, M.; GARCÍA-ESPINEIRA, M.C. 2012. *Diplostomum compactum metacercariae* in the eyes of *Caquetaia kraussii* from Totumo Marsh, north of Colombia. *Bulletin of The European Association of Fish Pathologists*. 36(2):203-211.
- OSORIO-SARABIA, D.; PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G.; GARCÍA-MÁRQUEZ, L.J. 1986. Helminths of fishes in Pátzcuaro, Michoacán II: Estudio histopatológico de la lesión causada por metacercarias de *Posthodiplostomum minimum* (Trematoda: Diplostomatidae) en el hígado de *Chirostoma estor*. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 57:247-260.
- OSTROWSKI DE NÚÑEZ, M. 2017. Redescription of *Austrodiplostomum compactum* (Trematoda: Diplostomatidae) from its type host and locality in Venezuela, and of *Austrodiplostomum mordax* from Argentina. *Journal of Parasitology*. 103(5):497-505. <https://doi.org/10.1645/16-128>
- PARK, C.W.; KIM, J.S.; JOO, H.S.; KIM, J. 2009. A Human Case of *Clinostomum complanatum* Infection in Korea. *Korean Journal of Parasitology*. 47(4):401-404. <https://doi.org/10.3347/kjp.2009.47.4.401>
- PEREZ-PONCE DE LEÓN, G.; SERENO-URIBE, A.L.; PINACHO-PINACHO, C.D.; GARCÍA-VARELA, M. 2022. Assessing the genetic diversity of the metacercariae of *Posthodiplostomum minimum* (Trematoda: Diplostomidae) in Middle American freshwater fishes: one species or more? *Parasitology*. 149(2):239-252. <https://doi.org/10.1017/S0031182021001748>
- PINACHO-PINACHO, C.D.; GARCÍA-VARELA, M.; SERENO-URIBE, A.L.; PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. 2018. A hyper-diverse genus of acanthocephalans revealed by tree-based and non-tree-based species delimitation methods: Ten cryptic species of *Neoechinorhynchus* in Middle American freshwater fishes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 127:30-45. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.05.023>
- PINACHO-PINACHO, C.D.; SERENO-URIBE, A.L.; GARCÍA-VARELA, M.; PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. 2020. A closer look at the morphological and molecular diversity of *Neoechinorhynchus* (Acanthocephala) in Middle American cichlids (Osteichthyes: Cichlidae), with the description of a new species from Costa Rica. *Journal of Helminthology*. 94:e23. <https://doi.org/10.1017/S0022149X18001141>
- PIZANO, C.M.; GARCÍA, H. 2014. El Bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogota. p.349
- QUIJADA, J.; LIMA DOS SANTOS, C.A.; AVDALOV, N. 2005. Enfermedades parasitarias por consumo de pescado. Incidencia en América Latina. *Infopesca internacional*. 24:16-23.
- RAMOS VALLADÁO, G.M.; GALLANI, S.U.; JERÔNIMO, G.T.; TAVARES DE SEIXAS, A.T. 2020. Challenges in the control of acanthocephalosis in aquaculture: special emphasis on *Neoechinorhynchus buttnerae*. *Reviews in Aquaculture*. 12(3):1360-1372. <https://doi.org/10.1111/raq.12386>
- RAZO-MENDIVIL, U.; ROSAS-VALDEZ, R.; PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. 2008. A new cryptogonimid (Digenea) from the Mayan cichlid, *Cichlasoma urophthalmus* (Osteichthyes: Cichlidae), in several localities of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Parasitology*. 94(6):1371-1378. <https://doi.org/10.1645/GE-1546.1>
- RIETSCHER, G.; WERDING, B. 1978. Trematodes of birds from Northern Columbia. *Zeitschrift Für Parasitenkunde Parasitology Research*. 57(1):57-82. <https://doi.org/10.1007/BF00927629>
- RITOSSA, L.; FLORES, V.; VIOZZI, G. 2013. Life-cycle stages of a *Posthodiplostomum* species (Digenea: Diplostomatidae)

- from Patagonia, Argentina. *Journal of Parasitology*. 99(5):777-780. <https://doi.org/10.1645/12-170.1>
- RIVAS-LARA, T.S.; GÓMEZ-VANEGA, H.D. 2017. Algunos aspectos biológicos y pesqueros de *Caquetaia kraussii* (Steindachner, 1878) en la cuenca media y baja del río Atrato, Chocó. *Revista Biodiversidad Neotropical*. 7(1):14-21. <http://dx.doi.org/10.18636/bioneotropical.v7i1.551>
- RODRÍGUEZ, G.M.; RODRÍGUEZ, C.D.G.D.; MONROY, G.Y.; MATA, S.J.A. 2001. Manual de enfermedades de peces. Boletín Del Programa Nacional de Sanidad Acuicola y La Red de Diagnóstico CONAPESCA. 4(3):1-14.
- ROJAS SÁNCHEZ, A.; LAMOTHE ARGUMEDO, M.R.; GARCÍA-PRIETO, L. 2014. Parasitosis transmitidas por el consumo de peces en México. *Ciencia*. 65(2):83-87.
- ROSSER, T.G.; BAUMGARTNER, W.A.; ALBERSON, N.R.; NOTO, T.W.; WOODYARD, E.T.; TOMMY KING, D.; WISE, D.J.; GRIFFIN, M.J. 2018. *Clinostomum poteae* n. sp. (Digenea: Clinostomidae), in the trachea of a double-crested cormorant *Phalacrocorax auritus* Lesson, 1831 and molecular data linking the life-cycle stages of *Clinostomum album* Rosser, Alberson, Woodyard, Cunningham, Pote & Griffi. *Systematic Parasitology*. 95(6):543-566. <https://doi.org/10.1007/s11230-018-9801-5>
- SCHMIDT, G.D.; HUGGHINS, E.J. 1973. Acanthocephala of South American Fishes. Part I, Eoacanthocephala. *Journal of Parasitology*. 59(5):829. <https://doi.org/10.2307/3278417>
- SERENO-URIBE, A.L.; GÓMEZ, L.A.; OSTROWSK, N.M.; PÉREZ-PONCE, D.E.; LEÓN G.; GARCÍA-VARELA M. 2019. Assessing the taxonomic validity of *Austrodiplostomum* spp. (Digenea: Diplostomidae) through nuclear and mitochondrial data. *Journal of Parasitology*. 105(1):102-112. <https://doi.org/10.1645/18-51>
- SOLANO-PEÑA, D.; SEGURA-GUEVARA, F.; OLAYA-NIETO, C. 2013. Crecimiento y reproducción de la mojarra amarilla (*Caquetaia kraussii* Steindachner, 1878) en el embalse de Urrá, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*. 18(2):3525-3533. <https://doi.org/10.21897/rmvz.177>
- SOLER-JIMÉNEZ, L.C.; PAREDES-TRUJILLO, A.I.; VIDAL-MARTÍNEZ, V.M. 2017. Helminth parasites of finfish commercial aquaculture in Latin America. *Journal of Helminthology*. 91(2):110-136. <https://doi.org/10.1017/S0022149X16000833>
- THILSTED, S.H.; JAMES, D.; TOPPE, J.; SUBASINGHE, R.; KARUNASAGAR, I. 2014. Maximizing the contribution of fish to human nutrition [Background paper]. ICN2 Second international conference on nutrition better nutrition better lives. Rome, Italy. p.16 Disponible desde Internet en <https://digitalarchive.worldfishcenter.org/handle/20.500.12348/126>
- TIEWCHALOERN, S.; UDOMKIJDECHA, S.; SUVOUTTHO, S.; CHUNCHAMSRI, K.; WAIKAGUL, J. 1999. *Clinostomum* trematode from human eye. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*. 30(2):382-384.
- VÉLEZ, E.I. 1987. Sobre la fauna de tremátodos en peces marinos de la familia Lutjanidae en el mar Caribe. *Actualidades Biológicas*. 16(61):70-84.
- VÉLEZ-SAMPEDRO, V.; URUBURU, M.; LENIS, C. 2022. Morphological, molecular, and life cycle study of a new species of *Oligogonotylus* Watson, 1976 (Digenea, Cryptogonimidae) from Colombia. *ZooKeys*. 1115:169-186. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1115.75538>
- VIOLANTE-GONZÁLEZ, J.; GARCÍA-VARELA, M.; ROJAS-HERRERA, A.; GUERRERO, S.G. 2009. Diplostomiasis in cultured and wild tilapia *Oreochromis niloticus* in Guerrero State, Mexico. *Parasitology Research*. 105(3):803-807. <https://doi.org/10.1007/s00436-009-1458-1>
- YAMAGUTI, S. 1975. A synoptical review of the life histories of digenetic trematodes of vertebrates, with special reference to the morphology of their larval forms. Keigaku Publishing Co. Tokyo. p.575
- ZAPATA-LONDOÑO, M.N.; MÁRQUEZ, E.J.; RESTREPO-ESCOBAR, N.; RÍOS-PULGARÍN, M.I. 2020. Population structure and reproduction of five fish species in a Neotropical reservoir. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 44(171):622-638. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1049>



Aquatic insects associated with macrophytes in wetlands of the middle basin of Atrato River, Chocó - Colombia

Insectos acuáticos asociados a macrófitas en ciénagas de la cuenca media del Río Atrato, Chocó - Colombia

Zuleyma Mosquera-Murillo^{1*} ; Karen Everni Córdoba-Aragón¹ ; Mairin Minerva Mosquera-Mosquera² ;
Sandra Patricia Sanchez³ ; Leider Palacios-Palacios¹ 

¹Universidad Tecnológica del Chocó, Programa de Biología. Quibdó, Chocó-Colombia. e-mail: d-zuleyma.mosquera@utch.edu.co; d-karene@utch.edu.co; leider.palaciosp@utch.edu.co

²Universidad Tecnológica del Chocó, Grupo de Limnología. Quibdó, Chocó-Colombia. e-mail: mairynmosquera@hotmail.com

³Universidad Tecnológica del Chocó, Programa de Ingeniería Ambiental. Quibdó, Chocó, Colombia. e-mail: sandrapatricia0202@gmail.com

*Corresponding author: d-zuleyma.mosquera@utch.edu.co

How to cite: Mosquera-Murillo, Z.; Córdoba-Aragón, K.E.; Mosquera-Mosquera, M.M.; Sanchez, S.P.; Palacios-Palacios, L. 2024. Aquatic insects associated with macrophytes in wetlands of the middle basin of Atrato River, Chocó – Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2409. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2409>

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

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

Received: April 25, 2023

Accepted: May 10, 2024

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Aquatic macrophytes play an important role in lentic systems, since they constitute the particular habitat of several groups of aquatic insects and play a fundamental role in structuring their communities. The objective of this study was to contribute to the knowledge of the aquatic entomofauna associated with macrophytes in wetlands of the middle basin of the Atrato River, Chocó-Colombia. For four months, collections of aquatic insects associated with the roots of different aquatic plants were made, using a quadrat of one m², equipped with a 0.5 mm mesh, with three replicates per swamp. Simultaneously, some physical and chemical variables of the water were measured. The community of aquatic insects was composed of 6 orders, 23 families, and 36 genera. The most representative orders were Hemiptera (Heteroptera) and Odonata and the most abundant families were Noteridae (Coleoptera) and Libellulidae (Odonata). The diversity index presented a range between 2.39 and 2.07 bits/ind, with Plaza Seca as the most representative wetlands, while the dominance was between 0.16 and 0.11. The most abundant functional group was that of predators. The variables pH, water temperature and transparency presented significant differences between swamps and there were important associations between the aquatic entomofauna, and the abiotic variables analyzed.

Keywords: Aquatic ecosystems; Aquatic entomofauna; Aquatic plants; Functional diversity; Insect assemblages.

RESUMEN

Las macrófitas acuáticas juegan un rol importante en los sistemas lénticos, ya que constituyen el hábitat particular de varios grupos de insectos acuáticos y desempeñan un papel fundamental en la estructuración de sus comunidades. El objetivo de este estudio fue contribuir al conocimiento de la entomofauna acuática asociada las macrófitas en ciénagas de la cuenca media del Río Atrato, Chocó-Colombia. Durante cuatro meses se hicieron colectas de insectos acuáticos asociados a las raíces de diferentes plantas acuáticas, utilizando un cuadrante de un m², dotado de una malla de 0,5 mm, con tres replicas por ciénaga. Simultáneamente se midieron algunas variables físicas y químicas del agua. La comunidad de insectos acuáticos estuvo compuesta por 6 órdenes, 23 familias y 36 géneros. Los órdenes más representativos fueron Hemiptera (Heteroptera) y Odonata y las familias más abundantes fueron Noteridae (Coleoptera) y Libellulidae (Odonata). El índice de diversidad presentó un rango de entre 2,39 y 2,07 bits/ind, sobresaliendo la ciénaga Plaza Seca, mientras que la dominancia estuvo entre 0,16 y 0,11. El grupo funcional de mayor abundancia fue el de los predadores. Las variables pH, temperatura del agua y transparencia presentaron diferencias significativas entre ciénagas y existieron importantes asociaciones entre la entomofauna acuática y las variables abióticas analizadas.

Palabras clave: Diversidad funcional; Ecosistemas acuáticos; Entomofauna acuática; Ensamblajes de insectos; Plantas acuáticas.

INTRODUCTION

Macrophytes exhibit macroscopic forms of aquatic vegetation and serve as a link between water and sediment. Angiosperms, ferns, macroalgae and mosses found in both lotic and lentic aquatic ecosystems belong to this group (Regmi *et al.* 2021). They also act as indicators of the ecological conditions of surface waters, since they are primary producers of aquatic habitats, which serve as an important component in the functioning of the ecosystem, from the maintenance of biotic and abiotic factors (Upadhyay *et al.* 2022).

Macrophytes play an important role in structuring aquatic environments, especially those of lentic type, since their presence in these ecosystems increases the complexity of the habitat, significantly influencing aspects such as diversity, distribution, richness, and abundance of the aquatic macroinvertebrates (Heisi *et al.* 2023). These plants increase the structural heterogeneity of macroinvertebrates by providing refuges against predators (Misteli *et al.* 2022), offering food for herbivores and detritivores (Fontanarrosa *et al.* 2013) and providing spaces that facilitate emergence and oviposition (Walker *et al.* 2013).

Within macroinvertebrates, aquatic insects are distinguished by presenting a high number of organisms that make up the most significant component of animal biomass in lotic and lentic ecosystems. Their contribution to the food web is relevant, because they allow energy circulation to other consumers, serving as food for fish and amphibians and becoming an important link between producers and the higher trophic levels of aquatic ecosystems (Walteros & Castaño, 2020).

In Colombia, a series of investigations have been conducted on aquatic macroinvertebrates associated with macrophytes and the most recent to be highlighted are those conducted by Rúa-García (2015), Hernández *et al.* (2016), Murillo-Montoya *et al.* (2018), and Núñez & Fragoso-Castilla, (2019). In the department of Chocó, on the topic of aquatic macroinvertebrates associated with macrophytes in wetland ecosystems, the research conducted by Mosquera-Murillo & Córdoba-Aragón (2015); Mosquera-Murillo (2018), and Aguilar-Baldosea *et al.* (2022) is notable. However, further research is needed to continue contributing to the understanding of the dynamics of these communities.

Therefore, the objective of this research is to determine the composition, diversity, and abundance of aquatic entomofauna associated with macrophytes in wetlands of the middle basin of Atrato River (Chocó-Colombia), as well as to identify the functional groups of insects associated with macrophytes, in addition to establishing the possible relationship between them and the abiotic variables of the wetlands studied.

MATERIALS AND METHODS

Scope of study. The research was carried out in three wetlands in the middle basin of Atrato River, belonging to the municipality

of Quibdó, Chocó-Colombia: Plaza Seca wetland 5°44'32.3"N 76°42'37.7"W, La Negra wetland 5°45'30.9"N, 76°41'14.7"W, and La Grande wetland 5°44'39.8"N, 76°42'42.1"W (Figure 1). This zone experiences a relative humidity close to 86% and temperatures that range between 28-32°C. The majority of the territory lies within the equatorial doldrums; therefore, rainfall regime extends throughout the year, with an annual precipitation reaching up to 12,000 mm (Rangel-Ch. & Arellano-P, 2004).

According to the Holdridge system (1996), the Atrato River basin in its course is classified into the humid tropical forest and too humid tropical forest life zones (bh-T, bmh-T). The middle and lower zones comprise the floodplain of Atrato River, characterized by vast floodplains and several swamps known for their high transparency, acidic pH, low conductivity, and concentration of solids, as well as low oxygen and few nutrients (Correa, 2014). The dominant macrophyte species in the studied wetlands are *Eichhornia azurea*, *Nymphoides indica*, *Ludwigia sedoides*, *Cabomba sp.*, *Elodea sp.* (Mosquera & Córdoba, 2015).

Sampling. Monthly sampling was conducted in each of the studied wetlands, between June and September 2022, covering the climatic periods of the zone, the high water season (June-July) and the low water season (August-September).

In each studied wetland, a sampling station was established (coastal zone). Within the macrophyte-covered area, the physical and chemical water conditions were measured, such as water temperature, pH, electrical conductivity and dissolved oxygen concentration, total dissolved solids, and transparency using a multiparameter digital equipment and a Secchi disk. Additionally, water samples were collected for alkalinity, phosphorus, and nitrogen form analyses, following the recommendations of Standard Methods (APHA *et al.* 2012). Likewise, the forms of phosphorus (orthophosphates) and nitrogen (nitrites, nitrates, and ammonium) were analyzed using a NOVA SQ 60 spectrophotometer.

To collect insects, transects perpendicular to the shoreline were established in the macrophyte belts. A one m² floating PVC frame, equipped with a 0.5 mm mesh was used, which was installed under the surface to be collected. Plants were extracted and the roots were carefully washed to remove the organisms. Using a sieve and tweezers, the organisms were extracted and stored in jars with 90% alcohol.

In the limnology laboratory of the Universidad Tecnológica del Chocó (UTCH), organisms were identified to the lowest possible level using a ZEISS brand stereomicroscope and the keys from Domínguez *et al.* (2006) and Domínguez & Fernández (2009). Additionally, each taxon was assigned to a functional group according to the classification proposed by various authors such as Chará-Serna *et al.* (2010), Rodríguez-Barrios *et al.* (2011), and Rivera-Usme *et al.* (2013). The considered groups were predators, collectors, collector-gatherers, collector-filterers, and shredders (Merrit & Cummins, 1996).

Data analysis. The aquatic insect assemblage was characterized based on the following variables: total number of individuals, relative abundance, Shannon-Wiener diversity, Simpson dominance, and classification of food functional groups. Differences in abundance, diversity, and dominance among wetlands were assessed using an ANOVA test. Mean and standard deviation were estimated for each measured abiotic variables, and differences among wetlands were

evaluated using ANOVA. Assumptions inherent to the ANOVA test were verified for all cases and found acceptable ($p > 0.05$). Significant differences were recorded using a Tukey test and the Minitab program was used. Finally, the potential relationship between aquatic insects and the abiotic variables of the wetlands was evaluated using a canonical correspondence analysis.

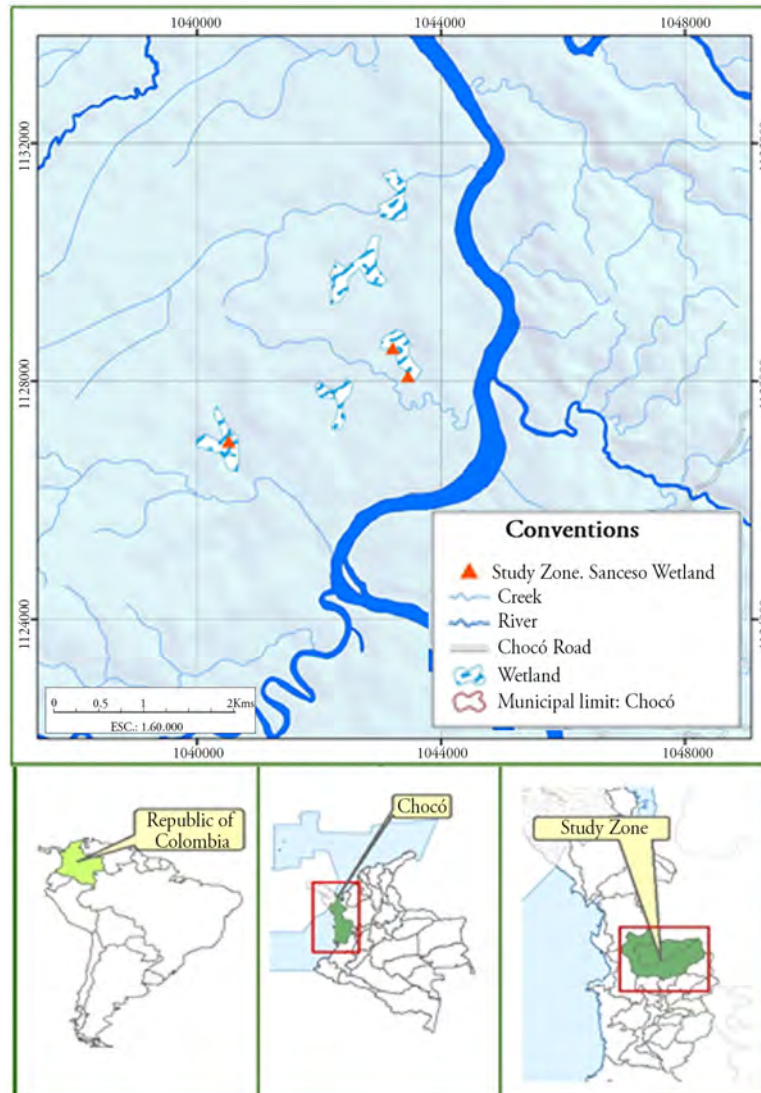


Figure 1. Study zone. Wetlands studied in the middle basin of Atrato River (Chocó-Colombia).

RESULTS AND DISCUSSION

Aquatic insects associated with macrophytes. A total of 654 individuals were registered, distributed in 6 orders, 23 families and 36 genera (Table 1). Plaza Seca wetland had the highest number of individuals (315), followed by La Grande wetland (183), and La Negra wetland (156). The variance test showed significant differences between the wetlands with respect to the abundance of aquatic insects.

The presence of aquatic insects associated with floating aquatic macrophytes is associated with the presence of a dense mass of plant

roots that constitute colonization sites for different organisms. Root macrophytes provide microhabitats that serve as refuge against predators and for egg-laying, as well as resources as food for fauna (Padiál *et al.* 2009).

Regarding orders, Hemiptera is the most representative in Plaza Seca and La Negra wetlands, while Odonata was the most representative in La Grande wetland (Figure 2). Among the families, Noteridae (16.32 ± 5.81) and Libellulidae (11.24 ± 4.75) were notable. According to Lasso *et al.* (2014), it is common to find a high representativeness of Odonata-Coleoptera-Hemiptera in lentic ecosystems of the country, as observed in this research. Aquatic and

semi-aquatic hemipterans are notable for their variety, reflecting the variety of niches they occupy, thanks to the great adaptation capacity to the environment their species have (Vanegas, 2017). This can be found in a wide variety of natural environments, both lotic and lentic, coastal and oceanic, phytotelmata and even humid terrestrial environments (Mazzucconi *et al.* 2009).

As for odonates, their abundance has been positively related to the presence of aquatic plants typical of wetlands since emerging vegetation is a fundamental substrate for the emergence of larvae into their adult phase. Likewise, a high macrophyte coverage is important for the richness of Odonata taxa (Perron *et al.* 2021). In addition to the existence of aquatic plants, physicochemical characteristics are important factors that limit the richness and distribution of immature odonates (Córdoba-Aguilar, 2008).

The abundance of Noteridae and Libellulidae in this study corresponds to other research carried out in wetlands of the region, such as the one conducted by Mosquera-Murillo & Córdoba-Argón (2015). According to White & Roughley (2008), members of the family Noteridae are common into the roots of aquatic plants and their ability to take atmospheric oxygen makes them dependent on atmospheric oxygen. This is a primary factor that restricts these beetles to shallow waters (Eyre *et al.* 1992), which agrees with the characteristics of the studied wetlands.

For the Libellulidae, its abundance is associated with the great diversity of emerging rooted macrophytes present in the studied wetlands, which, according to López-Díaz *et al.* (2021), is a factor that can increase the complexity of the habitat. Nymphs of Libellulidae inhabit all freshwater aquatic environments, including lentic and lotic systems, as well as permanent and temporary environments (Neiss *et al.* 2018).

Plaza Seca wetland has the highest averages of diversity and specific richness, while dominance showed higher averages in La Negra wetland (Table 1). The analysis of variance shows that there were no significant differences in diversity ($F=1.84$, $p=0.2135$) and dominance ($F=2.23$; $p=0.1635$) among wetlands, but there were differences in specific richness ($F=7.24$; $p=0.0133$). These results may be associated with how aquatic vegetation is distributed in the wetlands under study and, in that sense, research such as that of Warfe *et al.* (2008) and Dibble & Thomaz, (2009) has shown that the complexity of this type of vegetation explains attributes of the invertebrate assemblages associated with it, such as abundance and diversity. Similarly, according to authors such as Quirós Rodríguez *et al.* (2010) and Kovalenko *et al.* (2012), the presence of floating vegetation, as well as the complexity of its architecture, provides a greater variety of environments and microhabitats that constitute a substrate and refuge, leading to greater diversity, richness, and abundance of associated organisms.

In relation to the composition of functional groups of aquatic insects associated with macrophytes, in the three studied wetlands, predators were the largest group with a range among wetlands

between 87.94 and 73.77%, with 15 families corresponding to Odonata, Hemiptera and Coleoptera, and certain families of Diptera (Chaoboridae and Ceratopogonidae). They are followed by collector-gatherers with a range between 11.48 and 4.76%, represented by 3 families of Ephemeroptera. Collectors showed a range between 10.38 and 1.28% with two families of Lepidoptera and Diptera (Chironomidae). Collectors-filters had a range between 8.97 and 4.37%, with a family of Diptera (Culicidae) (Table 1).

The greater representativeness of predators may be related to the high structural complexity of the habitat generated by macrophytes (Heino, 2000), which is an indicator of an abundant food supply. Particularly, aquatic vegetation constitutes a refuge zone for invertebrates to avoid predation by fish, therefore representing an important supply for predatory invertebrates whose number can increase when there is more prey (De Neiff & Neiff, 2006).

Environmental conditions of macrophyte habitat and aquatic insect community. Regarding the abiotic variables analyzed in the three studied wetlands, pH, water temperature, and transparency showed significant differences among wetlands (ANOVA, $p<0.05$), with pH and transparency presenting their highest averages in Plaza Seca wetland, and water temperature in La Grande wetland. The remaining variables did not have significant differences (ANOVA, $p>0.05$) (Table 2); however, dissolved oxygen, alkalinity, electrical conductivity, and total solids were higher in La Grande wetland. As for nutrients, these tend to be higher in La Grande (Nitrites), Plaza Seca (Nitrates) and La Negra (Orthophosphates) wetlands. Ammonium was not detectable. Depth was greater in La Negra wetland.

Dissolved oxygen and pH variables had values similar to those reported for other wetlands in the Atrato basin, such as the studies conducted by Mosquera-Murillo & Córdoba-Argón (2015) and Mosquera-Murillo (2020). According to Martínez-Rodríguez & Pinilla-A. (2014), one of the wetland characteristics is oxygen deficiency, as a result of slow exchange with air since water turbulence is less than that of a river. As for pH, the recorded values are largely attributable to the nature of the soils in the zone, which are acidic like those of the majority in the department of Chocó, being within the limits for the survival of aquatic organisms that is between 4.5 to 8.5 (Roldán & Ramírez, 2008). Water temperature averages, in turn, are typical of aquatic environments located in tropical regions, with values between 25 and 30°C (Roldán & Ramírez, 2008).

Electrical conductivity, alkalinity and total dissolved solids variables were within the ranges established for Colombian neotropical ecosystems, with values less than 1,500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively (Roldán & Ramírez, 2008). Transparency is within the values established for wetlands in Colombia (<1.13 m), while depth is associated with variations in the flow of Atrato River, as a result of the climatic regime of the zone.

Table 1. Taxonomic list and ecological indexes of aquatic insects associated with macrophytes in three wetlands in the middle basin of Río Atrato, Chocó (Chará-Serna *et al.* 2010; Rodríguez-Barrios *et al.* 2011; Rivera-Usme *et al.* 2013).

Order/Family	Genus	Wetlands			Total abundance	Relative abundance	Functional group
		La Grande	Plaza Seca	La Negra			
Odonata							
Coenagrionide	<i>Acanthagrion</i>	5	5	3	13	1.99	Pre
	<i>Telebasis</i>	9	8	5	22	3.36	Pre
	<i>Ischnura</i>		5	0	5	0.76	Pre
	<i>Argia</i>	3	0	0	3	0.46	Pre
Libellulidae	<i>Macrothemis</i>	11	8	2	21	3.21	Pre
	<i>Tramea</i>	14	37	7	58	8.87	Pre
Aeschnidae	<i>Aeschna</i>	2	0	0	2	0.31	Pre
	<i>Coryphaeschna</i>	1	0	0	1	0.15	Pre
	<i>Boyeria</i>	5	1	0	6	0.92	Pre
Protoneuridae	<i>Protoneura</i>	8	20	1	29	4.43	Pre
Coleoptera							
Noteridae	<i>Hydrocanthus</i>	36	62	15	113	17.28	Pre
Dytiscidae	<i>Laccophylus</i>	16	10	11	37	5.06	Pre
Ephemeroptera							
Baetidae	<i>Callibaetis</i>	4	8	4	16	2.45	CG
	<i>Americabaetis</i>		1	0	1	0.15	CG
	<i>Cloeodes</i>	1	2	0	3	0.46	CG
Caenidae	<i>Caenis</i>	12	4	9	25	3.82	CG
Leptohyphidae	<i>Leptohyphodes</i>	4	0	0	4	0.61	CG
Hemiptera							
Notonectidae	<i>Notonecta</i>	4	0	0	4	0.61	Pre
Corixidae	<i>Tenagobia</i>	7	14	11	32	4.89	Pre
Gerridae	<i>Telmatometra</i>		3	12	15	2.29	Pre
	<i>Rheumatobates</i>		48	11	59	9.02	Pre
Hydrometridae	<i>Hydrometra</i>		1	0	1	0.15	Pre
Naucoridae	<i>Ambrysus</i>		0	9	9	1.38	Pre
	<i>Pelocoris</i>		4	0	4	0.61	Pre
Hebridae	<i>Hebrus</i>		8	0	8	1.22	Pre
Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i>		5	5	10	1.53	Pre
Belosomatidae	<i>Belostoma</i>	1	5	3	9	1.38	Pre
Pleidae	<i>Neoplea</i>	10	9	3	22	3.36	Pre
Diptera							
Chiromomidae	<i>Ablabezmyia</i>	11	8	2	21	3.21	CL
	<i>Chironomus</i>	4	1	0	5	0.76	CL
	<i>Pentaneura</i>	3	0	0	3	0.46	CL
Chaoboridae	<i>Chaoborus</i>		0	11	11	1.69	Pre
Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i>	3	24	18	45	6.88	Pre
Culicidae	<i>Culex</i>	2	0	0	2	0.31	CF
	<i>Culiseta</i>	6	14	14	34	5.20	CF
Lepidoptera							
Crambidae	<i>Petrophila</i>	1			1	0.15	CL
Diversity		2.26 ± 0.145	2.39 ± 0.097	2.07 ± 0.373			
Specific Richness		13 ± 3.697	15 ± 2.63	11 ± 4.031			
Dominance		0.13 ± 0.012	0.11 ± 0.017	0.16 ± 0.056			

Pre= Predator; CG=Collector-Gatherer; CF= Collector-Filterer; CL= Collector

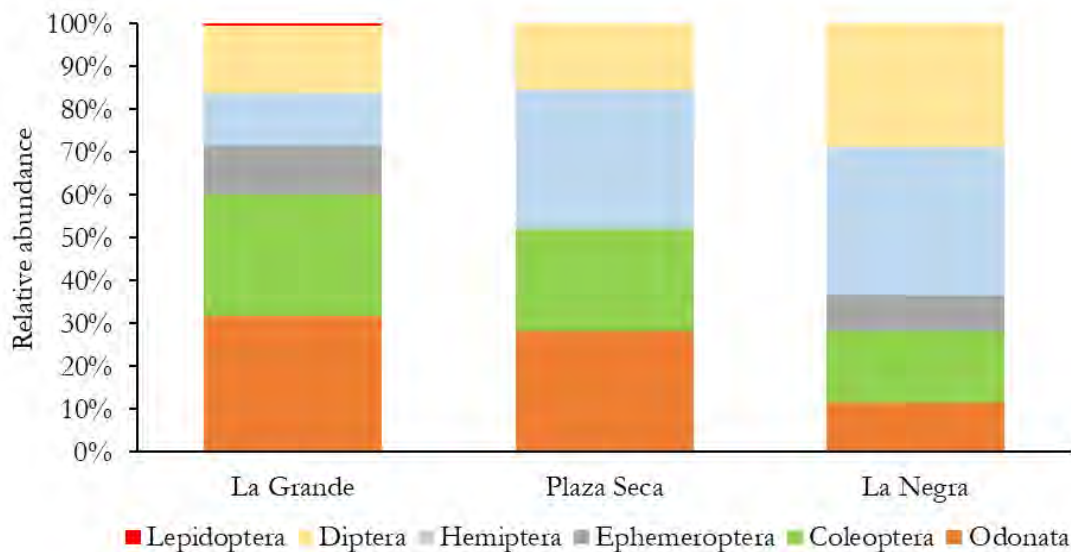


Figure 2. Abundance of specimens of insect orders found in the studied wetlands in the middle part of Atrato River.

Table 2. Abiotic variables of the studied wetlands in the middle part of Atrato River.

Abiotic Variables	Wetlands			p-Value
	La Grande	Plaza Seca	La Negra	
Dissolved Oxygen (mg/L)	6.18 ± 0.85	5.93 ± 0.23	5.59 ± 0.84	0.5063
pH (units)	5.53 ± 0.38	6.26 ± 0.32	5.61 ± 0.39	0.0371
Water Temperature (°C)	28.88 ± 0.71	27.26 ± 0.79	28.21 ± 0.93	0.0498
Alkalinity (mg/L)	34.24 ± 27.63	22.22 ± 22.24	24.88 ± 24.90	0.7812
Electrical Conductivity (µS/cm)	196.67 ± 26.35	167.93 ± 37.78	147.66 ± 49,25	0.254
Total dissolved solids (mg/L)	147.28 ± 83.24	85.11 ± 15.78	115.87 ± 17.18	0.2636
Nitrites (mg/L)	0.089 ± 0.05	0.0705 ± 0.04	0.0839 ± 0.05	0.8466
Nitrates (mg/L)	0.648 ± 0.41	0.752 ± 0.44	0.688 ± 0.63	0.9444
Ammonium (mg/L)	<0,010	<0,010	<0,010	
Orthophosphate (mg/L)	0.102 ± 0.15	0.070 ± 0.06	0.117 ± 0.45	0.3598
Transparency (m)	0.45 ± 0.19	0.85 ± 0.09	0.84 ± 0.17	0.0073
Depth (m)	1.392 ± 0.35	1.933 ± 0.43	2.389 ± 0.82	0.0992

Average values ± standard deviation

Nitrites were found in low concentrations in the studied wetlands in comparison to nitrates. According to Wetzel (2001), nitrogen as nitrites tends to be low in aquatic systems, since it quickly changes to nitrates depending on the oxygen concentration in water, or to reduced forms such as ammonium if the conditions are anoxia, a situation that may be occurring in the studied wetlands. As for ammonium, the values were extremely low and were below the detection range. Orthophosphates, in turn, had averages above 0.05 mg.L^{-1} , which is the limit required for aquatic life.

According to the canonical correspondence analysis, the first two canonical axes explain 68.32% of the variance. The analysis demonstrates that organisms of the Protoneuridae, Pleidae, Chironomidae and Culicidae showed a positive relationship with electrical conductivity, nitrites, and nitrates and a negative

relationship with transparency. Corixidae, Gerridae, and Ceratopogonidae were negatively related to electrical conductivity, nitrites, and nitrates and positively to transparency. Caenidae and Culicidae were positively associated with phosphates and depth, while Dytiscidae showed an opposite relationship (Figure 3).

The association shown between the aquatic insect community and the physicochemical conditions of the aquatic ecosystem has been highlighted in research such as that of Rocha-Ramírez *et al.* (2007) and Rúa-García (2015); which ratifies the close correlation between organisms and environmental factors. In this sense, physicochemical factors are considered by various authors, such as Domínguez (2009), as the aspects that have the most influence on the distribution, abundance, and richness of aquatic insects. For Salles & Ferreira-Júnior (2014), physicochemical variations along

with other characteristics, such as the substrate, are determining factors that influence the adaptation of organisms. Thus, some aquatic insect groups show morphological adaptations in the shape and structure of their gills, in response to changes in water temperature and oxygen availability (Barbour *et al.* 1999), changes

in pH can influence physiology and development of some insects, with morphological variations in response to the water acidity (Allan, 2004), and turbidity can affect eye morphology and sensory structures (Merritt *et al.* 2008).

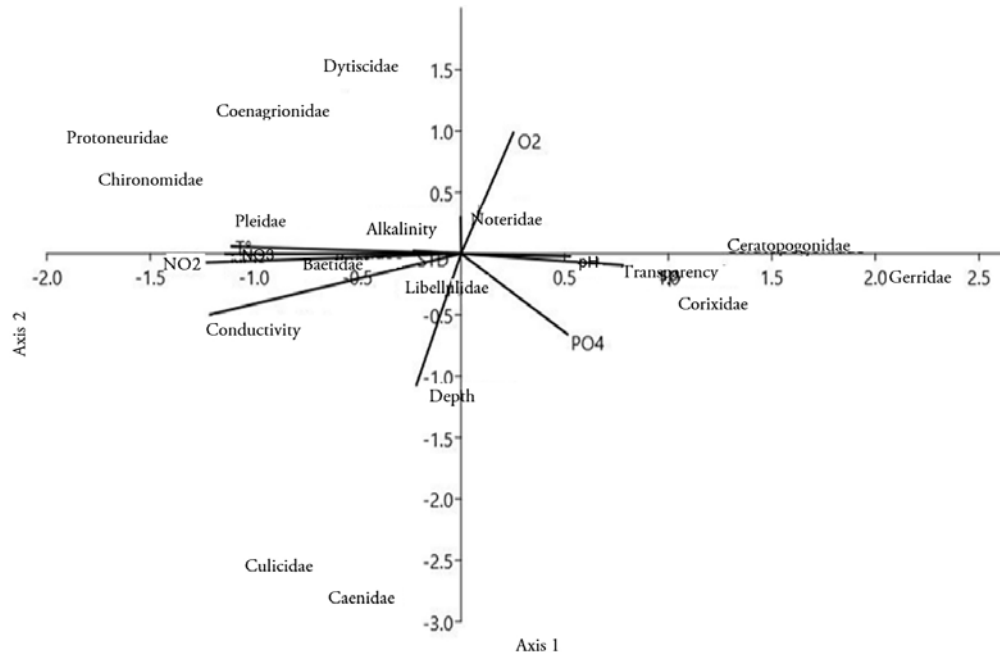


Figure 3. Canonical Correspondence Analysis (CCA) showing the relationship between the aquatic insect taxa of the studied wetlands and the abiotic variables analyzed.

Acknowledgments. The authors thank the Vice Rectorate of Research of the Universidad Tecnológica del Chocó for the financial support provided for conducting this research, as well as its Limnology Laboratory for providing the field and laboratory infrastructure for the study development. Additionally, the authors thank to Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas for the financial support for the translation of this article through the project “Propuesta fortalecimiento gestión editorial de revistas científicas de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A 2023-2024”. **Conflicts of interest:** The manuscript was prepared and revised with the participation of all authors, who declare that there is no conflict of interest that would jeopardize the validity of the results presented. **Authors' contribution:** Zuleyma Mosquera-Murillo, Karen E. Córdoba, Mairin M. Mosquera and Sandra P. Sánchez: conceptualization, research, formal analysis, and writing; Leider Palacios: conceptualization and formal analysis. Universidad Tecnológica del Chocó: Resources.

REFERENCES

- AGUILAR-BALDOSEA, W.; LÓPEZ-RAMÍREZ, I.C.; CHÁVEZ-MOSQUERA, L. Y.; RENGIFO MURILLO, L.; HALABY-GUERRERO, J.C. 2022. Efecto de la minería en macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga plaza seca, Atrato, Chocó. *Revista Politécnica*. 18(35):9-23. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n35a1>
- ALLAN, J.D. 2004. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, And Systematics* 35:257-284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION-AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION-WEF. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd Edition. American Public Health Association. Washington, USA. 1360p.
- BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B.D.; STRIBLING, J.B. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. 2nd Edition. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA. Washington, D.C.
- CHARÁ-SERNA, A.M.; CHARÁ, J.D.; ZÚÑIGA, M. DEL C.; PEDRAZA, G.X.; GIRALDO, L.P. 2010. Clasificación trófica de insectos acuáticos ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum*. 15(1):27-36.
- CÓRDOBA-AGUILAR, A. 2008. Dragonflies y damselflies: Model organisms for ecological and evolutionary research. Oxford University Press. USA. 303p.

- CORREA, J.D. 2014. Calidad del agua en humedales del plano de inundación del Río Atrato. *Revista Ciencias Ambientales y Sostenibilidad CAS*. 1(1):93-109.
- DE NEIFF, A.P.; NEIFF, J.J. 2006. Riqueza de especies y similaridad de los invertebrados que viven en plantas flotantes de la planicie de inundación del Río Paraná (Argentina). *Interciencia*. 31(3):220-225.
- DIBBLE, E.D.; THOMAZ, S.M. 2009. Use of fractal dimension to assess habitat complexity and its influence on dominant invertebrates inhabiting tropical and temperate macrophytes. *Journal of Freshwater Ecology*. 24(1):93-102. <https://doi.org/10.1080/02705060.2009.9664269>
- DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; PESCADOR, M.I.; HUBBARD, M.D.; NIETO, C. 2006. Ephemeroptera of South América. En: Adis, J.; Arias J.R.; Rueda-Delgado, G.; Wantzen, K.M. (eds). *Aquatic Biodiversity en Latin América (ABLA)*, Sofia-Moscow Pensoft, 2. Moscu. p.1-646.
- DOMÍNGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, H.R. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Argentina. 656p.
- EYRE, M.D.; CARR, R.; MCBLANE, R.P.; FOSTER, G.N. 1992. The effect of varying site-water duration on the distribution of water beetle assemblages, adults and Larvae (Coleoptera: Haliplidae, Dytiscidae, Hydrophilidae). *Archiv für Hydrobiologie*. 124:281-191. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/124/1992/281>
- FONTANARROSA, M.S.; CHAPARRO, G.N.; O'FARRELL, I. 2013. Temporal and spatial patterns of macroinvertebrates associated with small and medium-sized free-floating plants. *Wetlands*. 33:47-63. <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0351-3>
- HEINO, J. 2000. Lentic macroinvertebrate assemblage structure along gradients in spatial heterogeneity, habitat size and water chemistry. *Hydrobiologia*. 418:229-242. <https://doi.org/10.1023/A:1003969217686>
- HEISI, H.D.; AWOSUSI, A.A.; NKUNA, R.; MATAMBO, T.S. 2023. Phytoextraction of anthropogenic heavy metal contamination of the Blesbokspruit wetland: Potential of wetland macrophytes. *Journal of Contaminant Hydrology*. 253:104101. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104101>
- HERNÁNDEZ, J.L.; GUZMÁN-SOTO C.; TAMARIS-TURIZO, C.E. 2016. Macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga de Sahaya y en tres de sus afluentes (Cesar, Colombia). *Revista Intropica*. 11(1):11-20. <https://doi.org/10.21676/23897864.1857>
- HOLDRIDGE, L. 1996. *Ecología basada en Zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costarica. 216p.
- KOVALENKO, K.E.; THOMAZ, S.M.; WARFE, D.M. 2012. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia*. 685:1-17. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0974-z>
- LASSO, C.; GUTIÉRREZ, F.; MORALES, D. 2014. X. Humedales interiores de Colombia: Identificación, caracterización y establecimiento de límites según criterios biológicos y ecológicos. Serie editorial recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia. 255p.
- LÓPEZ-DÍAZ, J.A.; GÓMEZ, B.; GONZÁLEZ-SORIANO, E.; GÓMEZ-TOLOSA, M. 2021. Odonata (Insecta) como indicador de la calidad ambiental en humedales de montaña neotropicales. *Acta Zoológica Mexicana*. 37:1-17. <https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712379>
- MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, M.D.A.; PINILLA-A., G.A. 2014. Valoración de la calidad del agua de tres ciénagas del departamento de cesar mediante macroinvertebrados asociados a *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae). *Caldasia*. 36(2):305-321. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v36n2.47489>
- MAZZUCCONI, S.A.; LÓPEZ, R.U.; BACHMANN, A.O. 2009. Hemiptera-Heteroptera: Gerromorpha y Nepomorpha. En: Domínguez, E.; FERNÁNDEZ, H. (ed.) *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología*. Editorial Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina. p.167-231.
- MERRITT, R.W.; CUMMINS, K.W. 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall-Hunt Publishing Company. Iowa. 1498p.
- MERRITT, R.W.; CUMMINS, K.W.; BERG, M.B. 2008. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque. 1214 p.
- MISTELI, B.; PANNARD, A.; LABAT, F.; FOSSO, L.K.; BASO, N.C.; HARPENSLAGER, S.F.; PISCART, C. 2022. How invasive macrophytes affect macroinvertebrate assemblages and sampling efficiency: Results from a multinational survey. *Limnológica*. 96:125998. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2022.125998>
- MOSQUERA-MURILLO, Z.; CÓRDOBA-ARGÓN, K.E. 2015. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en tres ciénagas de la cuenca media del Río Atrato, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*. 34(1):22-35. <https://doi.org/10.18636/riutch.v34i1.538>
- MOSQUERA-MURILLO, Z. 2018. Insectos acuáticos asociados a *Eichhornia azurea* (Schwartz) Kunth en ciénagas del Río Atrato, Chocó - Colombia. *Revista*

- Colombiana de Ciencia Animal – RECIA. 10(1):15-24. <https://doi.org/10.24188/recia.v10.n1.2018.533>
- MOSQUERA-MURILLO, Z. 2020. Fitoperifiton asociado con macrófitas en una ciénaga tropical de la cuenca del Río Atrato, Quibdó (Chocó), Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 44(173):1060-1072. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1207>
- MURILLO-MONTOYA, S.A.; RESTREPO-BASTIDAS, E.S.; MENDOZA-MORA, A.; FADUL-VÁZQUEZ, C.J.; CALDERÓN-GARCÍA, X.F.; Y RODRÍGUEZ, M.Á. 2018. Macroinvertebrados asociados a raíces de *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) en la Ciénaga de Palagua (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*. 22(43):22-34. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.mare>
- NEISS, U.G.; FLECK, G.; PESSACQ, P.; TENNESSEN, K. J. 2018. Superfamily Gomphoidea. En: Hamada, N.; Thorp, J.H.; Rogers, C. (eds.). *Freshwater Invertebrates*. 4th ed. Academic. Boston, USA. p.399-447.
- NUÑEZ, J.C.; FRAGOSO-CASTILLA, P.J. 2019. Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma Colombia. *Información tecnológica*. 30(5):319-330. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500319>
- PADIAL, A.A.; THOMAZ, S.M.; AGOSTINHO, A.A. 2009. Effects of structural heterogeneity provided by the floating macrophyte *Eichhornia azurea* on the predation efficiency and habitat use of the small neotropical fish *Moenkhausia sanctaefilomenae*. *Hydrobiologia*. 624:161-170. <https://dx.doi.org/10.1007/s10750-008-9690-8>
- PERRON, M.A.C.; RICHMOND, I.C.; PICK, F.R. 2021. Plants, water quality and land cover as drivers of Odonata assemblages in urban ponds. *Science of The Total Environment*. 773:145467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145467>
- QUIRÓS RODRÍGUEZ, J.A.; DUEÑAS RAMÍREZ, P.R.; BALLESTEROS CORREA, J. 2010. Macroinvertebrados asociados a las raíces de *Eichhornia crassipes* (Mart). Solms, en dos sectores del complejo cenagoso del bajo Sinú, departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de la Asociación. Colombiana de Ciencias Biológicas*. 22:147-157.
- RANGEL-CH., O.; ARELLANO-P., H. 2004. Clima del Chocó Biogeográfico/Costa Pacífica de Colombia. En: Rangel-Ch., J.O. ed. *Diversidad Biótica IV. El Chocó Biogeográfico/Costa Pacífica*. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Conservación Internacional. Bogotá, Colombia. p.39-82.
- REGMI, T.; SHAH, D.N.; DOODY, T.M.; CUDDY, S.M.; SHAH, R.D.T. 2021. Hydrological alteration induced changes on macrophyte community composition in sub-tropical floodplain wetlands of Nepal. *Aquatic Botany*. 178:103413. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2021.103413>
- RIVERA-USME, J.J.; PINILLA-AGUDELO, G.; CAMACHO-PINZÓN, D.L. 2013. Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 18(2):279-292.
- RODRÍGUEZ-BARRIOS, J.; OSPINA-TÓRRES, R.; TURIZO-CORREA, R. 2011. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 59(4):1537-1552.
- ROCHA-RAMÍREZ, A.; RAMÍREZ-ROJAS, A.; CHÁVEZ-LÓPEZ, R.; ALCOCER, J. 2007. Invertebrate assemblages associated with root masses of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach 1883 in the Alvarado Lagoon al System, Veracruz, México. *Aquatic Ecology*. 41(2):319-333. <https://doi.org/10.1007/s10452-006-9054-2>
- ROLDÁN, G.; RAMÍREZ, J.J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. 2a ed. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia-ACCEFYN-Universidad Católica de Oriente. Colombia. 442p.
- RÚA-GARCÍA, G. 2015. Macroinvertebrados acuáticos asociados a raíces de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, en la ciénaga de Zapayán, Magdalena, Colombia. *Revista Intropica*. 10:52-59. <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.1647>
- SALLES, F.F.; FERREIRA-JÚNIOR, N. Hábitat e hábitos. En: Hamada, N.; Nessimian, J.L.; Querino, R.B. 2014. *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Editora do INPA. Manaus-Brasil. p.39-50.
- UPADHYAY, K.D.; MAINALI, J.; GHIMIRE, N.P. 2022. Diversity of aquatic plants and macroinvertebrates and their spatial patterns in a Himalayan Watershed, Central Nepal. *Aquatic Botany*. 180:103529. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2022.103529>
- VANEGAS, M. 2017. Estado limnológico de los humedales Tibanica, Guaymaral, Jaboque y Meridor utilizando macroinvertebrados como bioindicadores. En: Quillot Monroy, G.H.; Pinilla Agudelo, G.A. (eds.). *Estudios ecológicos en humedales de Bogotá: aplicaciones para su evaluación, seguimiento y manejo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. p.218-231.
- WALKER, P.D.; WIJNHOFEN, S.; VELDE, G.V.D. 2013. Macrophyte presence and growth form influence macroinvertebrate community structure. *Aquatic Botany*. 104:80-87. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.09.003>

- WALTEROS, J.M.; CASTAÑO, J.M. 2020. Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 44(171):581-592. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1085>
- WARFE, D.M.; BARMUTA, L.A.; WOTHERSPOON, S. 2008. Quantifying habitat structure: Surface convolution and living space for species in complex environments. *Oikos*. 117(12):1764-73.
- WETZEL, R.G. 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems*. 3rd ed. Academic Press. San Diego, USA. p.1006

Trophic ecology of *Brycon henni* (Pisces: Bryconidae) in Nare and Guatapé Rivers, Magdalena River basin, Colombia

Ecología trófica de *Brycon henni* (Pisces: Bryconidae) en afluentes de los Ríos Nare y Guatapé, cuenca del río Magdalena, Colombia

Néstor Javier Mancera-Rodríguez¹ 

¹Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Departamento de Ciencias Forestales, Grupo de Investigación Ecología y Conservación de Fauna Silvestre, Medellín, Antioquia-Colombia; e-mail: njmancer@unal.edu.co

How to cite: Mancera-Rodríguez, N.J. 2024. Trophic ecology of *Brycon henni* (Pisces: Bryconidae) in Nare and Guatapé Rivers, Magdalena River basin, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2373. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2373>

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

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

Received: March 10, 2023

Accepted: May 21, 2024

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Understanding the trophic ecology of fish and how they use resources in space and time is important to support conservation and management actions. The trophic ecology of *Brycon henni* in the Nare and Guatapé rivers, Magdalena river basin, Colombia was determined. Five field samplings were carried out between October 2007 and January 2010, in rainy, dry, and dry-to-rainy transition periods. Stomachs of 262 specimens were collected. A Kruskal-Wallis analysis and a Mann-Whitney pairwise comparison test was performed to detect differences in the alimentary importance index of each food category between sex, size class, hydrological period and basins (Nare vs Guatapé). The Levin's Measure of Niche Breadth and the Morisita's Diet Overlapping Index were calculated to establish differences between size class in the different hydrological periods. Vegetable material was the most important food item, followed by Insecta, and fish. Individuals from Guatapé basin consumed more plant material and fish and fewer insects. We observed increased consumption of plant material and fish in ontogeny. Levin's niche breadth was lower and diet overlapping between individuals of length classes was higher during rainy period because the diet was mainly based on plant material. The diet of *B. henni* was composed mainly of plant material and Insecta, and to a lesser extent from other groups such as fish, crustaceans and arachnids.

Keywords: Andean rivers; Freshwater fish; Ontogenetic changes; Species conservation; Stomach contents.

RESUMEN

La comprensión de la ecología trófica de los peces y la forma en que utilizan los recursos en el espacio y en el tiempo es importante para la toma de acciones para su conservación y manejo. Se determinó la ecología trófica de *Brycon henni* en los ríos Nare y Guatapé, cuenca del río Magdalena, Colombia. Se realizaron cinco muestreos entre octubre de 2007 y enero de 2010, en periodos de lluvia, seca y transición de seca a lluvia. Se recolectaron estómagos de 262 ejemplares. Para detectar diferencias en el índice de importancia alimentaria de cada categoría de alimentos entre sexo, clase de talla, período hidrológico y cuencas se realizó un análisis de Kruskal-Wallis y una prueba de Mann-Whitney. Se calculó la amplitud del nicho de Levin y el Índice de superposición de dieta de Morisita para establecer diferencias entre clases de talla en diferentes periodos hidrológicos. El material vegetal fue el alimento más importante, seguido de Insecta y peces. Los individuos de la cuenca del Guatapé consumieron más material vegetal y peces, y menos insectos. Se detectó mayor consumo de material vegetal y de peces en individuos de mayor tamaño. La amplitud de nicho fue menor y la superposición entre clases de talla fue mayor en temporada de lluvias porque la dieta se basó principalmente en material vegetal. La dieta de *B. henni* estuvo compuesta principalmente por material vegetal e insectos y en menor proporción de otros grupos como peces, crustáceos y arácnidos.

Palabras clave: Cambios ontogenéticos; Conservación de especies; Contenidos estomacales; Pez de agua dulce; Ríos andinos.

INTRODUCTION

Changes in fish diet in Neotropical currents may be related to seasonal and environmental variations (Abelha *et al.* 2001), such as the presence or absence of riparian vegetation, aquatic vegetation, and the availability of resources in the environment that can vary drastically in Andean streams between hydrological periods. For this reason, aspects such as understanding the trophic ecology of the fish that live in these streams, the way in which they use resources due to migration patterns among different streams and rivers during different stages of their life, as well as the changes in diet occurring over time by variations in the availability of prey between hydrological periods are important to support the conservation measures and management actions for species that, such as the *B. henni*, are subject to strong pressures due to deterioration of riparian banks, overfishing and high pollution levels.

Brycon henni (Eigenmann, 1913) known as sabaleta in Colombia, spreads only in the Magdalena-Cauca River basin (Montoya-López *et al.* 2006; Mancera-Rodríguez, 2017), and in the study zone it is part of the subsistence fishing resource of the inhabitants of nearby municipalities. This species is not listed in the risk categories in the red book of freshwater fishes from Colombia (Mojica *et al.* 2012), but was subsequently assessed and classified in the category of least concern (LC) in the Red List of Threatened Species of the International Union for Conservation of Nature – IUCN (Villa-Navarro *et al.* 2016). Sabaleta is a fish with omnivorous behavior (Flórez, 1999; Magallanes & Tabares, 1999; Botero-Botero & Ramírez-Castro, 2011), and short lateral migrations with routes of less than 100 km have been documented among the main courses of the rivers and adjacent streams for reproductive purposes (Martínez-Orozco & Vásquez-Zapata 2001; Arboleda-Chacón *et al.* 2005).

Uncontrolled fishing, the impact on water bodies related to the change in land use that has generated deforestation due to livestock activities and intensive use of chemicals in agriculture, as well as pollution due to urban wastewater settled in the basins of Nare and Guatapé rivers have drastically reduced the population sizes of this species (Mancera-Rodríguez, 2017).

The species spawns in streams and individuals that are born remain there and grow until they reach a size close to that of sexual maturity, when they move to the main river bed where their adult stage goes on. Therefore, it is important to study the changes in diet associated with these movements during the development of the species and the effect of the change in vegetation cover on the banks of the water bodies where it lives. Especially because for omnivorous species, such as the sabaleta, food resources in the form of leaves, seeds, fruit and insects are mainly supplied by riparian vegetation (Esteves & Aranha, 1999). This is why the presence of forest cover in the banks of streams and rivers is important for their foraging behavior (Vitule *et al.* 2008; Abilhoa *et al.* 2010).

Therefore, the objectives of this study were: (i) to characterize the trophic ecology of sabaleta *Brycon henni* in tributary streams of Nare

and Guatapé rivers, in the Magdalena River basin, Colombia, and (ii) to analyze the variations between sexes, size class, different degrees of anthropic intervention and among hydrological periods (dry, dry-to-rainy transition and rainy periods). Understanding the trophic ecology features of the species will help establish recommendations for its protection, conservation, and management.

MATERIALS AND METHODS

Area of study. The work was carried out in eight stations located on tributaries of Nare and Guatapé rivers in the municipalities of Concepción, San Roque, Alejandría, San Rafael and San Carlos, department of Antioquia, in the Magdalena River basin, Colombia (Table 1). Six stations were established in the Nare River basin in streams with high anthropogenic disturbance, without tree cover on their banks, and with land uses dedicated to agricultural and livestock activities. Two stations were set in the Guatapé River basin in water bodies that had riparian vegetation without alterations or with a low degree of anthropogenic disturbance. The characteristics of the water bodies studied, their habitats and their physical-chemical characteristics are detailed in Mancera-Rodríguez (2017).

Sampling. The specimens were collected in five samplings carried out in the rainy period (October and November 2007, and May 2008), dry-to-rainy transition period (March 2008), and in dry period (January 2010). The specimens were landed with SAMUS 725MP electro-fishing and 1 cm mesh eye nets. They were labeled and preserved in 70 % alcohol in the Ecology and Wildlife Conservation laboratory of the Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Analysis of stomach contents. A total of 262 stomachs of *B. henni* individuals were examined, of which 147 were landed in the rainy period, 64 during the dry-to-rainy transition, and 51 in the dry period. Of these, 119 were females, 127 males, and 16 immature specimens whose sex could not be determined (Table 1). For each specimen, its standard length SL (mm) was measured with a digital caliper, and its total weight (g), eviscerated weight (g) and weight of each stomach contents were obtained with an analytical balance (Ohaus Scout-Pro 202; 0.01 g). The specimens were eviscerated for the extraction of the digestive tracts, which were weighed (g) and preserved in 70 % alcohol. Subsequently, the separation of the food categories was carried out with an EZ4 stereoscope (Leica Microsystems). The emptiness index (EI) was calculated as $EI = (Se/St) \times 100$, where Se is the number of empty stomachs and St the total number of stomachs analyzed.

A dietary category accumulation curve was used to assess the sufficiency of sample size of *B. henni* stomachs containing identifiable prey for all data sets. The mean and standard deviation of the cumulative number of new preys were calculated and the sufficiency of the sample size was statistically evaluated using the linear regression method of Bizzarro *et al.* (2007).

Dietary components were separated and identified qualitatively and quantitatively according to volumetric and frequency of occurrence

methods (Ricker, 1971; Hyslop, 1980), and the Alimentary Importance Index (AII) according to Kawakami & Vazzoler (1980) $AII = Fi \cdot Vi / \sum(Fi \cdot Vi)$, where AII = alimentary importance index,

Fi = frequency of occurrence (%) of each category and Vi = volume (%) of each category.

Table 1. Location of sampling stations and number of individuals of sabaleta (*Brycon henni*) landed in the Nare and Guatapé river basins, Magdalena River system, Colombia.

Basin	Station	Geographic coordinates	Altitude (m. a. s. l.)	No. specimens per hydrological period			No. specimens by sex		
				Rainy	Transition	Dry	F	M	ND
Nare	Santa Gertrudis Stream	6°19'21.0" N - 75°09'38.6" W	1,820	17	0	6	10	12	1
	El Nusito Stream	6°25'58.5" N - 75°02'54.6" W	1,256	6	12	4	10	11	1
	San Lorenzo Stream	6°22'19.3" N - 75°03'25.5" W	1,250	17	0	4	11	9	1
	San José Stream	6°21'59.1" N - 75°03' 26.7" W	1,261	8	0	4	5	7	0
	Nare River	6°24'19.4" N - 74°55' 10.7" W	694	13	10	5	19	8	1
	Queibra Cabello Stream	6°23'05.0" N - 74°55' 06.7" W	694	50	17	10	32	41	4
Guatapé	Guatapé River	6°16'52.0" N - 75°06'00.6" W	1,209	7	1	10	8	10	0
	El Cardal Stream	6°16'46.6" N - 74°55'24.6" W	898	29	24	8	24	29	8
				147	64	51	119	127	16

F: Females M: Males ND: Not determined

Feeding categories were identified at the lowest possible taxonomic level and AII data were analyzed using a non-parametric Kruskal-Wallis analysis of variance (Zar, 2010) to detect differences in consumption rates (AII) for each food category by sex, size classes, hydrological period and between the basins of Nare (high anthropogenic alteration) and Guatapé (low anthropogenic alteration) rivers. Post hoc comparisons were also made and evaluated through the Mann-Whitney test, using PAST software (Hammer *et al.* 2001). To evaluate size-related variations in feeding habits, specimens were separated into size classes of 20 mm standard length, taking into account the interval estimation made by Mancera-Rodríguez (2017) in the study of reproductive aspects of the species in these two basins of Nare and Guatapé rivers.

Clustering analysis was performed on standardized AII values using the Bray-Curtis similarity index (based on abundance) using the paired grouping method to describe variations by size classes of feeding habits using PAST software (Hammer *et al.* 2001).

The trophic niche breadth for the utilization of food resources was calculated by size, to define whether there are marked changes in dietary specialization, using AII values according to Levin's Niche Amplitude measure (Krebs, 1999): $B_i = 1/\sum p_i^2$, where p_i is the proportion with which each category of item i contributes to the diet. To standardize this measure of niche breadth to a 0 to 1 scale, the standardized niche breadth was calculated: $B = B_i - 1/n - 1$ where, B is the Levin's standardized niche breadth, B_i is the Levin's niche measure and n is the number of items in the diet. The B value

is close to zero when individuals have minimal diet breadth or maximum specialization.

The Morisita's Diet Overlapping Index (Krebs, 1999) was calculated for each hydrological period to define the diet overlapping between groups I and II. The Morisita's simplified index is shown in equation 1:

$$S_{I-II} = \frac{2 * \sum(AII_{iI} * AII_{iII})}{\sum AII_{iI}^2 + \sum AII_{iII}^2} \quad \text{equation 1}$$

where AII_{iI} is the Alimentary Importance Index of the i^{th} food in group I and AII_{iII} is the Alimentary Importance Index of the same item i in group II. Diet overlapping increases as Morisita's index increases from 0 to 1. Values close to 1 indicate high dietary overlapping where individuals compete for the same dietary components.

RESULTS AND DISCUSSION

Characteristics of the specimens and the diet. The size range of the sampled specimens varied from 42.7 to 241.0 mm SL and the weight between 1.2 and 288.1 g. The mean standard length (SL) was 121.2 mm, and the mean total weight was 45.5 g. The average size for females evaluated was 127.9 mm SL (53.5-241.0) and for males 120.2 mm SL (60.0-232.5). By basin, individuals from the Nare River basin had an average size of 118 mm SL (53.5-234.0) and for the Guatapé River basin 127.3 mm SL (42.7-241.0). No significant differences were detected in the size of the specimens

evaluated or between basins, sexes or hydrological periods evaluated (Mann-Whitney, $p>0.05$).

The diet category accumulation curve to evaluate the sufficiency of the number of samples reached a plateau above 242 stomachs analyzed, which provides a good description of *B. henni* diet. Of the total number of stomachs evaluated, only one was empty, with an emptiness index of 0.38 %. Stomach content was classified into 20 types of prey that were grouped into seven food categories (Table 2).

Two categories were classified as primary: plant material made up of seeds, fruit, and algae (AII: 59.65 %), and the Insecta class made up of aquatic macroinvertebrates of various orders and remains of non-identifiable insects (AII: 37.80 %) (Table 2). The other five categories were considered secondary with little contribution to the diet: fish, made up of fish remains and scales (AII: 1.95 %), Nematoda (AII: 0.58 %), and the Crustacea, Arachnida and Mollusca categories with an AII less than 0.01 %, each (Table 2).

Table 2. Composition of the sabaleta (*Brycon henni*) diet in the Nare and Guatapé river basin, as a percentage of frequency of occurrence (%F), percentage of Volume (%V) and percentage of the Alimentary Importance Index (AII) for all sampled stomachs (n=262).

Items		%F	%V	AII	
Plant Material	General				59.65
	Leaves, seeds, fruit, etc.	82.82	78.53	58.36	
	Algae	12.98	0.69	1.29	
Insecta	General				37.80
	Hymenoptera	50.38	3.38	5.19	
	Trichoptera	48.09	0.82	5.07	
	Diptera	32.44	0.39	1.71	
	Coleoptera	35.50	0.66	1.75	
	Hemiptera	23.66	0.49	1.31	
	Ephemeroptera	18.32	2.30	0.88	
	Lepidoptera	11.83	0.10	0.48	
	Odonata	10.69	0.01	0.33	
	Neuroptera	2.29	0.04	0.12	
	Plecoptera	8.78	0.11	0.11	
	Ortoptera	5.34	0.45	0.29	
	Isoptera	1.53	0.001	0.00	
	Insect remains	63.36	10.33	20.55	
Fish	Fish remains and scales	24.81	1.64	1.95	1.95
Nematoda	Ascaridida	4.96	0.01	0.58	0.58
Crustacea	Decapoda	0.76	0.02	0.01	0.01
Arachnida	Arachnida	1.53	0.002	0.00	0.00
Mollusca	Gastropoda /Lamellibranchia	3.82	0.03	0.00	0.00

In the middle basins of the Nare and Guatapé rivers, *B. henni* feeds mainly on plant material and can be considered a herbivorous/frugivorous species (fruit, stems, leaves, roots, as well as various types of grass and legume seeds), which complements their diet with insects (both aquatic larval phases and allochthonous origin) mainly of the orders Trichoptera, Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, Hemiptera, and Ephemeroptera, and to a lesser extent other groups such as fish, crustaceans and arachnids. In this regard, it has been pointed out that several species of the *Brycon* genus are consumers and seed dispersers of various species of riparian plants (Horn, 1997; Gomiero *et al.* 2008; Reys *et al.* 2009; Correa *et al.* 2015).

The species has a wide range of prey consumed and has been considered an omnivorous species, but its diet is made up mainly of plant material, and to a lesser extent prey of animal origin, including several orders of insects, fish remains, crustaceans, mollusks, annelids and even frogs (Flórez, 1999; Magallanes & Tabares, 1999). However, Botero-Botero & Ramírez-Castro (2011) and Feriz García *et al.* (2023) found that the species had a generalist diet with characteristics of a carnivorous species, with a tendency to consume mainly aquatic insects and non-native organisms, and to a lesser extent to consume plant material in the Portugal de Piedras river (Valle del Cauca), and in the Timbío river (Cauca),

respectively. In that sense, Restrepo-Santamaría *et al.* (2022) found that the species fed on a wide variety of terrestrial and aquatic invertebrates, as well as plant material and seeds for the Porce III reservoir in the department of Antioquia.

The above shows that the sabaleta is a fish species that exhibits opportunistic eating habits and easily adapts to the different environments and aquatic environments of the Colombian Andes (Jiménez-Segura *et al.* 2016), which has allowed it to adapt even to the lentic environments generated by the construction of reservoirs in various water courses where the species is spread (Martínez-Orozco & Vásquez-Zapata, 2001; Restrepo-Santamaría *et al.* 2022).

Changes in diet by size and effect of anthropogenic intervention.

Diet composition by sex did not have significant differences in terms of the AII of the primary food categories in general. Therefore, the following analyses were performed by grouping the two sexes. The frequency of the main prey groups in the *B. henni* diet by size class shows plant material and insects as the primary food source across size categories (Figure 1). However, specimens with an SL greater than 170 mm had a higher percentage of plant material and a lower percentage of insects in the AII and specimens with a SL greater than 210 mm had an increase in the share of fish (Figure 1).

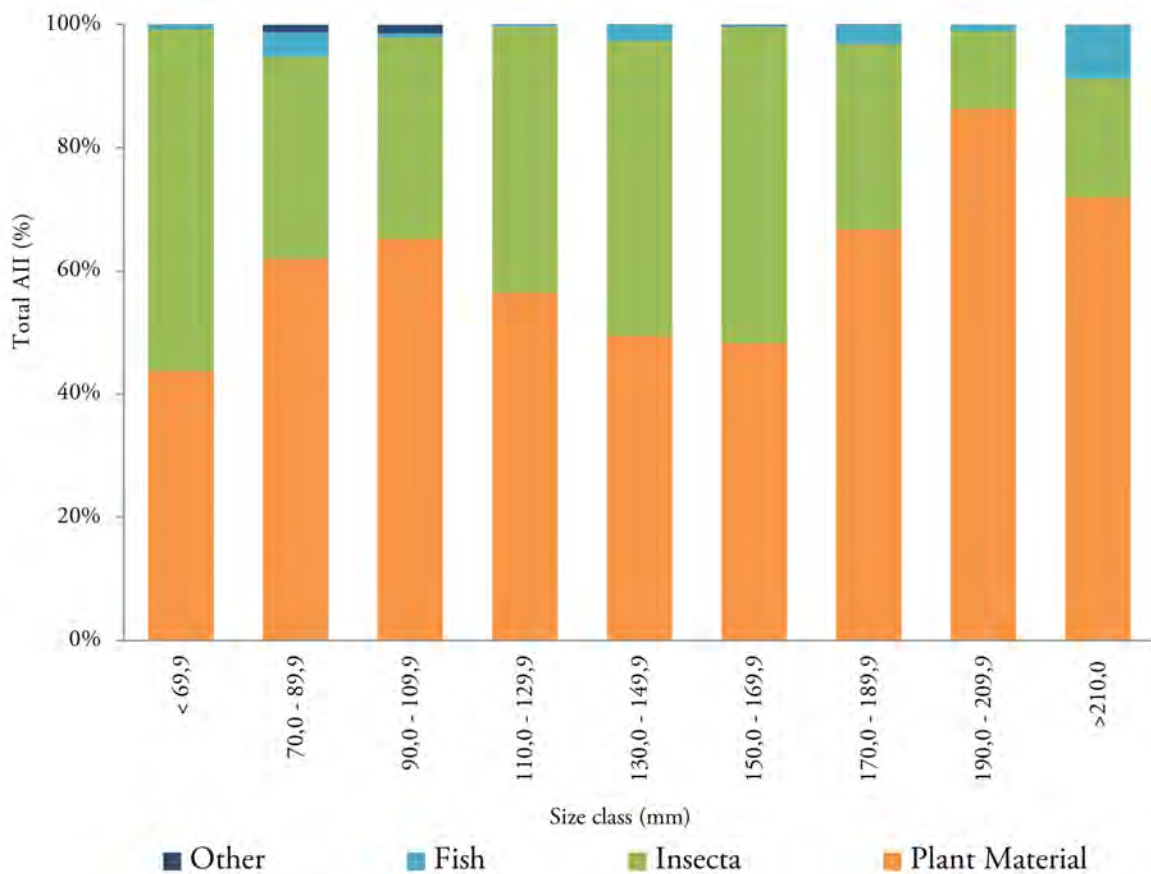


Figure 1. Frequency of the primary prey groups in the sabaleta (*Brycon henni*) diet by size classes (standard length) in the Nare and Guatapé river basins, Magdalena River system, Colombia. AII: Alimentary Importance Index

Grouping analysis using the Bray-Curtis similarity index based on AII values for the 9 size classes distinguished two main groups: group I (fish smaller than 170.0 mm SL) and group II (fish larger than 170.0 mm SL) (Figure 2). Significant differences were found between the two size groups in fish consumption that was higher

for group II (Mann-Whitney, $P=0.041$). Despite the values not being significant, a higher consumption of plant material and a lower consumption of insects were found in individuals larger than 170 mm SL (Table 3).

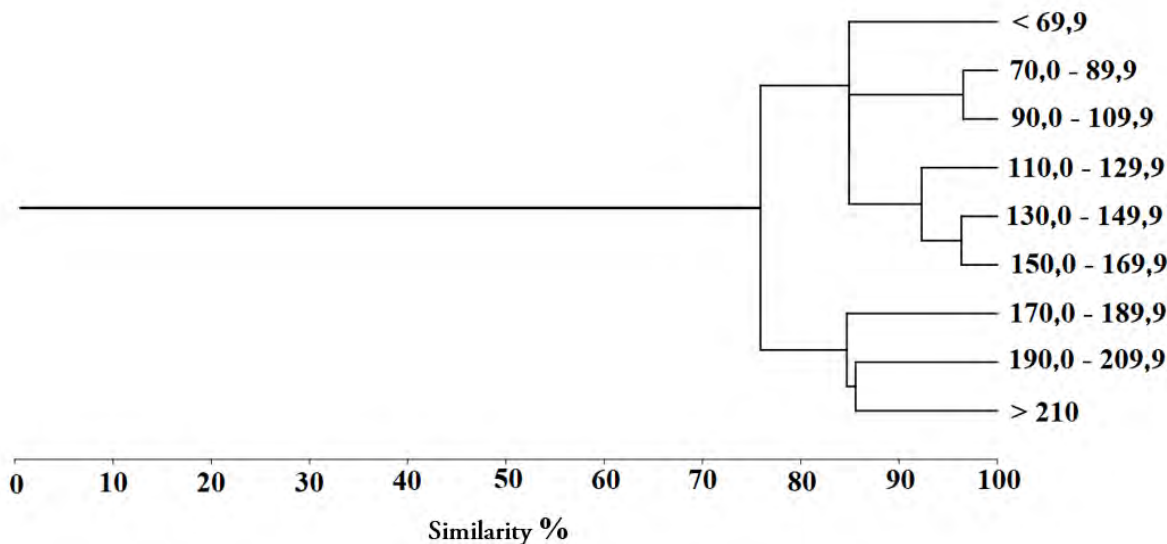


Figure 2. Bray-Curtis similarity grouping dendrogram based on Alimentary Importance Index (AII) values by size classes for sabaleta (*Brycon henni*) in the Nare and Guatapé river basin, Magdalena River system, Colombia

Insect consumption was important in specimens smaller than 170 mm SL and higher in streams with greater anthropogenic impact and less tree cover on their banks. Specimens with an SL greater than 170 mm showed higher consumption of plant material and less insect consumption, and specimens with an SL greater than 210 mm showed an increase in fish amount in their diet. These ontogenic changes are consistent with the reports about other species of the same genus by Drewe *et al.* (2004), who found that *B. guatemalensis* went from a carnivorous diet of insects in younger fish to a diet of fruits and leaves as adults in streams in Costa Rica. Similar results were found by Albrecht *et al.* (2009) for *B. gouldingi* and *B. falcatus* in Brazil, who pointed out that smaller individuals mainly consumed terrestrial arthropods and larger individuals mainly consumed seeds and fruit.

Between basins with different degrees of anthropogenic intervention, differences in diet were observed with greater consumption of plant material (Mann-Whitney, $P=0.009$) and fish (Mann-Whitney, $P=0.021$) in the Guatapé River basin that presents low anthropogenic alteration, and greater consumption of insects in the Nare River basin that has a higher degree of anthropogenic intervention (Mann-Whitney, $P=0.004$) (Table 3). This is related with the findings by other authors who have associated the presence of forest cover on the riparian banks of the streams with a greater consumption of leaves, seeds, fruits, but also insects that are mainly supplied by riparian vegetation (Esteves & Aranha, 1999; Vitule *et al.* 2008; Abilhoa *et al.* 2010). It is also consistent with the reports for species of the *Brycon* genus that largely consume non-native foods, showing the importance of maintaining riparian forests (Gomiero *et al.* 2008; Albrecht *et al.* 2009; Reys *et al.* 2009).

Table 3. Variation in the Alimentary Importance Index (AII) of the different categories of prey in the sabaleta (*Brycon henni*) diet by sex, size groups and basin in the Nare and Guatapé rivers, Magdalena River system, Colombia. SL = Standard Length

Type of food	Sex		Mann-Whitney p-Value	Size		Mann-Whitney p-Value	Basin		Mann-Whitney p-Value
	Females	Males		Group I < 170 mm SL	Group II > 170 mm SL		Nare	Guatapé	
Plant Material	58.33	60.47	0.750	57.35	71.73	0.111	55.40*	69.45*	0.009*
Insecta	40.08	36.00	0.375	40.41	23.92	0.080	42.41*	27.19*	0.004*
Fish	1.07	2.80	0.093	1.54*	4.33*	0.041*	1.34*	3.35*	0.021*
Other	0.52	0.73	0.634	0.70	0.02	0.574	0.85	0.01	0.064

* Statistically significant differences ($p<0.05$)

However, the significant increase in insect consumption in the streams of the Nare River basin, whose banks have undergone high deterioration and loss of forest cover, shows that those species that take advantage of non-native foods, such as the sabaleta can modify their feeding habits due to changes in riparian vegetation.

Variation in diet for different hydrological periods. During the rainy period, a greater consumption of plant material was observed in the sabaleta specimens evaluated in the two size groups and there were no significant differences (Mann-Whitney, $p > 0.05$) in the consumption of the different food categories. However, during the dry period, Group I had differences with a lower consumption of plant material (Mann-Whitney, $P = 0.031$) and fish (Mann-Whitney, $P = 0.001$) compared to Group II and a higher consumption of insects in its diet (Mann-Whitney, $P = 0.041$).

Additionally, during the transition period from dry season to rainy season, Group I had differences with a lower consumption of plant material (Mann-Whitney, $P = 0.010$) compared to Group II and a higher consumption of insects (Mann-Whitney, $P = 0.010$) (Table 4). Levin's Niche Breadth was lower in the rainy period ($B = 0.080$ and 0.131 for Group I and II, respectively) because the diet was based primarily on plant material for the two groups. During the dry period it was $B = 0.262$ for Group I and $B = 0.255$ for Group II, and in the transition period $B = 0.242$ for Group I and $B = 0.300$ for Group II, with a tendency towards a more generalist diet in these two periods. Similarly, Correa & Winemiller (2014) found that *Brycon falcatus* and *B. melanopterus* exhibited frugivorous feeding habits during the rainy season and their diet changed to insectivorous habits in the dry season in the Colombian Amazon region.

Table 4. Variation of the alimentary importance index (AI) of the different categories of prey in the sabaleta (*Brycon henni*) diet by size groups in the different hydrological periods in the Nare and Guatapé river basins, Magdalena River system, Colombia. Group I: < 170 mm SL, Group II: > 170 mm SL.

Type of food	Dry period		Mann-Whitney p-Value	Dry-to-Rainy Transition Period		Mann-Whitney p-Value	Rainy period		Mann-Whitney p-Value
	Group I	Group II		Group I	Group II		Group I	Group II	
Plant Material	42.44*	73.03*	0.031*	32.32*	61.89*	0.010*	73.93	73.72	0.895
Insecta	50.32*	10.41*	0.006*	67.45*	39.09*	0.010*	24.58	26.10	0.636
Fish	4.66*	16.55*	0.001*	0.22	0.00	0.351	1.11	0.14	0.684
Other	2.58	0.01	0.454	0.01	0.02	0.272	0.38	0.04	0.302

* Statistically significant differences ($p < 0.05$)
SL = Standard length.

High overlapping in the species diet was detected between both size groups with a Morisita's index value of $S_{(I-II)} = 0.957$. Diet overlapping had its maximum value during the rainy period ($S_{(I-II)} = 0.995$), in which the two groups fed mainly on plant material and insects, mostly on the orders Hymenoptera, Trichoptera, Diptera, Coleoptera and Hemiptera. In the transition period the value was $S_{(I-II)} = 0.833$ with a greater consumption of insects by individuals smaller than 170 mm SL and a decrease in consumption of plant material. In the dry season, the Morisita's index value was the lowest ($S_{(I-II)} = 0.803$), because Group I had a lower consumption of plant and fish material, and a higher consumption of insects than Group II. For the three periods, the value indicates a strong overlapping in the diet for the species with consumption of the same food groups, although with different proportions in each group depending on the hydrological period.

Frugivorous species such as *B. henni* have been strongly affected by fishing, deforestation from livestock activities and pollution due to the use of chemicals in agriculture on the banks of streams in the Nare and Guatapé river basins. This has caused a decrease in size and in average size at sexual maturity (Mancera-Rodríguez 2017), which affects their potential as possible seed dispersers, which is carried out by larger fish.

Acknowledgments. We thank the students and fishermen in the zone who worked in the field and gathered information about the species. Additionally, the authors thank to Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas for the financial support for the translation of this article through the project "Propuesta fortalecimiento gestión editorial de revistas científicas de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A 2023-2024". **Funding:** The project "Study of the biology, ecology and genetic diversity of the natural populations of the sabaleta (*Brycon henni*) in the Nare and Guatapé river basins, Antioquia" was funded by ISAGEN S.A. E.S.P., CORNARE and the Universidad Nacional de Colombia. **Conflict of interest:** I declare as the author that there is no conflict of interest that puts the validity of the results herein at risk.

REFERENCES

- ABELHA, M.C.F.; AGOSTINHO, A.A.; GOULART, E. 2001. Plasticidade trófica em peixes de água doce. Acta Scientiarum. Biological Sciences. 23(2):425-434. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v23i0.2696>

- ABILHOA, V.; VITULE, J.R.S.; BORNATOWSKI, H. 2010. Feeding ecology of *Rivulus luelingi* (Aplacheiloidei: Rivulidae) in a coastal Atlantic rainforest stream, southern Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 8(4):813-818. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252010005000012>
- ALBRECHT, M.P.; CARAMASCHI, É.P.; HORN, M.H. 2009. Population responses of two omnivorous fish species to impoundment of a Brazilian tropical river. *Hydrobiologia*. 627:181-193. <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9727-7>
- ARBOLEDA-CHACÓN, L.A.; ANGEL, M.O.; TABARES-SERNA, C.J.; ECHAVARRIA, A.E.; SERNA-VÉLEZ, D.F. 2015. Maduración gonadal en hembras de sabaleta (*Brycon henni*) y su relación con variables medioambientales. *Revista Politécnica*. 1(1):95-103.
- BIZZARRO, J.J.; ROBINSON, H.J.; RINEWALT, C.S.; EBERT, D.A. 2007. Comparative feeding ecology of four sympatric skate species off central California, USA. *Environmental Biology of Fishes*. 80:197-220. <https://doi.org/10.1007/s10641-007-9241-6>
- BOTERO-BOTERO, A.; RAMÍREZ-CASTRO, H. 2011. Ecología trófica de la Sabaleta *Brycon henni* (Pisces: Characidae) en el río Portugal de Piedras, Alto Cauca, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*. 16(1):2349-2355. <https://doi.org/10.21897/rmvz.293>
- CORREA, S.B.; ARAUJO, J.K.; PENHA, J.M.; DA CUNHA, C.N.; STEVENSON, P.R.; ANDERSON, J.T. 2015. Overfishing disrupts an ancient mutualism between frugivorous fishes and plants in neotropical wetlands. *Biological Conservation*. 191:159-167. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.019>
- CORREA, S.B.; WINEMILLER, K.O. 2014. Niche partitioning among frugivorous fishes in response to fluctuating resources in the Amazonian floodplain forest. *Ecology*. 95(1):210-224. <https://doi.org/10.1890/13-0393.1>
- DREWE, K.E.; HORN, M.H.; DICKSON, K.A.; GAWLICKA, A. 2004. Insectivore to frugivore: Ontogenetic changes in gut morphology and digestive enzyme activity in the characid fish *Brycon guatemalensis* from Costa Rican rain forest streams. *Journal of Fish Biology*. 64:890-902. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2004.0357.x>
- ESTEVEZ, K.E.; ARANHA, J.M.R. 1999. Ecología trófica de peixes de riacho. En: Caramaschi, E.P.R.; Mazzoni, C.R.S.; Bizerril F.; Peres-Neto, P.R. (eds.). *Ecología de peixes de riachos: estado atual e perspectivas*. Oecologia Brasiliensis VI. Rio de Janeiro. p.157-182.
- FERIZGARCÍA, D.; LÓPEZULCHUR, G.; IBAGÓN, N.E. 2023. Análisis de contenido estomacal de la sabaleta *Brycon henni* Eigenmann, 1913 en la parte baja del río Timbío, Cauca-Colombia. *Revista Novedades Colombianas*. 18(1):18-36. <https://doi.org/10.47374/novcol.2023.v18.2297>
- FLÓREZ, P.E. 1999. Estudio biológico-pesquero preliminar de tres especies ícticas del Alto Río Cauca Embalse de Salvajina. *Cespedecia*. 23(73-74):47-60.
- GOMIERO, L.M.; MANZATTO, A.G.; BRAGA, F.M.S. 2008. The role of riverine forests for food for *Brycon opalinus* in the Serra do Mar, Southeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 68(2):321-328. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000200013>
- HAMMER, Ø; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. [Computer program] *Palaeontología Electrónica*. 4(1):1-9.
- HORN, M. 1997. Evidence for dispersal of fig seeds by the fruit-eating characid fish *Brycon guatemalensis* Regan in a Costa Rican tropical rain forest. *Oecologia*. 109(2):259-264. <https://doi.org/10.1007/s004420050081>
- HYSLOP, E.J. 1980. Stomach contents analysis a review of methods and their applications. *Journal of Fish Biology*. 17:411-429. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x>
- JIMÉNEZ-SEGURA, L.; GALVIS-VERGARA, G.; CALACALA, P.; GARCÍA-ALZATE, C.; LÓPEZ-CASAS, S.; RÍOS-PULGARÍN, M.; ARANGO, G.; MANCERA-RODRÍGUEZ, N.J.; GUTIÉRREZ-BONILLA, F.; ÁLVAREZ-LEÓN, R. 2016. Freshwater fish faunas, habitats and conservation challenges in the Caribbean river basins of north-western South America. *Journal of Fish Biology*. 89(1):65-101. <https://doi.org/10.1111/jfb.13018>
- KAWAKAMI, E.; VAZZOLER, G. 1980. Método gráfico e estimativa de alimentar aplicado no estudo de alimentação de peixes. *Boletim do Instituto Oceanográfico*. 29(2):205-207. <https://doi.org/10.1590/S0373-55241980000200043>
- KREBS, C.J. 1999. *Ecological methodologies*. Addison Welsey Educational Publishers, Menlo Park. p.624
- MAGALLANES, H.; TABAREZ, M.M. 1999. Estudio de los efectos del proyecto hidroeléctrico Porce II, sobre la fauna íctica. Informe final. Empresas Públicas de Medellín, gerencia de generación de energía, división Porce II, Departamento de Gestión Ambiental. p.108
- MANCERA-RODRÍGUEZ, N.J. 2017. Biología reproductiva de *Brycon henni* (Teleostei: Bryconidae) y estrategias de conservación para los ríos Nare y Guatapé, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 65(3):1105-1119. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29453>
- MARTÍNEZ-OROZCO, H.; VÁSQUEZ-ZAPATA, G. 2001. Aspectos reproductivos de la sabaleta *Brycon henni* (pisces: Characidae) en el embalse la salvajina, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ictiología Dahlia*. 4:75-82.

- MOJICA, J.I.; USMA-OVIEDO, J.S.; ÁLVAREZ-LEÓN, R.; LASSO-ALCALÁ, C.A. 2012. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C. Colombia. p.296
- MONTOYA-LÓPEZ, A.F.; CARRILLO, L.M.; OLIVERA, M. 2006. Algunos aspectos biológicos y del manejo en cautiverio de la Sabaleta *Brycon henni* Eigenmann, 1913 (Pisces: Characidae). Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias. 19(2):180-186.
- RESTREPO-SANTAMARÍA, D.; NAVIA, A.F.; PALACIOS, J.; JIMÉNEZ-SEGURA, L. 2022. Feeding strategy of fish that colonize reservoirs in the Magdalena river basin., Universitas Scientiarum. 27(3):234-252. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC273.fsof>
- REYS, P.; SABINO, J.; GALETTI, M. 2009. Frugivory by the fish *Brycon hilarii* (Characidae) in western Brazil. Acta Oecologica. 35:136-141. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2008.09.007>
- RICKER, W.E. 1971. Methods for assessment of fish production in fresh waters. 2nd ed. Oxford: I.B.P. Handbook No 3. Blackwell Scientific Publications. 348p.
- VILLA-NAVARRO, F.; USMA, S.; SÁNCHEZ-DUARTE, P.; MESA-SALAZAR, L. 2016. *Brycon henni*. The IUCN Red List of Threatened Species. Disponible desde Internet en: <https://www.iucnredlist.org/species/49830035/61473718>
- VITULE, J.R.S.; BRAGA, M.R.; ARANHA, J.M.R. 2008. Ontogenetic, spatial and temporal variations in the feeding ecology of *Deuterodon langei* Travassos, 1957 Teleostei: Characidae in a Neotropical stream from the Atlantic rainforest, southern Brazil. Neotropical Ichthyology. 6(2):211-222. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252008000200008>
- ZAR, J.H. 2010. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall. New Jersey, USA. 255p.

Statistical modeling of decontamination of wastewater containing Carbendazim using photo-Fenton

Modelo estadístico de la descontaminación de aguas residuales que contienen Carbendazim mediante foto-Fenton

Dorancé Becerra-Moreno^{1*} ; Joseph Soto-Verjel² ; Ángel Soto-Vergel³ ; Fiderman Machuca-Martínez⁴ ; Luisa Ramírez-Ríos⁵ 

¹Universidad Francisco de Paula Santander, Departamento de Ciencias del Medio Ambiente. Cúcuta - Norte de Santander, Colombia; e-mail: dorancebm@ufps.edu.co

²Universidad del Norte, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales - IDEHA. Barranquilla, Colombia; e-mail: jwsoto@uninorte.edu.co

³Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta - Norte de Santander, Colombia e-mail: angelojosephsv@ufps.edu.co

⁴Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali - Valle del Cauca, Colombia, e-mail: fiderman.machuca@correounivalle.edu.co

⁵Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: lfernandaramirez@unillanos.edu.co

*Corresponding author: dorancebm@ufps.edu.co

How to cite: Becerra-Moreno, D.; Soto-Verjel, J.; Soto-Vergel, Á.; Machuca-Martínez, F.; Ramírez-Ríos, L. 2024. Statistical modeling of decontamination of wastewater containing Carbendazim using photo-Fenton. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2253. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2253>

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

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

Received: March 27, 2022

Accepted: May 6, 2024

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Homogeneous photo-Fenton photocatalysis is one of the most widely used advanced oxidation processes in treating wastewater containing pesticides, where optimizing the catalyst dosage and oxidizing agent, with the response being mineralization in terms of total organic carbon (TOC) or removal of the specific contaminant, is the goal of any experimental design. Experimental development in treatment processes necessitates executing a significant number of experimental conditions that require the use of reagents, energy, and execution time. Therefore, modeling such phenomena emerges as an alternative to these limitations in wastewater treatment. In this research, the influence of factors FeSO_4 and H_2O_2 , each at three levels, on the mineralization of a synthetic solution of the insecticide Carbendazim ($50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) in terms of TOC was evaluated using a multiple linear regression model optimized by response surface methodology. The main results established that the best model fit considers the interaction between FeSO_4 and H_2O_2 ($X_1 * X_2$) and the quadratic terms of each (X_1^2, X_2^2) with p-values < 0.05. The validation of the model using the Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) technique, as well as accuracy and precision through residual analysis and ordinary least squares assumptions, confirms the validity of the conclusions derived from it.

Keywords: Carbendazim; Pesticides; Photo-Fenton; Polynomial regression; Regression model.

RESUMEN

La fotocatalisis homogénea foto-Fenton es uno de los procesos de oxidación avanzada más utilizados en el tratamiento de aguas residuales con contenido de pesticidas, donde la optimización de la dosis de catalizador y el agente oxidante, teniendo como respuesta la mineralización en términos de carbono orgánico total (COT) o la eliminación del contaminante específico, son el objetivo de cualquier diseño experimental. El desarrollo experimental en los procesos de tratamiento requiere la ejecución de una cantidad significativa de condiciones experimentales que necesitan el uso de reactivos, energía y tiempo de ejecución, por lo tanto, el modelamiento de este tipo de fenómenos surge como una alternativa a esta limitante en los tratamientos de aguas residuales. En esta investigación, se evaluó la influencia de los factores FeSO_4 y H_2O_2 , cada uno en tres niveles, en la mineralización de una solución sintética del insecticida Carbendazim ($50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), en términos de COT, mediante un modelo de regresión lineal múltiple y optimizado por una superficie de respuesta. Los principales resultados establecieron que el mejor ajuste del modelo se da teniendo en cuenta la interacción entre el FeSO_4 y el H_2O_2 ($X_1 * X_2$) y los términos cuadráticos de cada una de ellas (X_1^2, X_2^2) con p-valores < 0,05 y que la validación del modelo, mediante la técnica Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV), así como la exactitud y la precisión, mediante el análisis de residuos y el supuesto de mínimos cuadrados ordinarios, establecen que las conclusiones que se derivan de él son válidas.

Palabras clave: Carbendazim; Foto-Fenton; Modelo de regresión; Plaguicidas; Regresión polinómica.

INTRODUCTION

The current demand for food has increased the need for greater agricultural production worldwide, which causes the exponential use of pesticides (Sun *et al.* 2018), which are considered toxic substances for pest control and to increase crop yields (Vagi & Petsas, 2019) and generate a significant impact on the environment if their means of propagation are not controlled (Badii & Landeros, 2015). The Department of Valle del Cauca in Colombia is a particular case of the above inference and is the area of influence of this research study, so it is necessary to develop research on technologies for the treatment of wastewater containing pesticides in the region.

Wastewater containing pesticides is generated by the uncontrolled washing activity of spraying equipment and is mainly discharged into water sources, which is the most important means of transportation and affectation, thus creating the need to propose treatment alternatives capable of degrading substances that are not compatible with classical biological treatments, due to their high toxicity. Advanced oxidation processes (AOP) can be used as a pretreatment step to reduce high toxic concentrations to the point where inhibition is not so significant (Liberatore *et al.* 2012) or to obtain total mineralization of the pollutants, according to the objective of each treatment.

One of the most widely used AOPs for the decontamination of wastewater containing pesticides is photo-Fenton Photocatalysis, which consists of a mixture of hydrogen peroxide (H_2O_2) and divalent iron (Fe^{2+}) catalyst species in low amounts, operating at room temperature and under acidic pH values (Vagi & Petsas, 2019), mediated in a parabolic compound collector in the presence of solar radiation. This process has proven effective in the removal of several organic compounds and pathogens (Aguas *et al.* 2017; Serra-Clusellas *et al.* 2018). However, the acidic conditions under which this treatment is effective make the process economically unattractive (De la Obra *et al.* 2017; Esteban García *et al.* 2018), subject to this, most of these AOPs pose a huge challenge concerning their operational costs, sustainability, and overall feasibility (Sgroi *et al.* 2020), making the development of experiments requires time, labor, and money.

As an alternative to counteract the limitations of experimentation, modeling is implemented from the general design and arises to replace the hours spent in the laboratory with fast computer simulations to obtain the correct predictions of the process behavior, taking into account an advance in this field related to sustainability and the use of technologies (Gojun *et al.* 2021). This points out the relevance of proposing a model for the treatment of wastewater containing pesticides by homogeneous photo-Fenton photocatalysis to enhance its advantages and reduce the limitations involved.

The modeling for the photo-Fenton process has been developed with several objectives, one of them was related to knowing the degradation kinetics through a mathematical model that describes the degradation of a dye by photolysis, which provided important

information about the behavior of the system that depends on the structure of the model pollutant, the type of iron catalyst and the presence of ultraviolet light, which influences the overall efficiency of the process (Kusic *et al.* 2009), another similar case where a mathematical model was developed using kinetics for acetic acid consumption and first-order kinetics for hydrogen peroxide photolysis, estimating the apparent kinetic constants and testing the accuracy of the model under different experimental conditions to evidence its predictive capability (Sannino *et al.* 2013).

Artificial neural networks (ANN) have also been used as modeling alternatives together with the genetic algorithm for the optimization of several parameters such as H_2O_2 dosage, treatment time, and pH among others, allowing a prediction performance and validation of the optimal results through experimental data, confirming the reliability of this approach (Talwar *et al.* 2019). The response surface methodology (RSM) has also had its contribution oriented to provide a simple model capable of quantitatively describing the system performance within the experimental domain studied, through an analysis of influential variables such as inlet pH, outlet pH, the hydraulic retention time (HRT) and the H_2O_2 dose concerning the response variable of the percentage decolorization of a dye, resulting in a simple polynomial equation capable of predicting color removal in a wide range of experimental conditions, and also showed that the pH of the reactor and the HRT are the key factors that influenced the system response (Donadelli *et al.* 2020).

Therefore, a mathematical model is proposed for the decontamination of agro-industrial wastewater (with Carbendazim content) mediated by a homogeneous photocatalytic advanced oxidation process photo-Fenton, having as model factors in the process the H_2O_2 concentration at three levels (100, 1020, and 2000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), the FeSO_4 concentration in three levels (41.55, 442.35 and 841.75 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). The independent variable will be total organic carbon (TOC), which measures at the beginning and end of each experimental combination, considering the accumulated UV energy of 0 and 16.5 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, respectively. The combinations of experiments were randomized in the statistical program StatGraphics Centurion XIX, which yielded a total of eleven (11) experimental runs with replication at the central points of the H_2O_2 and FeSO_4 variables.

MATERIALS AND METHODS

During the research, a methodology was developed consisting of four main phases: pesticide selection, wastewater characterization, experimental set-up, and modeling and analysis.

Pesticide selection. The selection of the pesticide is carried out through two subphases: the first one is a pre-selection according to the frequency of use in the Department of Valle del Cauca, where initially the crop zones were analyzed, classified according to the area and the pesticides of periodic use in the areas of greater extension are identified. In the second subphase, a toxicological and physicochemical classification was carried out, in addition to identifying the proportions of pesticides used in each case.

Wastewater and characterization. This phase consisted of defining the origin of the wastewater, which in this case was characterized as effluents from the washing of spraying equipment after field application of the product on the crop, determining its physicochemical characteristics, and the need for prior conditioning if necessary. In this phase, the effluent was characterized in terms of chemical oxygen demand (COD) (section 5220D. Closed reflux - Colorimetric method), biological oxygen demand (five days) BOD₅ (section 5210D. Respirometric method), total suspended solids TSS (section 2540D. Total suspended solids dried at 103-105 °C), temperature (section 2550B. Laboratory and field methods), color (section 2120C. Single wavelength spectrophotometric method), turbidity (section 2130B. Nephelometric method), conductivity (section 2510 B. Laboratory method), pH, alkalinity (section 2320B. Titration method), acidity (section 2310B. Titration method), and total hardness (section 2340C. EDTA Titrimetric method), following the analytical techniques established in the Standard Methods for Water and Wastewater Analysis (Lipps *et al.* 2022).

Experimental set-up. Homogeneous photocatalysis is carried out in a composite parabolic collector (CPC), measured by an iron sulfate catalyst FeSO₄ and the oxidizing agent hydrogen peroxide H₂O₂ with the incidence of solar UV radiation on the treatment system. The CPC is in an east-west direction, so that the opening plane is perpendicular to the sun's rays, thus achieving greater efficiency in radiation collection. The recirculation system consists of a 50 L.min⁻¹ constant flow pump (the flow rate was adjusted to 42 L.min⁻¹ through a 1.5" globe regulating valve) and a 3/4" AC type single phase electric motor (3450 RPM, 115 V, 50/60 Hz, and 1.3 Amps). The treatment volume is 20 L, the pH is constantly adjusted to 3.0 units with HCl and NaOH solutions.

Model factors in the process are the FeSO₄ catalyst dose for which three levels are established: 41.55, 442.35, and 841.75 mg.L⁻¹; the oxidizing agent H₂O₂ for which three levels are established: 100, 1050, and 2000 mg.L⁻¹. The pH variable was always maintained at a fixed level of 3 units since the photo-Fenton process benefits at acid pH (López-Vinent *et al.* 2021; Prete *et al.* 2021).

The accumulated energy is evaluated at two instants: at the zero moments of the treatment, which represent 0 W.m⁻², and at 16.5 W.m⁻², when this last value is reached, the experimental process is terminated. An Acadus S50 radiometer with sensitivity throughout the UV range and solar energy as a source of radiation is used for its measurement.

The response variable is related to the TOC measurements at each accumulated energy value for each combination of FeSO₄-H₂O₂ experiments. To monitor the photodegradation of the Carbendazim pesticide by TOC analysis, Shimadzu TOC-5050 analyzers are used, and samples are filtered with a 0.45 μm membrane filter. Aliquots for analysis (30 ml of solution) are taken directly from the feed tank in amber bottles to avoid photodegradation during transport to the laboratory.

The calculation of mineralization is calculated using equation 1.

$$\% \text{ Mineralization} = \frac{mg.L^{-1}_{Initial} - mg.L^{-1}_{Final}}{mg.L^{-1}_{Initial}} \quad \text{equation 1}$$

Where:

% mineralization: percentage of mineralization in each combination FeSO₄-H₂O₂.

mg.L⁻¹_{Initial}: TOC measurement at the accumulated energy of 0 W.m⁻² for each combination FeSO₄-H₂O₂.

mg.L⁻¹_{Final}: TOC measurement at the cumulative energy of 16 W.m⁻² for each combination FeSO₄-H₂O₂.

With the levels of the independent variables, through the statistical tool StatGraphics Centurion XIX, the different randomized combinations are elaborated.

Modeling and analysis. It is proposed to perform a multiple linear regression model taking into account a factorial design 3²: two variables in three levels, as detailed in the initial methodological description. The aim is to determine the influence of the FeSO₄ and H₂O₂ variables on each TOC response using ANOVA analysis, which allows the significance of the influential variables in the process to be determined using a p-value; then the multiple linear regression model is carried out, which results in a mathematical equation that represents the treatment process as a function of the variables studied and allows predictions to be made with an acceptable error. Subsequently, a response surface is elaborated to determine the maximum optimization routes in the process, which can determine the maximum degradation value that could be obtained under the experimental conditions evaluated. This methodological part is carried out with the statistical software RStudio Version 2023.12.1+402.

Model validation was performed using the leave-one-out cross validation (LOOCV) technique, which is ideal for small data sets. In LOOCV, each point in the data set is sequentially excluded as a test set, while the rest is used to train the model. Then, the performance of the model with the excluded point is evaluated. This process is repeated for all points in the data set, ensuring thorough validation. Additionally, the accuracy and precision of the model were evaluated using residual analysis and the ordinary least squares assumption.

The analysis and interpretation of the results are done considering the relevance of the variables studied on the model based on the significance of each one of them and the R² value, specifying the degree of influence of each one of them on the response, in addition, to know the best optimization routes where the response variable is maximized. The correlation between the variables, the distribution of the response variable, and the model fit is analyzed in the model.

RESULTS AND DISCUSSION

The results are described taking into consideration the 4 phases proposed in the methodological design.

Pesticide selection. The pesticide selection phase resulted in the fact that the crops with the largest sowing area in the Department of Valle del Cauca are sugar cane and coffee, as well as those with the highest demand in terms of consumption of these chemical agents. Thus, 5 types were evaluated in terms of toxicity and mobility, selecting Carbendazim fungicide (in its commercial presentation with 500 g.L⁻¹ of active ingredient) as the study pesticide because it is moderately toxic and can move in the environment.

Wastewater and characterization. Two samples from the fumigation equipment washing are provided and analyzed for the characterization parameters defined in the methodological design, as detailed in table 1.

The low BOD₅/COD fraction indicates an important limiting factor of low biodegradability very typical of these wastewaters (Gomes Júnior *et al.* 2021), which justifies the photo-Fenton process as a pretreatment step to reduce the toxic load and improve the effluent conditions. Considering the pH, it is important to

stabilize it to acidic conditions since the AOP is directly affected in terms of iron photoabsorption (Gonçalves *et al.* 2020).

On the other hand, the values of TSS = 931 mg.L⁻¹, Turbidity = 87 nephelometric turbidity units (NTU), and apparent color = 112 platinum cobalt units PCU, generate a limiting factor in the photo-Fenton process due to the high concentration of suspended solids that promote a light scattering effect, which is also reflected in the high color and turbidity of the real water sample (Gomes Júnior *et al.* 2021). The above supports the implementation of synthetic water, prepared by adding 200 ml of a 1:100 dilution of the commercial product to the total treatment volume of 20 L, which represents a working concentration of the fungicide Carbendazim of 50 mg.L⁻¹ (approximately 100 mg.L⁻¹ COD and 20 mg.L⁻¹ TOC) in the treatment process.

Experimental set-up. Table 2 presents the results of 11 experiments for each FeSO₄-H₂O₂ combination with two additional replicates at the center point randomized in the statistical tool StatGraphics Centurion XIX. It should be clarified that the degradation percentages reported for TOC are at the maximum accumulated energy of 16 W.m².

Table 1. Physicochemical characterization of real water.

Parameter	Value	Unit
COD	252	mg.L ⁻¹
DBO ₅	<1	mg.L ⁻¹
pH	6.9	-
TSS	931	mg.L ⁻¹
Turbidity	87	NTU
Apparent Color	112	PCU

Table 2. Homogeneous photocatalysis results.

No.	Catalyst (mg.L ⁻¹ FeSO ₄)	Oxidant (mg.L ⁻¹ H ₂ O ₂)	% Mineralization TOC*
1	41.55	2000	49.9
2	41.55	1050	54.1
3	841.75	1050	62.0
4	442.35	2000	72.0
5	442.35	1050	72.2
6	841.75	100	36.8
7	841.75	2000	73.8
8	442.35	100	49.0
9	41.55	100	43.4
10	442.35	1050	68.7
11	442.35	1050	57.7

*Total organic carbon (TOC).

For the programming of the model, the variables must be coded according to the following information:

$$\text{FeSO}_4 = X_1$$

$$\text{H}_2\text{O}_2 = X_2$$

$$\% \text{ Degradation TOC} = Y$$

Modeling and analysis. A first analysis before starting with the development of the different models is to know the correlation between each independent variable and the associated response. Figure 1 illustrates this correlation by determining that in the case of variable Y the highest correlation is with variable X₂.

With the ANOVA analysis for the response with TOC, the best fit model of the variables is given considering the interaction between FeSO₄ and H₂O₂ (X₁ * X₂) and the quadratic terms of each one of them (X₁², X₂²) with p-values <0.05 which specifies the significance of the terms.

With the ANOVA information, the multiple linear regression model (MLR) is developed for which, the independent variables must be recorded according to their levels: low level = -1, medium level = 0 and high level = 1. Table 3 represents the experiments developed with the recoded variables.

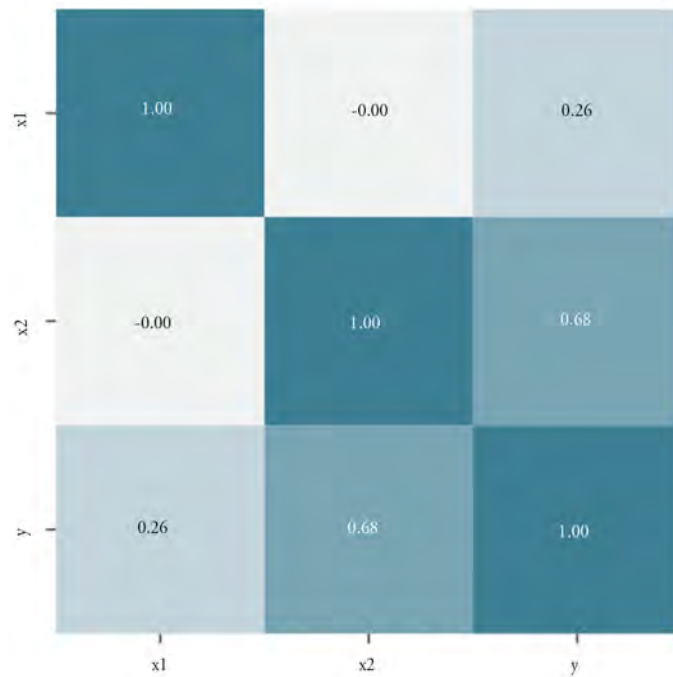


Figure 1. Correlation of variables for total organic carbon TOC.

Table 3. Recoding of variables.

No.	Catalyst (mg.L ⁻¹ FeSO ₄)	Oxidant (mg.L ⁻¹ H ₂ O ₂)
1	-1	1
2	-1	0
3	1	0
4	0	1
5	0	0
6	1	-1
7	1	1
8	0	-1
9	-1	-1
10	0	0
11	0	0

The MLR again specifies the significance of the terms described in the ANOVA with the conditions of p -values < 0.05 and an adjusted R^2 of 0.8547, which determines the relevance of the model. Equation 2 shows the MLR model for the treatment of the synthetic water sample with 50 mg.L^{-1} Carbendazim in a photo-Fenton process, in a range of FeSO_4 from $41.55 - 841.75 \text{ mg.L}^{-1}$ and H_2O_2 from $100 - 2000 \text{ mg.L}^{-1}$, having as response variable the percentage of mineralization in terms of TOC.

$$y_1 = 66.489 + (4.2 * X_1) + (11.083 * X_2) - (8.874 * X_1^2) - (6.424 * X_2^2) + (7.625 X_1 * X_2) \quad \text{equation 2}$$

With the MLR data, the response surface is made for the experimental data, to know graphically the optimal conditions of the process and to see more clearly the behavior of the influential variables in the TOC degradation.

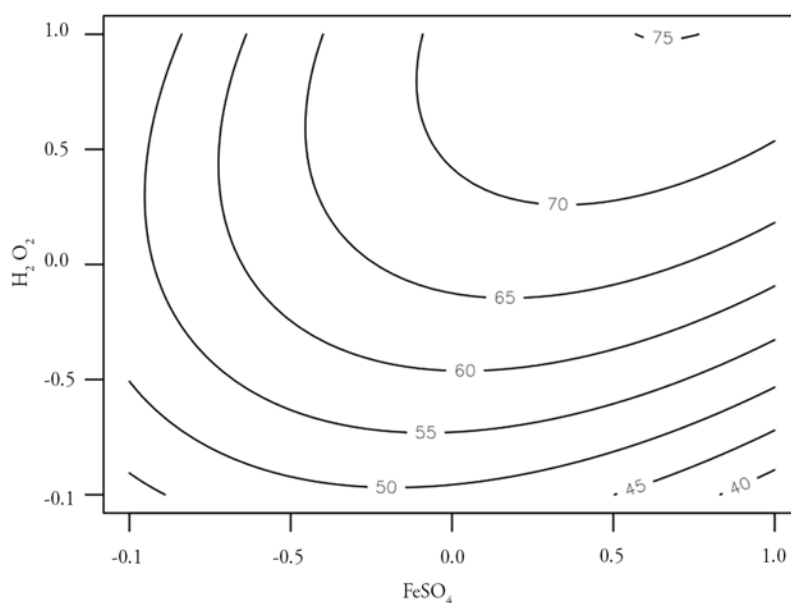


Figure 2. Total organic carbon TOC model response surface.

The canonical path function allows through the MLR model and the response surface, to know the best optimization path of the experimental conditions, resulting in a maximum degradation obtained by the treatment process of 75 % and it is not possible to reach higher values even if the doses of catalyst and oxidizing agent were increased. Furthermore, the function corroborated that these maximum TOC degradations occurred at values close to the high levels of the independent variables.

In the methodology, the LOOCV technique was employed, taking advantage of the entire data to train and test the model, which reduces the bias in estimation compared to other validation techniques. According to Kassambara (2017), the estimated test error will always be constant with LOOCV over the entire data set. The average results show an RMSE of 4.537, R -squared of 0.860, and MAE of 2.869, concluding that the best model fit is the one represented in equation 2. To reinforce the validation of the model, figure 3 shows the pattern followed by the residuals, which was random, without trend or constant variance, and adjusted to a normal distribution, ratifying the ordinary least squares assumptions for the model.

The response surface illustrated in figure 2 shows that the maximum degradation value occurs at the high level of both factors, i.e., for $\text{FeSO}_4 = 841.75 \text{ mg.L}^{-1}$ y $\text{H}_2\text{O}_2 = 2000 \text{ mg.L}^{-1}$ with 75% degradation. This result is consistent with figure 1 which showed the highest correlation between X_2 (H_2O_2) and Y (% TOC degradation) response; this indicates that higher doses of oxidizing agent have higher degradations for this case. However, values close to this same percentage of degradation occur at the medium level of FeSO_4 and high H_2O_2 with 72.2 % and the medium level of FeSO_4 and medium H_2O_2 with 72.0 %. The degradation by TOC is affected as the oxidizing agent conditions decrease.

Several research studies have been conducted regarding the analysis of influencing variables and the optimization of these parameters in Fenton and photo-Fenton processes for the removal of different compounds. For instance, Schenone *et al.* (2015) employed a photo-Fenton process to eliminate the herbicide 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in a solar simulator. They applied a factorial experimental design combined with RSM to evaluate the influence of temperature and peroxide concentration on herbicide degradation. The results demonstrated that herbicide conversions after 180 minutes fit a quadratic model, utilizing multiple linear regression analysis to calculate model coefficients and variance analysis.

On the other hand, Mitsika *et al.* (2013) addressed the removal of the insecticide Acetamiprid using a Fenton process exploring different concentrations of H_2O_2 and Fe^{2+} and employing a central composite design to examine the effects of these concentrations on insecticide degradation kinetics. The results showed a satisfactory fit to a quadratic model and highlighted that an increase in hydrogen peroxide concentration accelerated insecticide degradation kinetics.

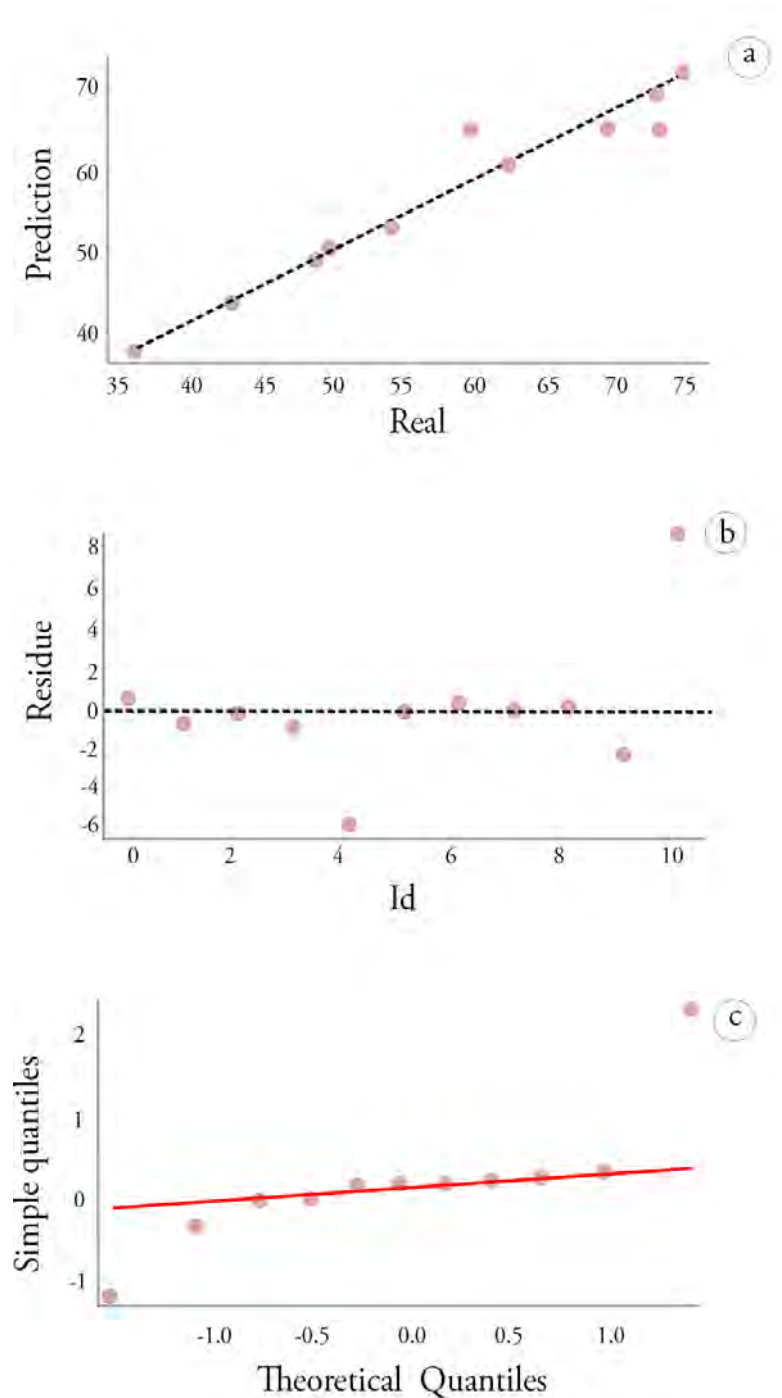


Figure 3. Validation of the total organic carbon TOC model.

Saini & Kumar (2016) investigated the removal of the organophosphate insecticide Chlorpyrifos through a Fenton oxidation process. They used a central composite design based on RSM to study the influence of variables such as initial pH, H_2O_2 , and catalyst concentrations on insecticide removal efficiency. The results indicated that H_2O_2 was a crucial factor in the reaction and that its concentration significantly affected Chlorpyrifos removal efficacy.

As a specific case, Toor *et al.* (2021) studied the removal of TOC and color in pig wastewater using a Fenton process, with prior biological and coagulation-flocculation pretreatments. They employed response surface methodology to optimize $FeSO_4$ and H_2O_2 doses, achieving significant TOC and color removal under optimal conditions. $FeSO_4$ was observed as the most influential factor in TOC removal, while H_2O_2 was crucial for color removal, emphasizing the importance of these parameters in the process.

In summary, the analyzed studies demonstrate the effectiveness of the Fenton process and its variations in removing contaminants such as herbicides, insecticides, and organic compounds in wastewater, underscoring the importance of optimizing operational conditions to achieve greater efficiency in degrading these compounds.

This research modeled the homogeneous photocatalysis process photo-Fenton for the treatment of the synthetic water sample with 50 mg.L⁻¹ Carbendazim in a photo-Fenton process, in a range of FeSO₄ from 41.55 - 841.75 mg.L⁻¹ and H₂O₂ from 100 - 2000 mg.L⁻¹, having as response variable the percentage of mineralization in terms of TOC. The fitting method implemented for the TOC response was multiple linear regression resulting in a model with an adjusted R² = 0.8547. The model was validated using residual analysis, indicating that the errors are independent, follow a normal distribution, and have constant variance. Therefore, the model and the conclusions derived from it are valid.

The comparative analysis conducted in this study reveals a trend towards optimizing operational conditions in Fenton processes to achieve greater efficiency in degrading harmful chemical compounds present in wastewater.

There is a convergence in the use of advanced experimental designs, such as factorial experimental design and RSM, to assess the influence of key variables like H₂O₂ concentration and catalyst concentration (Fe²⁺) on the degradation kinetics of contaminants like herbicides, insecticides, and organic compounds.

The results indicate that increasing H₂O₂ concentration leads to faster degradation kinetics of the studied contaminants, suggesting that hydrogen peroxide plays a crucial role as a limiting reagent in Fenton oxidation processes. Furthermore, the importance of fitting to mathematical models, such as the quadratic model, to adequately describe the kinetics of contaminant elimination is evident, along with the use of central composite designs and quadratic polynomial regression analysis to establish significant relationships between operational variables and contaminant removal efficiency, thus facilitating treatment conditions optimization.

Practically speaking, it is noteworthy that optimizing operational variables like FeSO₄ and H₂O₂ dosage can result in significant contaminant removal, as observed in TOC reduction. These findings underscore the feasibility and effectiveness of Fenton processes and their variations for treating wastewater contaminated with organic and inorganic chemical compounds.

Acknowledgements. This work was supported by the Universidad del Valle, Cali, Colombia. **Conflict of interest:** The authors declare that there are no conflicts of interest. **Author's contributions:** This work was planned, executed, and discussed by all authors in equal contribution.

REFERENCES

- AGUAS, Y.; HINCAPIE, M.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; POLO-LÓPEZ, M.I. 2017. Solar photocatalytic disinfection of agricultural pathogenic fungi (*Curvularia* sp.) in real urban wastewater. *Science of The Total Environment*. 607-608:1213-1224. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.085>
- BADII, M.H.; LANDEROS, J. 2015. Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad. *CULCYT Cultura Científica y Tecnológica*. 19(4).
- DE LA OBRA, I.; PONCE-ROBLES, L.; MIRALLES-CUEVAS, S.; OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ PÉREZ, J. 2017. Microcontaminant removal in secondary effluents by solar photo-Fenton at circumneutral pH in raceway pond reactors. *Catalysis Today*. 287:10-14. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.12.028>
- DONADELLI, J.A.; BERARDOZZI, E.; CARLOS, L.; GARCÍA EINSCHLAG, F.S. 2020. Continuous treatment of an azo dye based on a combined ZVI/Photo-Fenton setup. Process modelling by response surface methodology. *Journal of Water Process Engineering*. 37:101480. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101480>
- ESTEBAN GARCÍA, B.; RIVAS, G.; ARZATE, S.; SÁNCHEZ PÉREZ, J.A. 2018. Wild bacteria inactivation in WWTP secondary effluents by solar Photo-Fenton at neutral pH in raceway pond reactors. *Catalysis Today*. 313:72-78. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.10.031>
- GOJUN, M.; LJUBIĆ, A.; BAČIĆ, M.; JURINJAK TUŠEK, A.; ŠALIĆ, A.; ZELIĆ, B. 2021. Model-to-model: Comparison of mathematical process models of lipase catalysed biodiesel production in a microreactor. *Computers & Chemical Engineering*. 145:107200. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.107200>
- GOMES JÚNIOR, O.; SANTOS, M.G.B.; NOSSOL, A.B.S.; STARLING, M.C.V.M.; TROVÓ, A.G. 2021. Decontamination and toxicity removal of an industrial effluent containing pesticides via multistage treatment: Coagulation-flocculation-settling and Photo-Fenton process. *Process Safety and Environmental Protection*. 147:674-683. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.021>
- GONÇALVES, B.R.; GUIMARÃES, R.O.; BATISTA, L.L.; UEIRA-VIEIRA, C.; STARLING, M.C.V.M.; TROVÓ, A.G. 2020. Reducing toxicity and antimicrobial activity of a pesticide mixture via Photo-Fenton in different aqueous matrices using iron complexes. *Science of The Total Environment*. 740:140152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140152>

- KASSAMBARA, A. 2017. Machine learning essentials: Practical guide in R. 1st ed. Volume 1. STHDA. 30p.
- KUSIC, H.; KOPRIVANAC, N.; HORVAT, S.; BAKIJA, S.; BOZIC, A.L. 2009. Modeling dye degradation kinetic using dark- and Photo-Fenton type processes. *Chemical Engineering Journal*. 155(1-2):144-154. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.07.029>
- LIBERATORE, L.; BRESSAN, M.; BELLI, C.; LUSTRATO, G.; RANALLI, G. 2012. Chemical and biological combined treatments for the removal of pesticides from wastewaters. *Water, Air, and Soil Pollution*. 223(8):4751-4759. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1230-5>
- LIPPS, W.C.; BRAUN-HOWLAND, E.B.; BAXTER, T.E. 2022. Standard methods for the examination of water and wastewater. American 24th edition. Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. p.1516
- LÓPEZ-VINENT, N.; CRUZ-ALCALDE, A.; GIMÉNEZ, J.; ESPLUGAS, S.; SANS, C. 2021. Improvement of the Photo-Fenton process at natural condition of pH using organic fertilizers mixtures: Potential application to agricultural reuse of wastewater. *Applied Catalysis B: Environmental*. 290:120066. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120066>
- MITSIKA, E.E.; CHRISTOPHORIDIS, C.; FYTIANOS, K. 2013. Fenton and Fenton-like oxidation of pesticide acetamiprid in water samples: Kinetic study of the degradation and optimization using response surface methodology. *Chemosphere*. 93(9):1818-1825. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.033>
- PRETE, P.; FIORENTINO, A.; RIZZO, L.; PROTO, A.; CUCCINIELLO, R. 2021. Review of aminopolycarboxylic acids-based metal complexes application to water and wastewater treatment by (Photo-)Fenton process at neutral pH. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 28:100451. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100451>
- SANNINO, D.; VAIANO, V.; CIAMBELLI, P.; ISUPOVA, L.A. 2013. Mathematical modelling of the heterogeneous Photo-Fenton oxidation of acetic acid on structured catalysts. *Chemical Engineering Journal*. 224:53-58. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.01.078>
- SERRA-CLUSELLAS, A.; DE ANGELIS, L.; LIN, C.-H.; VO, P.; BAYATI, M.; SUMNER, L.; LEI, Z.; AMARAL, N.B.; BERTINI, L.M.; MAZZA, J.; PIZZIO, L.R.; STRIPEIKIS, J.D.; RENGIFO-HERRERA, J.A.; FIDALGO DE CORTALEZZI, M.M. 2018. Abatement of 2,4-D by H₂O₂ solar photolysis and solar Photo-Fenton-like process with minute Fe(III) concentrations. *Water Research*. 144:572-580. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.072>
- SGROI, M.; SNYDER, S.A.; ROCCARO, P. 2020. Comparison of AOPs at pilot scale: Energy costs for micro-pollutants oxidation, disinfection by-products formation and pathogens inactivation. *Chemosphere*. 128527. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128527>
- SUN, S.; SIDHU, V.; RONG, Y.; ZHENG, Y. 2018. Pesticide Pollution in Agricultural Soils and Sustainable Remediation Methods: a Review. *Current Pollution Reports*. 4(3):240-250. <https://doi.org/10.1007/s40726-018-0092-x>
- SAINI, R.; KUMAR, P. 2016. Optimization of chlorpyrifos degradation by Fenton oxidation using CCD and ANFIS computing technique. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 4(3):2952-2963. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.06.003>
- SCHENONE, A.V.; CONTE, L.O.; BOTTA, M.A.; ALFANO, O.M. 2015. Modeling and optimization of photo-Fenton degradation of 2,4-D using ferrioxalate complex and response surface methodology (RSM). *Journal of Environmental Management*. 155:177-183. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.028>
- TALWAR, S.; VERMA, A.K.; SANGAL, V.K. 2019. Modeling and optimization of fixed mode dual effect (Photocatalysis and Photo-Fenton) assisted Metronidazole degradation using ANN coupled with genetic algorithm. *Journal of Environmental Management*. 250:109428. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109428>
- TOOR, U.A.; DUONG, T.T.; KO, S.Y.; HUSSAIN, F.; OH, S.E. 2021. Optimization of Fenton process for removing TOC and color from swine wastewater using response surface method (RSM). *Journal of Environmental Management*. 279:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111625>
- VAGI, M.C.; PETSAS, A.S. 2019. Recent advances on the removal of priority organochlorine and organophosphorus biorecalcitrant pesticides defied by Directive 2013/39/EU from environmental matrices by using advanced oxidation processes: An overview (2007-2018). *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 8(1):102940. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.102940>

Obtención de celulasas bacterianas usando residuos orgánicos generados en plazas de mercado

Bacterial cellulases obtention from organic wastes generated in marketplaces

Etna Milena Sánchez-Castelblanco^{1*} ; Juan Pablo Heredia-Martín¹ 

¹Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Regional Distrito Capital, Centro de Gestión Industrial. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: esanchezc@sena.edu.co; jpheredia@misena.edu.co

*autor de correspondencia: esanchezc@sena.edu.co

Cómo citar: Sánchez-Castelblanco, E.M.; Heredia-Martín, J.P. 2024. Obtención de celulasas bacterianas usando residuos orgánicos generados en plazas de mercado. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2264. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2264>

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 en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

Recibido: abril 12 de 2022

Aceptado: mayo 16 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Los residuos agrícolas son una fuente de celulosa que puede ser aprovechada para producir enzimas hidrolíticas, como las celulasas, mediante acción microbiana. Estas celulasas son utilizadas en procesos extractivos de biomoléculas, en la producción de biogás, en la industria textil, detergente, alimentaria y del papel. El propósito del estudio es la obtención de celulasas bacterianas utilizando residuos orgánicos, generados en plazas de mercado. Se realizaron dos medios de cultivo (A1 y A2), a partir de ameros de mazorca y cáscaras de leguminosas, ajustando el pH del medio A1 a 7,0 y el de A2 a 5,0. Los medios fueron fermentados por 75 horas, mediante la cepa bacteriana C6M2, aislada de residuos de plazas de mercado, monitoreando la actividad enzimática, la concentración de azúcares reductores y la celulosa residual. La máxima actividad celulolítica se logró a las 56 horas de fermentación en A1 y a las 32 horas, en A2. El extracto enzimático se precipitó, dializó y ultrafiltró, obteniendo una actividad final de $9,07 \pm 0,48$ U/mL. Los ameros y las cáscaras de leguminosa se pueden aprovechar como sustratos en la producción de celulasas, con posibles aplicaciones en procesos donde requieran bajos grados de pureza.

Palabras clave: Actividad celulolítica; Actividad enzimática; Celulasas bacterianas; Enzimas bacterianas; Residuos agrícolas.

ABSTRACT

Agricultural wastes are a source of cellulose that could be used to produce hydrolytic enzymes such as cellulases by microbial action. Cellulases are used in the extractive process of biomolecules, in biogas production, textile, detergent, food, and paper industry. The study purpose is the obtention of bacterial cellulases using organic wastes generated in marketplaces. Two culture media were done (A1 and A2) with corn cob leaves and legume seed pods adjusting the A1 medium pH at 7.0 and the A2 pH at 5.0. The media were fermented for 75 hours by the bacterial strain C6M2, isolated from marketplace wastes, and the enzyme activity, reducing sugar concentration, and residual cellulose were monitored. The maximum cellulolytic activity was obtained at 56 hours of fermentation in A1 and in A2 it was at 32 hours. The enzyme extract was precipitated, dialyzed and ultra-filtrated obtaining a final activity of 9.07 ± 0.48 U/mL. The corn cob leaves and legume seed pods can be used as substrates in the production of cellulases which might be applied in processes with low requirements of enzyme purity.

Keywords: Agriculture wastes; Bacterial cellulases; Bacterial enzymes; Cellulolytic activity; Enzyme activity.

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos es una problemática, a nivel mundial, que viene aumentando (Mojumdar & Deka, 2019) y que, a su vez, impulsa la creación de múltiples estrategias para su valorización en procesos de reciclaje, compostaje o de producción de energía (Matei *et al.* 2021). Debido a que los residuos agroindustriales representan una fuente importante de lignina, celulosa, almidón y otros polímeros, son utilizados como materia prima para el desarrollo de productos obtenidos a partir de su biodegradación, como bioetanol, biogás, bioabonos, sustancias bioactivas y ácidos orgánicos (Speda *et al.* 2017; Carrillo-Nieves *et al.* 2019; Halimah *et al.* 2019; Mazzoli, 2021; Lemes *et al.* 2022).

Los residuos agrícolas y agroindustriales se consideran sustratos de bajo costo en la producción de enzimas microbianas, aprovechando su composición química, disminuyendo costos de producción y minimizando los impactos ambientales asociados. Residuos, como el bagazo de caña de azúcar, las cáscaras de naranja, la cascarilla de arroz, el salvado de trigo y el raquis de maíz, se emplean en la producción de enzimas, como amilasas, pectinasas, ligninasas, proteasas y celulasas (Poondla *et al.* 2016; Akpinar & Urek, 2017).

Las celulasas son un complejo de enzimas conformado por endoglucanasas, exoglucanasas y β - glucosidasas, que catalizan la hidrólisis de los enlaces β 1-4 de la celulosa, produciendo monómeros de glucosa (Miranda Zoppas *et al.* 2013). Esta actividad catalítica es aprovechada, tanto en la producción de bioetanol y jarabes de glucosa a partir de material lignocelulósico como en la extracción de jugos de frutas y aceites de semillas. Asimismo, en la industria detergente, textil y del papel estas enzimas son aplicadas para mejorar la calidad de los productos, reduciendo el tiempo y el uso de energía en los procesos de fabricación (Miranda Zoppas *et al.* 2013; Muhammad *et al.* 2016; Niyonzima, 2021).

A pesar de las diversas aplicaciones y beneficios de las enzimas tienen un uso limitado, debido a sus elevados precios, ocasionados por los costos de producción, representados en los procesos de fermentación y de purificación (Ravindran *et al.* 2018). La producción de celulasas a partir de residuos agroindustriales permitiría disminuir los costos de producción, ampliando las oportunidades de aplicación, a nivel industrial, sobre todo en países en desarrollo, como Colombia.

Teniendo en cuenta que existe un bajo aprovechamiento de residuos orgánicos generados en las plazas de mercado y que se limita a la producción de compost, vermicompost, biogás y alimento para animales (Civelek Yoruklu *et al.* 2018; Das *et al.* 2018; Saranraj *et al.* 2018), se propone la obtención de celulasas bacterianas a partir de los residuos agrícolas, generados en las plazas de mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración del medio de cultivo. A partir de ameros de mazorca y vainas de leguminosas recolectadas en el cuarto de almacenamiento de residuos de la plaza Distrital de mercado El Restrepo, en Bogotá, se realizaron dos medios de cultivo para la producción de celulasas.

Para cada medio se pesaron 14,5 g de residuos lavados, troceados, deshidratados y licuados, con un contenido de celulosa de $35,3 \pm 0,7$ %, previamente determinado (Sánchez-Castelblanco & Heredia-Martín, 2022). Estos se suspendieron en 450 mL de una solución de nutrientes ((NH₄)₂SO₄ 0,31 g/L; KH₂PO₄ 1,5 g/L; UREA 0,065 g/L; CaCl₂·2H₂O 0,4 g/L; MgSO₄ 0,3 g/L; Peptona 0,168 g/L), obteniendo una concentración final de 1 % de celulosa. A un medio, se le ajustó el pH a 7,0 (Medio A1), con NaOH 1M y, al otro, se le dejó su pH inicial de 5,0 (Medio A2). Los medios se llevaron a esterilización, a 115 °C, por 7 minutos.

Producción del inóculo microbiano. Para la producción de los inóculos se utilizó la cepa C6M2, correspondiente a una bacteria celulolítica Gram negativa de la familia Enterobacteriaceae, previamente aislada de residuos orgánicos, generados en la plaza Distrital de mercado El Restrepo. En 150 mL de caldo BHI se adicionaron 2 mL de la cepa ultracongelada, se incubó en un shaker INNOVA 40, a 37 °C y 100 rpm, por 18 horas. A partir de este cultivo se prepararon 2 inóculos de 50 mL, con una concentración correspondiente al tubo N° 3, de la escala de McFarland.

Fermentación. Para la producción de celulasas microbianas se realizó una fermentación en el Medio A1 y otra en el Medio A2, a partir de la cepa C6M2. A 450 mL de medio se le adicionaron 50 mL del inóculo y se incubaron en shaker INNOVA 40, a 37 °C y 150 rpm, por 75 horas. Se tomaron muestras de 4 mL a las 0, 24, 32, 48, 56, 60, 72 y 75 horas, para determinar azúcares reductores (AR), concentración bacteriana, actividad enzimática (AE) y celulosa residual.

Determinación de azúcares reductores en el medio. Las muestras se llevaron a una centrifuga Hettich – Rotanta 460R, a 4.500 rpm y 7 °C, por 30 minutos. El sobrenadante se recuperó y se utilizaron 500 μ L, para determinar AR, por la técnica del ácido 3-5 dinitrosalicílico (DNS), según Olanbiwoninu & Fasiku (2015). La absorbancia de las muestras se leyó a 540 nm, utilizando un lector de multimicroplacas marca BIOTEK – SYNERGY H1MG.

Determinación de la concentración bacteriana. Para verificar la viabilidad y la concentración bacteriana se tomaron muestras a las 0, 24, 32, 48 y 56 horas de la fermentación; se sembraron en agar Plate Count Merck®, por la técnica de recuento en placa en superficie y se llevaron a incubar a 37 °C, por 24 horas.

Evaluación de la actividad enzimática. Las muestras provenientes de la fermentación fueron centrifugadas a 4.500 rpm y 7 °C, por 30 minutos, en una centrifuga Hettich – Rotanta 460R; luego, en un microtubo, se tomaron 750 μ L de sobrenadante (extracto enzimático) y se mezclaron con 750 μ L, de una solución de carboximetilcelulosa (CMC), al 1 %p/v, en una solución buffer fosfato, para determinar la AE a pH 7,0 y para evaluarla, a pH 5,0, se utilizó una solución de CMC al 1 %p/v, en buffer citrato. Los tubos se llevaron a baño termostático marca Memmert, a 50 °C, por 30 minutos; después se detuvo la reacción enzimática en un baño de hielo por 5 minutos y se llevaron a centrifugar a 5.000 rpm, 20 minutos y 7 °C, en una centrifuga Benchmark Z326K.

En 500 μL de sobrenadante se cuantificaron los AR producidos durante la reacción enzimática, por la técnica descrita en el ítem de la determinación de AR. Para calcular la AE, a las absorbancias de las muestras, se les restó la absorbancia del punto 0 de la curva de calibración de glucosa y la de un blanco realizado con 750 μL del extracto enzimático más 750 μL de buffer fosfato o citrato, sometido a las mismas condiciones de la reacción enzimática. La AE se definió como la cantidad de enzima capaz de liberar un μmol de glucosa por mL por minuto, bajo las condiciones de ensayo establecidas. Las reacciones enzimáticas y la determinación de AR se realizaron por triplicado.

Obtención de extractos de celulasas. Después de las 75 horas de fermentación, los cultivos se centrifugaron a 4.500 rpm y 7 °C, por 30 minutos, en una centrifuga Hettich – Rotanta 460. La biomasa se preservó para cuantificar la celulosa residual, mientras que el sobrenadante (extracto enzimático de celulasas), se prefiltró en una membrana de 0,45 μm y, posteriormente, se determinó su AE.

Determinación de celulosa residual. La concentración de celulosa residual se determinó a las 60 y 75 horas de la fermentación realizada en el medio. 150 mL de muestra se centrifugaron a 4.500 rpm y 7 °C, por 30 minutos, en una centrifuga Hettich – Rotanta 460; el pellet obtenido y deshidratado, en horno Binder FED 115, a 90 °C, por 8 a 12 horas; se digirió en medio alcalino por reflujo abierto, con una solución de NaOH 17,5 %, por 2 horas. Después de neutralizar con HCl concentrado, se centrifugó a 4.500 rpm, 7 °C y 20 minutos, en una centrifuga Hettich – Rotanta 460R; se filtró al vacío y se llevó a 105 °C, hasta peso constante, para determinar el contenido de celulosa gravimétricamente (Kulic & Radojičić, 2011).

Precipitación con sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. La precipitación de la enzima se realizó con un porcentaje de saturación del 80 % de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (JT Baker 99,9 %). A 180 mL del extracto de celulasas prefiltrado se le adicionaron lentamente 95,91 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y se dejó en agitación a 4 °C, durante 18 horas, aproximadamente.

Diálisis. La muestra precipitada con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ se centrifugó por 15 minutos, a 8.000 xg y 7 °C, en una centrifuga Benchmark Z326K. El pellet fue resuspendido en buffer TRIS-HCl pH 8,0; posteriormente, se llevó a diálisis en una membrana de 12 a 14 MWCO (kDa), en buffer TRIS-HCl pH 8,0, se dejó en agitación a 4 °C, por 48 horas y, finalmente, se determinó la AE.

Ultrafiltración. El extracto de celulasas dializado se filtró utilizando una membrana de 0,22 μm ; al filtrado se le determinó la AE y se pasó a través de un cassette de ultrafiltración SARTORIUS VIVAFLOW 200, de 30.000 MWCO (Da). La AE de las celulasas se evaluó en el concentrado obtenido en la ultrafiltración.

Análisis estadístico. Las diferencias significativas entre las actividades enzimáticas evaluadas en los extractos enzimáticos de los medios A1 y A2 a pH 5,0 y 7,0 fueron determinadas, a través de un análisis de varianza (ANOVA), de un factor con un nivel de significancia (α) de 0,05, considerando diferencias significativas

para $p < 0,46$. Estas diferencias entre la variabilidad de las medias se comprobaron por la prueba estadística de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 1 y 2 se presentan los resultados de la producción de celulasas a partir de la cepa bacteriana nativa C6M2, aislada de residuos vegetales, generados en una plaza de mercado, utilizando medios de cultivo preparados con ameros de mazorca y con cáscaras de leguminosas, con una concentración final de celulosa al 1 %.

Los AR presentes en el medio A1, con una concentración inicial de $0,81 \pm 0,02$ mg/mL (Hora 0), presentaron un descenso considerable, a partir de las 24 las 32 horas de fermentación ($0,34 \pm 0,02$ y $0,28 \pm 0,01$ mg/mL); sin embargo, no se presentaron concentraciones inferiores a $0,28 \pm 0,01$ mg/mL y en ocasiones hubo aumentos de AR, como el caso de la hora 72 ($0,96 \pm 0,02$ mg/mL). Dichos cambios en la concentración se pueden explicar por el consumo de carbohidratos por parte de las bacterias, seguida por la continua hidrólisis de la celulosa, cuando los AR no estaban disponibles para su metabolismo. Es, por esta razón, que se presentaron dos picos de producción de celulasas, uno a la hora 32, con actividades de $25,56 \pm 2,20$ U/mL a pH 5,0 y $27,78 \pm 0,06$ U/mL a pH 7,0 y, otro, a la hora 56, con $24,07 \pm 1,41$ U/mL a pH 5,0 y $30,19 \pm 0,61$ U/mL a pH 7,0 (Figura 1).

La obtención de celulasas y la concentración de AR en el medio A2 tuvo un comportamiento similar al presentado en el medio A1, en el que también se presentaron dos picos de producción a las mismas horas de fermentación, lográndose la mayor producción a las 32 horas ($30,74 \pm 0,95$ U/mL a pH 7,0); sin embargo, en A2 el segundo pico (56 horas) presentó menor AE, a pH 7,0 ($18,15 \pm 0,73$ U/mL) y cuando la AE se evaluó a pH 5,0, este pico no se evidenció. Adicionalmente, la AE registrada en las dos horas consecutivas a estos picos de actividad (60 y 72) tuvieron valores similares, entre ellas, de $11,85 \pm 0,01$ a $14,63 \pm 0,73$ U/mL. Respecto a la concentración inicial de AR en la fermentación del medio A2 ($0,74 \pm 0,02$ mg/mL), se evidenció una disminución a partir de la hora 24 ($0,40 \pm 0,01$ mg/mL) hasta la hora 48 ($0,24 \pm 0,01$ mg/mL) (Figura 2).

Aunque los tiempos de máxima producción de celulasas son diferentes en los medios A1 (H56) y A2 (H32), las AE obtenidas en estos tiempos no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el análisis de varianza de un factor (p valor = 0,49). Esto indica, que se obtienen AE similares realizando la fermentación, tanto a pH 5,0 como a pH 7,0. La utilización del medio A2 evitaría el uso de bases para ajustar el pH y la utilización del medio A1 permitiría la producción de celulasas en dos tiempos de la fermentación, con AE de $27,78 \pm 0,06$ U/mL y $30,19 \pm 0,61$ U/mL.

Durante la fermentación de los medios formulados con ameros de mazorca y cáscaras de leguminosas, la obtención máxima de celulasas se observó en dos momentos, cada uno de estos fue precedido por una reducción en esta producción. De la misma forma, Sharma & Kaur (2019) evidenciaron incrementos y descensos consecutivos

en la producción de celulasas, a partir de la fermentación de residuos sólidos agrícolas durante 7 días de cultivo. Es así como, por ejemplo, durante la fermentación de salvado de arroz y trigo,

a partir de *Staphylococcus* sp., se observaron dos picos de actividad máxima en los días 1 y 3.

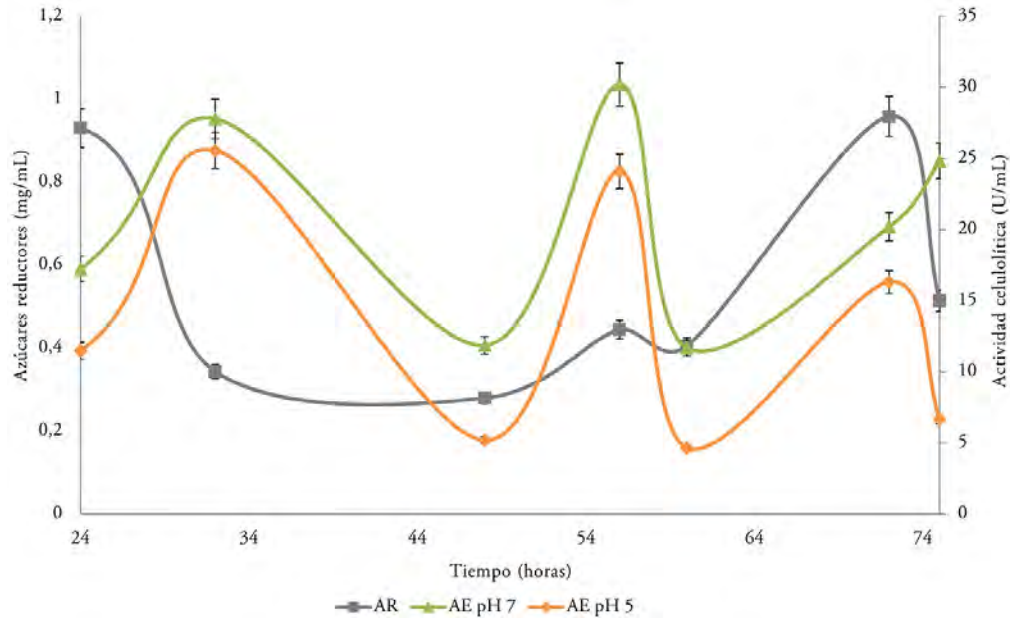


Figura 1. Concentración de azúcares reductores (AR) y actividad enzimática (AE), a 50 °C, a pH 5,0 y 7,0, durante la fermentación del Medio A1, a pH 7.0.

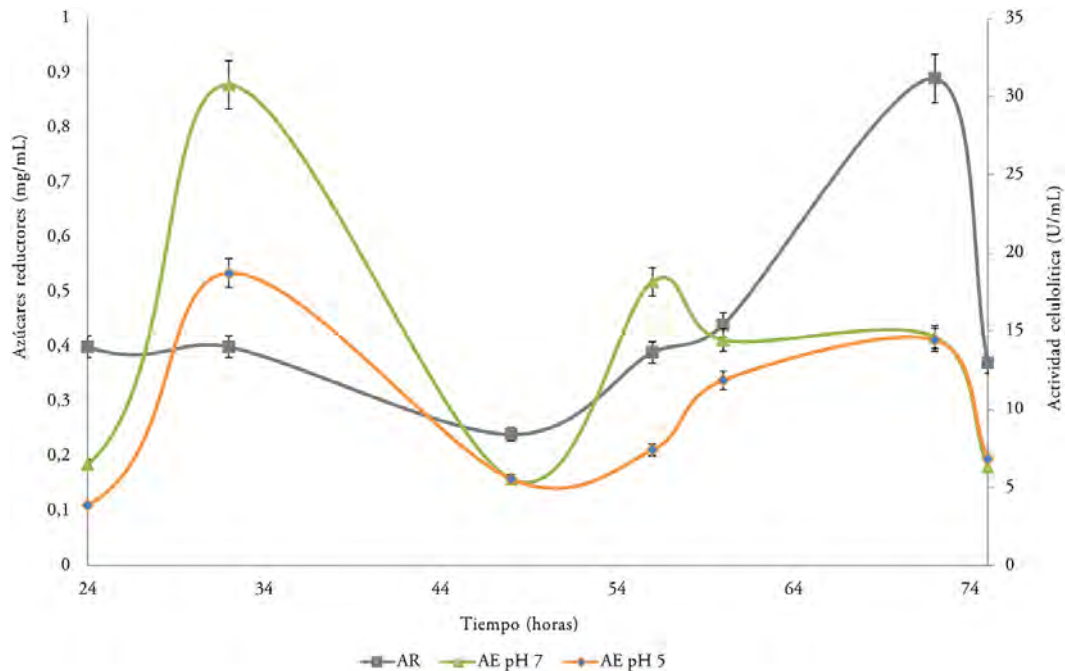


Figura 2. Concentración de azúcares reductores (AR) y actividad enzimática (AE), a 50 °C, a pH 5,0 y 7,0, durante la fermentación del Medio A2, a pH 5,0.

En la fermentación del medio A2, los dos picos de producción de celulasas se registraron durante la fase estacionaria del crecimiento bacteriano, mientras que en el medio A1, el primer pico ocurrió durante esta fase; el segundo, se presentó junto con una disminución de las UFC/mL (Figura 3). De manera similar, las celulasas producidas por *B. licheniformis* 2D55, en una mezcla de residuos agroindustriales, obtuvieron la máxima producción de FPasa y CMCasa, en la fase estacionaria y de xilanas, en la fase de muerte (Kazeem *et al.* 2017).

La presencia de dos picos de producción de celulasas, a partir de residuos agrícolas, facilitaría el paso desde una fermentación discontinua, como la realizada en este estudio, a una discontinua alimentada en el que se realicen procesos de recuperación y separación de las enzimas, en los tiempos en los que se observen aumentos en la AE.

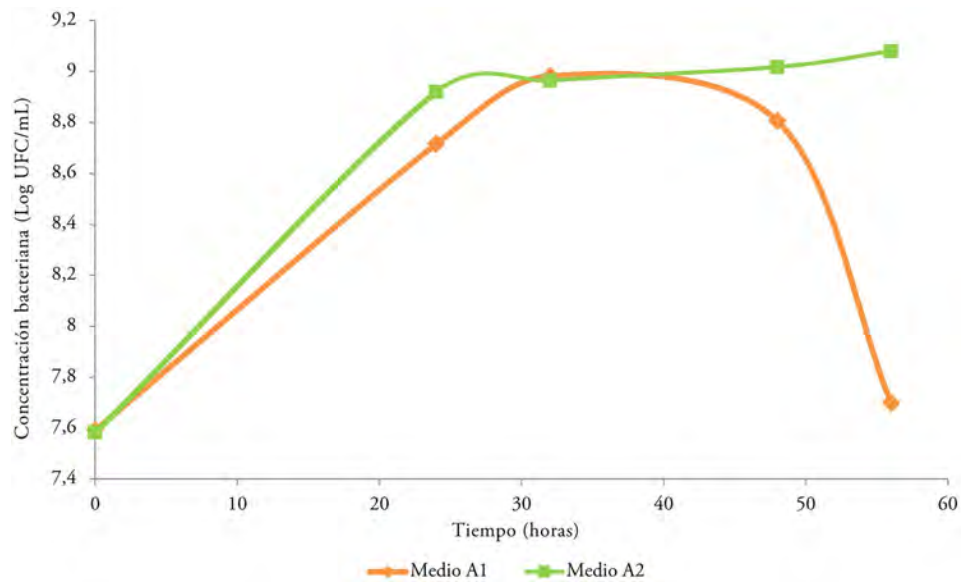


Figura 3. Concentración bacteriana de las 0 a las 56 horas de fermentación.

Las celulasas producidas en ambos medios de cultivo presentaron mayores AE cuando la reacción se realizó a pH 7,0 (Figuras 1 y 2), evidenciándose que presentan una mejor actividad que a pH 5,0. Estos resultados coinciden con los publicados para las celulasas producidas por *B. licheniformis* MTCC429, a partir de residuos agroindustriales (Bala Kumaran *et al.* 2015), por las obtenidas por *Pseudomonas* sp. y *Serratia* sp., aisladas de residuos de salvado de trigo (Prabesh *et al.* 2016) y para la producida a partir de *Acinetobacter junii* GAC 16.2 (Banerjee *et al.* 2020).

La producción de celulasas en medios a partir de ameros de mazorca y de cáscaras de leguminosas fueron mayores a las producidas en medios estándar en las que se utilizaron medios formulados a partir de CMC. Nagaiah *et al.* (2015) obtuvieron la máxima actividad de celulasas por *Enhydrobacter* sp. (ACCA2), de 3,50 U/mL; luego de 3 días de fermentación, Farjana & Narayan (2018) lograron una producción de 1,00 U/mL, a partir de *Paenibacillus* sp., a las 24 horas de cultivo y Prabesh *et al.* (2016), obtuvieron celulasas de 0,35 U/mL, usando *Pseudomonas* spp. (PA2).

Los medios A1 y A2 permiten la producción de celulasas a partir de la cepa C6M2 obteniendo actividades de $30,19 \pm 0,61$ U/mL y

$30,74 \pm 0,95$ U/mL, que son superiores a las producidas en otros sustratos formulados con residuos agroindustriales. Es así, como las celulasas producidas por *B. licheniformis* 2D55, en un medio preparado con cáscaras de arroz y bagazo de caña, obtuvieron una actividad CMCasa 0,38 U/mL (Kazeem *et al.* 2017) y otro estudio reportó 0,50 U/mL, para celulasas obtenidas en un caldo CMC con un hidrolizado de bagazo de caña al 5 %, a partir de *B. licheniformis* MTCC 429 (Bala Kumaran *et al.* 2015).

En la tabla 1, se evidencia que el 60 % de la celulosa fue consumida por C6M2 durante las primeras 60 horas de la fermentación, período de tiempo, dentro del cual, se obtuvieron los dos picos de producción de celulasas (Figura 1). En las 15 horas subsiguientes se presentó un consumo de 5 % de celulosa que, a su vez, correspondió con un aumento en la producción de celulosa de 13,14 U/mL. La disponibilidad de celulosa en el medio, la AE y la concentración bacteriana deberían condicionar la parada de la fermentación, por ello, el porcentaje de celulosa residual en el medio se debería medir de manera continua e incluirse como variable de control en la optimización del proceso de producción de celulasas.

Tabla 1. Celulosa residual a las 60 y 75 horas de fermentación en el Medio A1.

Hora de fermentación	% de celulosa en base seca en los residuos	% celulosa en el medio A1
0	35,71	1,00
60	14,46	0,40
75	12,50	0,35

Las celulasas obtenidas a las 75 horas de fermentación en el medio A1 fueron recuperadas por centrifugación seguida de una filtración; posteriormente, estas se purificaron en tres pasos, obteniendo, al final, una reducción aproximada en la AE de 72,9 % (Tabla 2). Cuando las celulasas producidas se pretendan utilizar en industrias, como las de bebidas y alimentos, será necesario mejorar el proceso de purificación, considerando la inclusión de pasos adicionales y,

de esta forma, lograr rendimientos similares a los obtenidos por Yin *et al.* (2010), Yassien *et al.* (2014) y Farjana & Narayan (2018), en la purificación de celulasas. De lo contrario, es conveniente utilizar el extracto crudo filtrado sin realizar procesos adicionales de purificación en aplicaciones que no requieran altos grados de pureza, como por ejemplo, la hidrólisis enzimática de residuos en procesos de extracción de biomoléculas.

Tabla 2. Purificación parcial de celulasas obtenidas por fermentación en el medio A1.

Pasos de purificación	U/mL	Rendimiento %
Extracto crudo filtrado	33,47 ± 0,99	100,00
Precipitación con (NH ₄) ₂ SO ₄	12,69 ± 0,54	37,91
Diálisis	12,15 ± 0,58	36,30
Ultrafiltración	9,07 ± 0,48	27,10

Se concluye, que los medios formulados con ameros de mazorca y de cáscaras de leguminosas permitieron la obtención de celulasas, mediante una fermentación sumergida a partir de la cepa bacteriana C6M2, aislada previamente de residuos orgánicos, generados en plazas de mercado, lográndose dos picos de máxima producción de enzimas con mejores actividades a las reportadas en estudios previos, en los que también se utilizaron residuos agroindustriales como sustrato.

En la fermentación realizada en los medios a pH 5,0 (A2), como a pH 7,0 (A1), se obtuvieron valores similares de AE, aunque en este último, se debe prolongar el tiempo de fermentación para lograr la máxima producción de celulasas.

Indistintamente del pH en el que se hayan producido las celulasas, estas presentaron mayor actividad cuando la reacción enzimática se realizó a pH 7,0, por lo que se evidencia que las enzimas producidas en este estudio son más activas a este pH.

Aunque el proceso de purificación (precipitación, diálisis y ultrafiltración) de las celulasas obtenidas a partir de residuos agrícolas requiere ser mejorado para obtener mayores rendimientos del proceso, en este estudio, se demuestra que los residuos generados en plazas de mercado, como los ameros de mazorca y cáscaras de leguminosas, son una fuente de celulosa con potencial de aprovechamiento en la formulación de sustratos para la obtención de enzimas celulolíticas, reduciendo costos de producción.

Agradecimientos. Los autores agradecen a SENNOVA, al Instituto Para la Economía Social IPES, a los directivos, aprendices semilleristas del grupo BioTec y técnicos de laboratorio del Centro de Gestión Industrial CGI – SENA. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por SENNOVA del Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. **Contribución de los autores:** Etna Milena Sánchez-Castelblanco y Juan Pablo Heredia-Martín: conceptualización, investigación, curaduría de datos y análisis formal.

REFERENCIAS

- AKPINAR, M.; UREK, R. 2017. Peach and cherry agroindustrial wastes: new and economic sources for the production of lignocellulolytic enzymes. *Acta chimica Slovenica*. 64:422-430. <https://doi.org/10.17344/acsi.2017.3265>
- BALA KUMARAN, M.; KALAICHELVAN, P.; SANTHI, R. 2015. Exploitation of agro-industrial wastes as substrates for cellulase production by bacillus licheniformis MTCC 429. *Microbiology Journal*. 5(2):36-42. <https://doi.org/10.3923/mj.2015.36.42>
- BANERJEE, S.; KANTI MAITI, T.; NARAYAN ROY, R. 2020. Production, purification, and characterization of cellulase from *Acinetobacter junii* GAC 16.2, a novel cellulolytic gut isolate of *Gryllotalpa africana*, and its effects on cotton fiber and sawdust. *Annals of Microbiology*. 70(28):1-16. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01569-6>
- CARRILLO-NIEVES, D.; ROSTRO ALANÍS, M.; DE LA CRUZ QUIROZ, R.; RUIZ, H.; IQBAL, H.; PARRA-SALDÍVAR, R. 2019. Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 102:63-74. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.031>
- CIVELEK YORUKLU, H.; KORKMAZ, E.; MANAV DEMIR, N.; OZKAYA, B.; DEMIR, A. 2018. The impact of pretreatment and inoculum to substrate ratio on methane potential of organic wastes from various origins. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 20:800-809. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0641-1>
- DAS, N.G.; HUQUE, K.S.; AMANULLAH, S.M.; HARMAPURI, S.D.; MAKKAR, H.P. 2018. Study of chemical composition and nutritional values of vegetable wastes in Bangladesh. *Veterinary and Animal Science*. 5:31-37. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2018.02.003>

- FARJANA, I.; NARAYAN, R. 2018. Screening, purification and characterization of cellulase from cellulase producing bacteria in molasses. *BMC Research Notes*. 11(445):1-6. <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3558-4>
- HALIMAH, N.; BAKTIR, A.; PURKAN, P. 2019. Exploration of Cellulolytic Microorganism as A Biocatalyst Candidate for Liquid Fertilizer Production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 217(1):1-10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/217/1/012021>
- KAZEEM, M.; SHAH, U.; BAHARUDDIN, A. 2017. Prospecting agro-waste cocktail: supplementation for cellulase production by a newly isolated thermophilic *B. licheniformis* 2D55. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 182:1318-1340. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2401-z>
- KULIC, G.; RADOJIČIĆ, V. 2011. Analysis of cellulose content in stalks and leaves of large leaf tobacco. *Journal of Agricultural Sciences*. 56:207-215. <https://doi.org/10.2298/JAS1103207K>
- LEMES, A.; EGEA, M.; OLIVEIRA, J.; GAUTÉRIO, G.; RIBEIRO, B.; COELHO, M. 2022. Biological approaches for extraction of bioactive compounds from agro-industrial by-products: a review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 9:1-18.
- MATEL, J.C.; OLIVEIRA, J.A.D.S.; PAMPHILE, J.A.; POLONIO, J.C. 2021. Agro-industrial wastes for biotechnological production as potential substrates to obtain fungal enzymes. *Ciência E Natura*. 43(72):1-28. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.802543>
- MAZZOLI, R. 2021. Current progress in production of building-block organic acids by consolidated bioprocessing of lignocellulose. *Fermentation*. 7(248):1-34. <https://doi.org/10.5902/2179460X63133>
- MIRANDA ZOPPAS, F.; MENEGUZZI, A.; TRAMONTINA, F. 2013. Alternatives for cellulase production in submerged fermentation with agroindustrial wastes. *International Journal of Engineering Research*. 3(4):2374-2381. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040248>
- MOJUMDAR, A.; DEKA, J. 2019. Recycling agro-industrial waste to produce amylase and characterizing amylase-gold nanoparticle composite. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 8:263-269. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00298-4>
- MUHAMMAD, I.; ANWAR, Z.; IRSHAD, M.; JAVAID, M.; ASHFAQ, H. 2016. Cellulase Production from Species of Fungi and Bacteria from Agricultural Wastes and Its Utilization in Industry: A Review. *Advances in Enzyme Research*. 4(2):44-55. <https://doi.org/10.4236/aer.2016.42005>
- NAGAIHAH, P.; NELLAIAPPAN, O.; POLPASS, A.; RANGASAMY, A.; SOON-WO, K. 2015. Optimization of cellulase production by *Enhydrobacter* sp. ACCA2 and its application in biomass saccharification. *Frontiers in microbiology*. 6:1-11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01046>
- NIYONZIMA, F. 2021. Detergent-compatible fungal cellulases. *Folia Microbiologica*. 66:25-40. <https://doi.org/10.1007/s12223-020-00838-w>
- OLANBIWONINU, A.A.; FASIKU, S. 2015. Production of bacterial amylases and cellulases using sweet potato (*Ipomoea batatas*. (L.) Lam) peels. *African Journal of Biochemistry*. 9(9):104-109. <https://doi.org/10.5897/AJBR2015.0841>
- POONDLA, V.; KUMAR YANNAM, S.; NAIDU GUMMADI, S.; SUBRAMANYAM, R. 2016. Enhanced production of pectinase by *Saccharomyces cerevisiae* isolate using fruit and agro-industrial wastes: Its application in fruit and fiber processing. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 6:40-50. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.02.007>
- PRABESH, K.; JAHED, A.; MEHADI, H.; KAMRUL, I.; ABUL, K. 2016. Isolation, screening and characterization of cellulase producing bacterial isolates from municipal solid wastes and rice straw wastes. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 6(4):1-5. <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000280>
- RAVINDRAN, R.; HASSAN, S.; WILLIAMS, G.; JAISWAL, A. 2018. A review on bioconversion of agro-industrial wastes to industrially important enzymes. *Bioengineering*. 5(4):1-20. <https://doi.org/10.3390/bioengineering5040093>
- SÁNCHEZ-CASTELBLANCO, E.M.; HEREDIA-MARTÍN, J.P. 2022. Evaluación de residuos orgánicos generados en plazas de mercado para la producción de enzimas bacterianas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 46(180):675-684. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1652>
- SARANRAJ, P.; ANANDARAJ, K.; RAJA, E.; SIVASAKTHI, S. 2018. Vermicomposting of market wastes and analysis of its physico-chemical and biological properties. *International journal of research and analytical reviews*. 5(4):287-296.
- SHARMA, I.A.; KAUR, I. 2019. Sustainable cellulases production using solid waste feedstocks. *Nature and Science*. 19(5):1-18. <https://doi.org/10.7537/marsnsj190521.01>
- SPEDEA, J.; JOHANSSON, M.; ODNELL, A.; KARLSSO, M. 2017. Enhanced biomethane production rate and yield from lignocellulosic ensiled forage ley by in

situ anaerobic digestion treatment with endogenous cellulolytic enzymes. *Biotechnol Biofuels*. 10(129):1-13. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0814-0>

YASSIEN, M.; JIMAN-FATANI, A.; HANI, Z. 2014. Production, purification and characterization of cellulase from *Streptomyces* sp. African

Journal of Microbiology Research. 8:348-354. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6500>

YIN, L.; LIN, H.; XIAO, Z. 2010. Purification and characterization of a cellulase from *Bacillus subtilis* YJ1. *Journal of Marine Science and Technology*. 18:466-471. <https://doi.org/10.51400/2709-6998.1895>

Producción y caracterización de compost derivado de residuos sólidos orgánicos urbanos

Production and characterization of compost derived from municipal organic solid wastes

Janyra Grehis Aguirre-Illatopa¹ ; Nelino Florida-Rofner*¹ ; Emilio Anthony Ríos-Velasquez¹ ; José Dolores Lévano-Crisóstomo¹ 

¹Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Departamento de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua. Tingo María, Perú; e-mail: yanira.aguirre@unas.edu.pe; nelinof@hotmail.com; emilio.rios@unas.edu.pe; jose.levano@unas.edu.pe

*autor de correspondencia: nelinof@hotmail.com

Cómo citar: Aguirre-Illatopa, J.G.; Florida-Rofner, N.; Ríos-Velasquez, E.A.; Lévano-Crisóstomo, J.D. 2024. Producción y caracterización de compost derivado de residuos sólidos orgánicos urbanos. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2432. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2432>

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 en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: mayo 15 de 2023

Aceptado: mayo 27 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Perú generó 8.215.355 t de residuos sólidos municipales en el 2021; de este, 57,64 % corresponde a residuos orgánicos (RO) y 61,28 % son dispuestos en rellenos sanitarios con múltiples deficiencias de gestión, lo que exige buscar alternativas para tratar de manera segura los RO. Frente a esta situación, el compostaje permite la biotransformación, la reducción y la obtención de biofertilizantes, que se pueden aplicar como sustrato o enmienda. El objetivo de la investigación fue evaluar indicadores de procesamiento y calidad de compost derivado de residuos sólidos orgánicos urbanos, en Leoncio Prado, región Huánuco, Perú. Se evaluaron los tipos de residuos, basados en la normativa peruana para caracterización de residuos, los indicadores del proceso (temperatura y pH), la caracterización fisicoquímica y calidad en base a las normas internacionales. Los resultados muestran diferencia significativa para pH, nitrógeno, calcio, potasio, cobre y zinc; contrariamente, la materia orgánica, el % de cenizas, la conductividad eléctrica, el sodio y el fósforo no mostraron diferencias, siendo lo más destacado los altos niveles de pH, además, la calidad del compost es de "Clase B", según la norma chilena 2880. Los compost producidos son de calidad media y se recomienda su uso como sustrato o enmienda en la agricultura, previo tratamiento para corregir los altos niveles de pH.

Palabras clave: Biotransformación; Caracterización fisicoquímica; Enmienda orgánica; Macronutrientes; Micronutrientes.

ABSTRACT

Peru generated 8,215,355 t of municipal solid waste in 2021, of which 57.64% corresponds to organic waste (OW) and 61.28% is disposed of in landfills with multiple management deficiencies, which makes it necessary to seek alternatives to safely treat OW. In view of this situation, composting allows biotransformation, reduction and obtaining biofertilizers that can be applied as a substrate or amendment. The objective of the research was to evaluate the processing indicators and quality of compost derived from urban organic solid waste in Leoncio Prado, Huánuco-Peru. Waste types were evaluated based on Peruvian regulations for waste characterization, process indicators (temperature and pH), physicochemical characterization and quality based on international standards. The results show significant differences for pH, nitrogen, calcium, potassium, copper and zinc; on the contrary, organic matter, % ash, electrical conductivity, sodium and phosphorus showed no differences, the most outstanding being the high pH levels, and the quality of the compost is "Class B" according to Chilean standard 2880. The compost produced is of medium quality and is recommended for use as a substrate or amendment in agriculture after treatment to correct the high pH levels.

Keywords: Biotransformation; Macronutrients; Micronutrients; Organic amendment; Physicochemical characterization.

INTRODUCCIÓN

El sector competente en materia ambiental de Perú es el Ministerio del Ambiente (MINAM) y las estadísticas al 2021, reporta que la generación total de residuos sólidos municipales es de 8.215.355 t y solo 5.034.337 t llegan a los rellenos sanitarios formales, lo que equivale al 61,28 % del total generado; además, la generación per cápita del país ha mostrado un ligero incremento en el periodo 2018-2021, de 0,55 a 0,58 kg.persona⁻¹.día⁻¹ (MINAM, 2019). El incremento de la población y la generación per cápita es una potencial amenaza; sin embargo, los residuos sólidos orgánicos representan el 57 % del total, disponiendo de un gran volumen de residuos con potencial para ser tratados y transformados en productos aprovechables (MINAM, 2021).

La municipalidad Provincial de Leoncio Prado, desde el 2011, realiza el programa de separación en la fuente y recolección selectiva de los residuos sólidos, evitando el arrojado de residuos sólidos al río Huallaga, principal fuente hídrica de la zona (Florida & Reategui, 2019).

La técnica del compostaje permite que el proceso de biodegradación se lleve a cabo de forma controlada de residuos y de subproductos orgánicos, transformándose en compost, que son fuentes de nutrientes y vida microbiana para el suelo y muy necesarios para la nutrición de las plantas (Florida-Rofner *et al.* 2020; Peralta-Antonio *et al.* 2019; Sharma *et al.* 2017). El compostaje requiere control y manejo adecuado para garantizar que se produzcan las diferentes etapas del procesamiento y genere las condiciones apropiadas para el desarrollo microbiano y estos metabolizan los residuos e higienizan el compost producido (FAO, 2013).

El compost final, independientemente del material de origen, requiere un control de calidad para evitar potenciales efectos negativos al medio ambiente (Rosal *et al.* 2007; Ramos Agüero & Terry Alfonso, 2014), la economía de los agricultores por bajos aportes de nutrientes, elevadas concentraciones de sustancias fitotóxicas (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020) o, peor aún, la presencia de metales pesados (Nuñez *et al.* 2023) y microorganismos de origen fecal que pueden afectar la inocuidad de los productos agrícolas (Alvarez-Vera *et al.* 2019; García-Ramos *et al.* 2019).

En el caso de Perú, se dispone de la norma técnica NTP 201.207, del Instituto Nacional de Calidad-INACAL (2021), para hacer el control de calidad al compost, elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos municipales; sin embargo, se considera que la norma técnica oficial chilena 2880 (INN, 2004) es más rigurosa (Florida-Rofner *et al.* 2020), para garantizar la calidad y el uso del compost elaborado a partir de residuos sólidos urbanos, como sustrato (Bárbaro *et al.* 2019) o enmienda en suelos agrícolas (Ríos-Velasquez *et al.* 2023; Sharma *et al.* 2017).

En este contexto, la investigación planteó como objetivo evaluar indicadores de procesamiento, de caracterización y de calidad de compost, derivado de residuos sólidos orgánicos urbanos, en Leoncio Prado, región Huánuco, Perú, a través de la norma

colombiana- NTC 5167 (Icontec, 2011) y chilena - NCH 2880 (INN, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de trabajo. El procesamiento y la caracterización del compost se realizó en la planta de valorización “Shapajilla” administrada por la municipalidad provincial de Leoncio Prado, que recibe los residuos generados por una población de 51.415 habitantes (INEI, 2022), con generación per cápita regional de 0,7 kg.hab⁻¹. día⁻¹ (MINAM, 2021). La planta se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas S 9°14'00”, O 75°59'30”, a una altitud aproximada de 700 m s.n.m. La provincia presenta clima de tipo subtropical, con temperatura de 25 a 27 °C, precipitación anual de 3.400 mm, humedad relativa superior al 80 %, cuyos meses de mayor precipitación se produce entre noviembre a febrero y menor, de mayo a julio (SENAMHI, 2021).

Instalación de pilas. Las pilas se instalaron con residuos sólidos orgánicos recolectados de la zona urbana de la ciudad de Tingo María. Los residuos se acopiaron durante siete días, para tener un volumen aproximado de 20 m³; a partir de allí, se iniciaron las evaluaciones. Además, durante el compostaje en el primer y cuarto volteo de las pilas, se aplicaron microorganismos eficientes (EM), 40 L por pila, a una concentración de 10 % de EM activado. Los EM son preparados de manera artesanal por personal de la planta, usando, como principal insumo, la melaza de caña, leche fresca, levadura y cepa madre de los EM; los análisis microbiológicos de la cepa madre presenta: enumeración de microorganismos aerobios 12x10⁴, actinomicetos 22x10³, mohos y Levaduras 34x10³ MO mL⁻¹ de solución y ausencia de *Salmonella* sp. y coliformes.

Caracterización y control de indicadores del procesamiento. La clasificación de los materiales sometidos a compostaje fue realizada de acuerdo con los lineamientos metodológicos para el estudio de caracterización de los residuos sólidos urbanos, consignada en la Resolución Ministerial No. 457-2018-MINAM (MINAM, 2018). La caracterización se realizó al inicio del proceso y consistió en extraer 3 muestras por pila, un volumen determinado con un balde de 6 L de capacidad; esto fue pesado y sometido a selección de los diferentes residuos orgánicos y pesado de manera individual y fueron tabulados y presentados porcentualmente. Los indicadores del procesamiento, temperatura (T°) y pH se evaluaron de acuerdo con las recomendaciones de la FAO (2013). Las mediciones de temperatura fueron tomadas por métodos directos, a través de geotermómetro digital Soil-Meter y el pH, con pH-metro Three-Way Meter, ambos con varillas de 0,30 m. Las lecturas de T° y pH fueron realizadas cada tres días y en tres posiciones diferentes de la pila (tercio superior, intermedio y tercio inferior).

Determinación de indicadores físicos y químicos del compost. Culminado el procesamiento, al producto final, previamente tamizado (Tamiz de 1,50 cm), se realizó el muestreo correspondiente, extrayendo 5 muestras de 1 kg, de manera aleatoria en cada pila y se evaluaron indicadores físicos: % de cenizas por calcinación y % de humedad por gravimetría. Indicadores químicos: pH por

método electrométrico; contenido de materia orgánica en base seca por el método de digestión ácida (Walkley & Black, 1934); el fósforo (P_2O_5), por Metavanadato y lectura en espectro UV-Visible; nitrógeno (N), con el método Kjeldahl; Ca, Mg, K y Na, por acetato de amonio y lectura en espectrofotómetro de absorción atómica (EAA); además, los metales Cu, Fe, Mn y Zn, por extracción con solución nítrico perclórico 4:1 y lectura en EAA, protocolos descritos en Bazán Tapia (2017).

Calidad del compost. El compost final de cada pila fue sometida a un proceso de tamizado (Tamiz de 1,50 cm), donde las partículas o desechos orgánicos grandes fueron separados y utilizados como cubrimiento en las pilas frescas, para reducir la presencia de moscas. Los resultados de los análisis examinados en el laboratorio fueron comparados con la NCH 2880 y la NTC 5167, para clasificar la calidad del compost elaborado.

Diseño y análisis estadístico. Corresponde a una investigación no experimental mixta, por que abarca la parte descriptiva y

comparativa, ajustada a un diseño estadístico, completamente aleatorizado (DCA), donde los tratamientos la constituyeron las diferentes pilas de compost producidos: Pila 1 (P1), Pila 2 (P2), Pila 3 (P3), Pila 4 (P4) y Pila 5 (P5), con tamaño de muestra; $n=25$ (5 muestras por pila de compost producida). Los datos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y las correspondientes pruebas post-hoc de Tukey, con un nivel de confianza al 95 %, para la comparación de medias de los parámetros físicos y químicos entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los residuos orgánicos urbanos. Previo al inicio de las evaluaciones se realizó la caracterización de los residuos orgánicos a cada pila que se sometió al compostaje. No se presentaron diferencias significativas en todos los tipos de residuos, excepto para las pepas (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de la caracterización de los residuos sólidos orgánicos urbanos empleados para realizar compost en Leoncio Prado, región Huánuco, Perú.

Pila	Restos de comida (g)	Restos de frutas (g)	Cáscaras (g)	Pepas (g)	Estiércol y huesos (g)	Peso de muestra (g)
P1	2203,33±100,17a	633,33±41,63a	2100±141,07a	273,33±30,55ab	75±47,69a	5318,33±201,02a
P2	2093,33±55,08a	683,33±49,32a	2150±50a	281,67±7,64ab	126,67±25,17a	5335±58,95a
P3	2220±111,36a	680±30	1976,67±132,79a	301,67±22,55b	115±18,03a	5293,33±102,63a
P4	2143,33±90,19a	703,33±25,16a	2013,33±92,92a	240±10a	86,67±32,15a	5201,67±50,08a
P5	2333,33±150,11a	676,67±55,08a	1993,33±55,08a	273,33±23,09ab	116,66±15,28a	5393±227,23a
F	2,189	1,132	1,623	3,482	1,614	0,678
Sig.	0,144ns	0,395ns	0,243ns	0,05*	0,245ns	0,622ns

P: Pilas sometidas al compostaje; F: función de probabilidad; Sig. Significancia; * significativo $p<0,05$; letras diferentes expresa diferencias significativas.

En general, los restos de comida, cáscaras y frutas representan entre 92-93 % del total de cada pila, por lo que se esperaba homogeneidad en la calidad del compost final, para todas las pilas.

Indicadores del procesamiento

Temperatura y pH. La T° y pH son indicadores importantes que permiten diferenciar si las pilas alcanzaron las diferentes etapas del proceso (FAO, 2013). En la figura 1a, se puede observar el incremento y disminución de la T° en cada volteo; es importante indicar que todas las pilas alcanzaron la fase termófila durante el procesamiento. Respecto al pH (Figura 1b), se presentaron valores bajos al inicio del compostaje y luego tendieron a incrementarse.

Los cambios de T° definen las etapas del proceso, resultado de las reacciones exotérmicas generado en los procesos biooxidativos; por ello, Hernández-Nazario *et al.* (2018), lo consideran como bioindicador del procesamiento.

Los resultados, en los primeros tres días, superaron los 45 °C, porque las pilas ya tenían un periodo mínimo de una semana de acopio; también, la etapa termofílica alcanzó temperaturas medias de hasta 68 °C y se extendió entre 90 y 105 días, aproximadamente y, a partir de allí, inició el enfriamiento de las pilas. Estos resultados se encuentran dentro de los periodos de cada fase señaladas por la FAO (2013).

Es importante indicar que se constató que las pilas no pasaron por la fase de maduración y el compost fue colocado en costales de 50 kg y distribuido, aspecto que es contrario a los criterios técnicos establecidos para un procesamiento óptimo y, probablemente, afecte algunos indicadores de calidad del compost final, como el pH (Dalzell *et al.* 1981; Florida & Reategui, 2019).

Además, los resultados mostraron una prolongada etapa termofílica, aspecto positivo solo para la higienización; este comportamiento se atribuye a factores climáticos locales, características de las pilas y

los microorganismos eficientes, aplicados durante el proceso. Las variaciones de la T° tienen el mismo patrón respecto a otros tipos de residuos compostados en el ámbito local, como el compost de

estiércol de vacuno, las plumas de pollo (Florida & Reategui, 2019) y diversos residuos orgánicos locales (Florida *et al.* 2016).

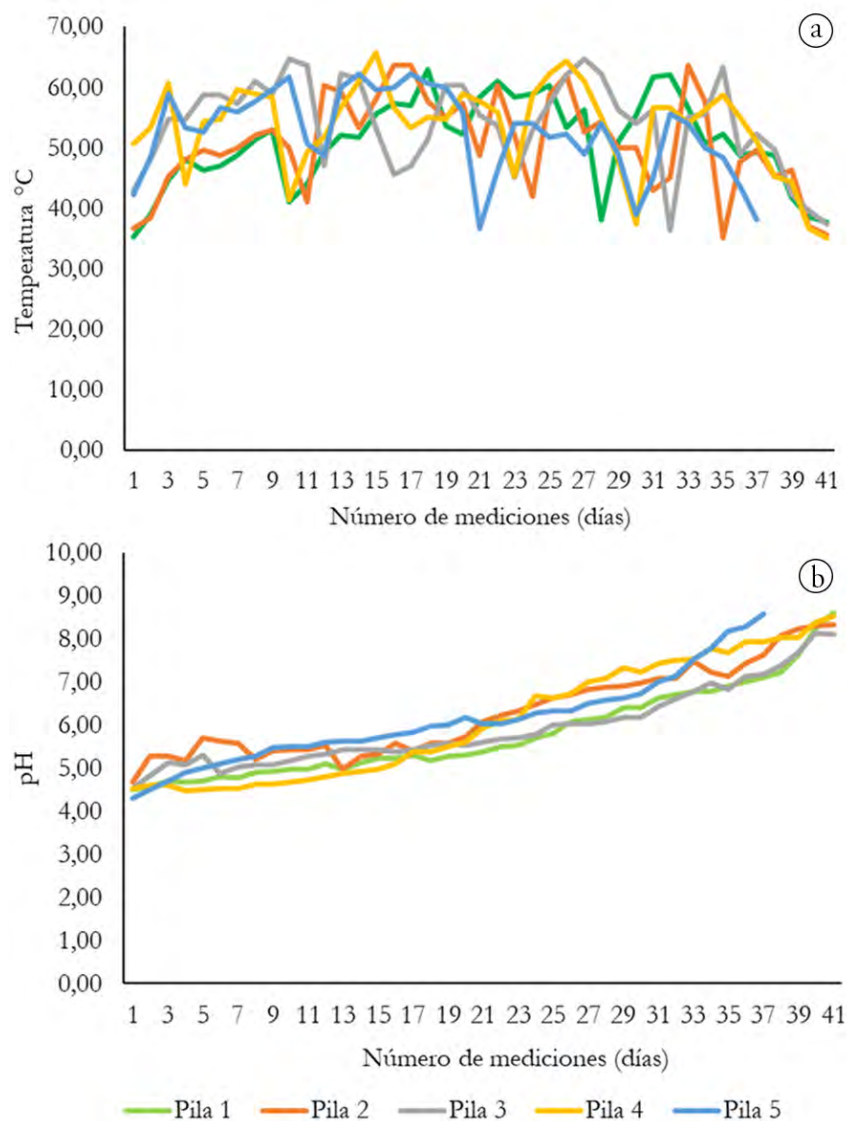


Figura 1. Temperatura y pH de diferentes pilas durante el procesamiento de compost a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos. a) Temperatura; b) pH.

El pH en todas las pilas, al primer día de evaluación, fue bajo (Figura 1b), contrario a lo encontrado por Dalzell *et al.* (1981), quienes observaron que los valores de pH al inicio fueron relativamente altos y descendieron rápidamente en la etapa mesofílica, para elevarse a medida que la pila incrementa su temperatura y pasó a la fase termofílica; luego, se estabilizó con pH alto en la fase de enfriamiento y, al final, descendió ligeramente en la última fase de madurez. Los resultados no son incoherentes, ya que las pilas se reunieron progresivamente durante una semana, es decir, la pila ya había pasado la fase inicial o fase mesófila, por ello, los niveles bajos de pH. El descenso es resultado de procesos biooxidativos de compuestos solubles (azúcares), en la primera fase del proceso, produciendo ácidos orgánicos, que provocan reducción del pH, entre 4,0 a 4,5; sin embargo, esta rápida utilización de los

compuestos solubles genera la fase termófila (FAO, 2013), lo cual, es muy importante, tanto para la degradación como para la higienización (FAO, 2013; Florida & Reategui, 2019). En general, los resultados están dentro de los rangos tolerables de pH, propuestos por la FAO (2013).

Indicadores físicos del compost final

Contenido de humedad y cenizas. Como se evidencia en la tabla 2, no se presentaron diferencias significativas entre las pilas para el porcentaje de humedad y de cenizas. Los valores obtenidos sugieren que las condiciones de procesamiento fueron homogéneas y, de acuerdo con estos dos indicadores, el compost de todas las pilas corresponde a la clase A, según la NCH 2880. La humedad es un

indicador importante para establecer los criterios de aplicación en la agricultura, teniendo en cuenta que el porcentaje de humedad del producto tiene correlación negativa con la mayoría de los nutrientes, como N, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn (Bohórquez *et al.* 2015). Además, es preciso mencionar la importancia del control de la humedad para obtener un compost de calidad, ya que el exceso de humedad compromete el peso del producto y puede afectar los cálculos de la cantidad efectiva a aplicar (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020).

En cuanto al porcentaje de cenizas, no se encontraron diferencias significativas y todas las pilas se encuentran dentro de lo establecido

por la normativa y corresponden a un compost de clase A. El resultado obtenido, probablemente, está relacionado con la homogeneidad de los restos identificados en la caracterización; sin embargo, los valores medios están próximos al límite, lo que indicarían la presencia de sales minerales, lo cual, se debe a que los residuos sólidos orgánicos urbanos contienen alta concentración de sales al tener alimentos procesados con importantes contenidos de sal (Iñiguez *et al.* 2006); no obstante, los valores encontrados no tienen influencia sobre las funciones del compost como sustrato o enmienda y no compromete la calidad (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020).

Tabla 2. Calidad de compost final producidas con residuos sólidos orgánicos urbanos en diferentes pilas y contrastadas con la norma de calidad chilena.

Indicador	Calidad		Tratamientos				
	Clase A	Clase B	P1	P2	P3	P4	P5
pH*	5-7,5	<5 y >7,5	9,10±0,02a	9,22±0,05b	9,45±0,04d	9,32±0,04c	9,37±0,02c
CE (µS/cm)	<3000		4754±966a	4784±1308a	3714±1551a	4068±323a	4272±332a
% Humedad*	< 25	25-40	18,53±2,09a	18,97±2,19a	16,86±0,92a	15,07±1,40a	17,06±10,72a
% Cenizas**	Max. 60		51,21±4,21a	48,89±4,99a	44,40±5,13a	52,44±6,05a	48,63±12,67a
% M.O.*	> 45	25-45	48,79±4,58a	51,11±4,99a	55,60±5,13a	47,56±6,05a	51,37±12,67a
% N*	> 0,8%		2,11±0,15a	2,70±0,32c	2,38±0,17abc	2,22±0,09ab	2,69±0,40bc
% P ₂ O ₅ *	>1		1,37±0,20a	1,72±0,11a	1,42±0,12a	1,53±0,26a	1,58±0,28a
% Ca*	>1		2,55±0,08b	2,74±0,14b	3,03±0,10c	2,20±0,18a	2,58±0,14b
% Mg*	>1		1,20±0,10a	1,06±0,27a	1,28±0,16a	1,00±0,00a	1,12±0,04a
% K*	>1		2,57±0,24a	2,42±0,35a	3,14±0,09b	2,28±0,22a	2,25±0,12a
Cu (ppm)*	<100	100-1000	21,91±2,31b	17,01±2,14a	23,01±1,75b	22,63±1,38b	22,45±1,41b
Zn (ppm)*	<200	200-2000	84,02±4,58bc	67,09±4,33a	76,81±3,27abc	86,17±6,71c	71,02±14,45ab
Calidad final según pila			B	B	B	B	B

Media±desviación estándar; letras diferentes expresa diferencias significativas ($p < 0,05$); *Norma oficial chilena - NCH 2880 (INN, 2004); ** Norma técnica colombiana - NTC 5167 (Icontec, 2011). P1 al P5 pilas compostadas.

Conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno. La conductividad eléctrica para todas las pilas se encontró dentro de lo establecido por la NCH 2880 y no se presentaron diferencias significativas (Tabla 2); sin embargo, de acuerdo con este indicador, el compost es de calidad media o clase B, al presentar valores entre los 3.000 a 8.000 µS/cm, lo que indicarían algunas restricciones para ser utilizado en la agricultura. Este resultado esta probablemente relacionado con la homogeneidad y la composición de los residuos compostados, la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso y la concentración de sales.

Una CE mayor 3.000 µS/cm se encuentra relacionada con la inhibición de la germinación de las semillas (Rivas-Nichorzon & Silva-Acuña, 2020). En particular, el compost a base de residuos

sólidos orgánicos urbanos, generan altos valores de CE (Rawat *et al.* 2013), por lo que su aplicación en campo se debe tomar en cuenta, para evitar una posible salinización del suelo o problemas de fitotoxicidad (Jaramillo, 2002); las altas cantidades de sales en la solución del suelo dificulta la absorción de agua por las raíces de las plantas (Sánchez-Monedero *et al.* 2001).

Se encontraron diferencias altamente significativas para los valores medios del pH (Tabla 2). El pH fue comparado con la NCH 2880, en la cual, se determinó que se encuentran por encima de los valores establecidos para compost de clase A y corresponden a compost de clase B. Los residuos orgánicos urbanos se caracterizan por tener contenido importante de proteínas, los que al descomponerse pueden incrementar el valor del pH (Chang & Hsu, 2008); esto

se vio reflejado con valores del pH por encima de 9,10, lo que presentarían algunas restricciones de uso. Además, el pH elevado, al parecer, es independiente al periodo de volteo y al tiempo de compostaje y más bien respondería a los materiales sometidos al proceso (García Céspedes *et al.* 2014; Florida & Reategui, 2019; Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020).

Los niveles de pH son fuertemente alcalinos en todas las pilas, probablemente, por una concentración baja de iones hidrógeno y mayor de calcio, magnesio y sodio. En este caso, se advierte potenciales riesgos sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, por ello, es necesario aplicar técnicas para corregir el pH, mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados, antes de su uso en agricultura (Bárbaro *et al.* 2019).

Los resultados de pH no son adecuados; no obstante, se observan valores similares en compost con base en otros residuos, como los elaborados con la cáscara de cacao, con los residuos municipales, con estiércol de vacuno (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020) y con una mezcla de plumas de pollo y estiércol de vacuno (Florida & Reategui, 2019). En este contexto, se requieren la aplicación de técnicas de solarización para disminuir el porcentaje de humedad y la corrección del pH, mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados (Bárbaro *et al.* 2019), antes de ser utilizados como enmienda o sustrato.

Materia orgánica y nitrógeno. Los valores de MO no presentaron diferencias significativas; contrariamente, los valores de N sí presentaron diferencias altamente significativas (Tabla 2).

Los valores medios del MO corresponden a compost de clase A, aspecto importante, ya que al ser aplicados al suelo mejoran las condiciones fisicoquímicas y aportan carbono, para mantener la biodiversidad del sistema (FAO, 2013); por ello, es importante resaltar que los compost evaluados están dentro de los valores exigidos y presentan valores similares a los reportados por Florida *et al.* (2016), Hernández-Nazario *et al.* (2018), Florida & Reategui, (2019), Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020 y Florida *et al.* (2021).

Los porcentajes de N encontrados corresponden a compost de Clase A, según la NCH 2880; estos son valores apropiados y no existen restricciones de uso. El Nitrógeno está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo y en la absorción de otros nutrientes (FAO, 2013), su concentración define su potencial para ser usado como una enmienda, por ello, la NCH 2880 exige valores de N total $\geq 0,8$ %, aunque para la FAO (2013) y la NTC 5167, un compost ideal debe tener > 1 % de N, en base seca. Los valores encontrados superan estas exigencias y son similares a los de Bailón-Rojas & Florida-Rofner (2020), en compost de residuos sólidos urbanos, en compost a base de otros residuos, como escobajo de palma, residuos de plátano y con pulpa de café (Florida *et al.* 2021); sin embargo, ninguno de estos valores logró alcanzar los 4,8 % de N reportado por Florida & Reategui (2019), en compost de plumas de pollo mezclado con estiércol de vacuno.

Niveles de macronutrientes (P, Ca, Mg y K). La concentración de todos los macronutrientes fue superior a los exigidos por la NCH 2880, por lo que todas las pilas fueron de clase A, de acuerdo con estos indicadores. Los macronutrientes P, Ca, Mg y K no presentaron diferencias significativas, contrariamente, los macronutrientes Ca y K sí presentaron diferencias (Tabla 2).

El P es el segundo macronutriente primario para la planta, involucrado en procesos de transferencia de energía y fotosíntesis (FAO, 2013). La concentración de P es muy importante en el compost; la NTC 5167 considera un compost ideal si el valor medio de P supera 1 %, en base seca y la OMS sugiere valores de P, entre 0,30 a 1,80 %. En tal sentido, los resultados cumplen con las normas citadas y presentan valores similares a los compost con base de residuos de pulpa de café (Florida *et al.* 2021) y menores para escobajo de palma, que tiene en promedio 2,13 % de P.

El Ca es un macronutriente secundario y es un componente estructural importante de las células vegetales, relacionada directamente con el crecimiento de la raíz y la calidad de los frutos (FAO, 2013). Además, altas concentraciones de Ca en los suelos se relacionan con un pH neutro, deseable para la mayoría de los cultivos. Es común encontrar deficiencias de Ca en condiciones de suelos ácidos, por ello, es conveniente mantener o mejorar los niveles de este nutriente, a través de la aplicación de enmiendas y controlar elementos tóxicos, como el aluminio (Puri *et al.* 2023). Los valores encontrados son mayores a los reportados por Bárbaro *et al.* (2019); sin embargo, se considera que combinando estos residuos con otros, como los de pulpa de café y escobajo de palma, podrían alcanzar valores de 2,9 a 3,15 % de Ca (Florida *et al.* 2021).

El Mg encontrado en todas las pilas estuvo dentro de 1,00 a 1,28 % (Tabla 2), lo cual, corresponde a la clase A, de acuerdo con la NCH 2880. El Mg, es un macronutriente componente básico de la clorofila y está involucrado directamente en el proceso de fotosíntesis, metabolismo de glucídico y activación de enzimas, que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos y proteínas en la planta (Reyes Alemán *et al.* 2017). Los valores fueron similares a los resultados de Bailón-Rojas & Florida-Rofner (2020) y Florida *et al.* (2021).

En el caso del K, todas las pilas tuvieron un porcentaje de K mayor a 1 (Tabla 2). El K es un macronutriente primario, vital en la síntesis de carbohidratos, proteínas y forma parte de la estructura vegetal; es responsable de la tolerancia a sequías, heladas, salinidad y resistencia al ataque de enfermedades (FAO, 2013). Los valores encontrados para este nutriente son similares a lo reportados por Bailón-Rojas & Florida-Rofner, (2020).

Niveles de cobre y zinc. Los valores medios de Cu y Zn se encuentran dentro del rango de un compost de Clase A, según la NCH 2880 (Tabla 2), son apropiados y no presentan restricciones de uso en la agricultura.

El Cu es un micronutriente requerido en cantidades muy pequeñas, pero importantes para el metabolismo vegetal y animal (FAO,

2013). En el presente proyecto, todos los valores encontrados fueron menores a 70 ppm. Es preciso indicar que el Cu es considerado un metal pesado, beneficioso y necesario para los organismos; sin embargo, pueden ser muy peligrosos por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los sistemas vivos (Nuñez *et al.* 2023).

El Zn presentó diferencias significativas entre las pilas evaluadas, pero los valores encontrados están dentro del rango de un compost de Clase A, al presentar menos de 200 ppm (Tabla 2). El Zn es un micronutriente requerido en cantidades muy pequeñas, pero importante para el metabolismo vegetal y animal; este elemento también es considerado como metal pesado en su forma elemental, muy peligroso por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los sistemas vivos (Nuñez *et al.* 2023). Los resultados son similares a los contenidos reportados para compost a base de residuos sólidos orgánicos urbanos (Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020) y a otros residuos compostados (Bohórquez *et al.* 2015; Jacobo Salcedo *et al.* 2017; Alvarez-Vera *et al.* 2019; Florida & Reategui, 2019).

En general, los valores de Cu y Zn se pueden deber a la naturaleza de los residuos compostados o a un adecuado procesamiento, ya que para Wang *et al.* (2021), después de que el compost alcanza la madurez, los niveles de Cu, Zn y otros microelementos, es bajo. Otra razón que explica los valores de Zn y Cu encontrados puede estar relacionada con la adición de microorganismos eficientes, ya que para Lalas *et al.* (2017), la adición de agentes microbianos contribuye a la pasivación de metales pesados, acelerando la degradación y la formación de ácidos húmicos y fúlvicos, este último, con gran capacidad para unirse a los iones metálicos. La inactivación de metales pesados en compost se debe a factores fisicoquímicos, microbianos y componentes orgánicos (Song *et al.* 2021). La combinación de los componentes húmicos y metales pesados, como el Cu y el Zn es fuerte e irreversible, existiendo una correlación positiva para su inmovilización (Cao *et al.* 2021).

Calidad del compost. La tabla 2 muestra el contraste de los indicadores físicos, macronutrientes y micronutrientes, con la NCH 2880 y NTC 5167, para determinar la calidad del compost en las diferentes pilas evaluadas.

Es importante aprovechar este recurso rico en proteínas y en minerales, basado en las propiedades de sus parámetros físicos y químicos (Liao *et al.* 2013); sin embargo, los resultados contrastados con las normas citadas corresponden a compost clase B, que representa a compost de calidad intermedia. Esta determinación se debe a valores elevados de pH, aspecto que compromete el potencial fertilizante de los compost evaluados.

En este contexto, se concluye que los compost con base en residuos sólidos orgánicos urbanos producidos en la Planta Shapajilla, provincia de Leoncio Prado del Perú, tienen niveles adecuados de nutrientes y contenidos bajos en metales pesados; sin embargo, son de calidad B o de calidad intermedia, por sus altos niveles de pH, debido a que el pH es un indicador fundamental que definen

la reactividad y una serie de procesos químicos, que determinan, en gran medida, la calidad del compost (Florida & Reategui, 2019; Bailón-Rojas & Florida-Rofner, 2020). Por lo tanto, es necesario aplicar medidas correctivas a estos compost antes de su procesamiento o aplicación en la agricultura (Bárbaro *et al.* 2019).

Agradecimientos. A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su colaboración parcial y disposición para la ejecución de la propuesta de investigación. **Financiación:** Este estudio fue financiado parcialmente con recursos del Fondo de Desarrollo Universitario (FEDU), asignados al presupuesto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para promover la Investigación Docente. **Conflictos de intereses:** El artículo 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. **Contribución autores:** Janyra Grehis Aguirre-Illatopa, Emilio Anthony Ríos-Velasquez y José Dolores Lévano-Crisóstomo realizaron los trabajos de campo, obtención y análisis formal de los datos para la escritura del borrador del manuscrito. Nelino Florida Rofner contribuyó con la asesoría de la investigación, la contextualización, la metodología, revisión y redacción del manuscrito. Todos los autores participaron en la redacción, revisión, edición del manuscrito y aprueban la versión final.

REFERENCIAS

- ALVAREZ-VERA, M.; LARGO, A.; IGLESIAS-ABAD, S.; CASTILLO, J. 2019. Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*. 10(3):353-361. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>
- BAILÓN-ROJAS, M.R.; FLORIDA-ROFNER, N. 2020. Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE*. 12(1):e644. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>
- BÁRBARO, L.; KARLANIAN, M.; RIZZO, P.; RIERA, N. 2019. Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*. 35(2):126-136. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- BAZÁN TAPIA, R. 2017. Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. INIA. Lima, Perú. 89p.
- BOHÓRQUEZ, A.; PUENTES, Y.J.; MENJIVAR, J.C. 2015. Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 15(1):73-81. http://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398
- CAO, Y.; WANG, X.; ZHANG, X.; MISSELBROOK, T.; BAI, Z.; MA, L. 2021. An electric field immobilizes heavy metals through promoting

- combination with humic substances during composting. *Bioresource Technology*. 330:124996. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124996>
- CHANG, J.; HSU, T. 2008. Effects of compositions on food waste composting. *Bioresource Technology*. 99(17):8068-8074. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.043>
- DALZELL, H.W.; GRAY, K.R.; BIDDLESTONE, A.J. 1981. Composting in tropical agricultura. Segunda edición. International Institute of Biological Husbandry. 36p.
- FLORIDA ROFNER, N.; LEVANO CRISOSTOMO, J.D.; TRIGOSO BECERRIL, D. 2021. Plumas y residuos locales una alternativa para mejorar la calidad del compost y suelos en el trópico peruano. Editorial Eidec. 64p. <https://doi.org/10.34893/8pf7-7h61>
- FLORIDA ROFNER, N.; REATEGUI DÍAZ, F. 2019. Compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*). *Livestock Research for Rural Development*. 31(1).
- FLORIDA ROFNER, N.; REÁTEGUIDÍAZ, F.; POCOMUCHA POMA, V. 2016. Caracterización del compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*) y otros insumos. *Investigación y Amazonía* 6(2):1-5.
- FLORIDA-ROFNER, N.; LEVANO-CRISOSTOMO, J.D.; JACOBO-SALINAS, S. 2020. Efecto del compost de plumas sobre los indicadores químicos del suelo en una plantación de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.). *Producción + Limpia*. 15(1):25-34. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a2>
- GARCÍA CÉSPEDES, D.I.; LIMA CAZORLA, L.; RUÍZ GUTIÉRREZ, L.; CALDERÓN PEÑALVER, P.A. 2014. Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas. *Medio Ambiente y Desarrollo*. 14(26).
- GARCÍA-RAMOS, C.; AROZARENA-DAZA, N.J.; MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, F.; HERNÁNDEZ-GUILLÉN, M.; PASCUAL-AMARO, J.Á.; SANTANA-GATO, D. 2019. Obtención de compost mediante la biotransformación de residuos de mercados agropecuarios. *Cultivos Tropicales*. 40(2):e02.
- HERNÁNDEZ-NAZARIO, L.; BENÍTEZ-FONSECA, M.; BERMÚDEZ-TORRES, J.M. 2018. Physical-chemical characterization of the organic fraction of urban solid waste from the controlled landfill at the Abel Santamaría Urban Center in Santiago de Cuba. *Tecnología Química*. 38(2):369-379
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN NORMA, ICONTEC. 2011. Norma técnica colombiana 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Segunda actualización. ICONTEC. Colombia. 10p.
- INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD, INACAL. 2021. Norma Técnica Peruana NTP 201.207:2020. Fertilizantes. Compost para uso agrícola. Requisitos. 1ª edición. 21p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, INEI. 2022. Perú: proyecciones de población total según departamento, provincia y distrito, 2018-2022. INEI. Lima, Perú. 124p.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, INN. 2004. Norma oficial chilena 2880 (NCH 2880). Norma Chilena de Calidad de Compost. INN. Chile. 27p.
- IÑIGUEZ, G.; PARRA, J.; VELASCO, P. 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 22(2):83-93.
- JACOBO SALCEDO, M.D.R.; FIGUEROA VIRAMONTES, U.; MACIEL TORRES, S.P.; LÓPEZ ROMERO, L.L.; MUÑOZ VILLALOBOS, A. 2017. Elementos menores en composta producida a partir de estiércol de engorda y rastrojo de maíz. *Agrofaz*. 17(02):61-71.
- JARAMILLO, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. 619p.
- LALAS, S.; ATHANASIADIS, V.; DOURTOGLOU, V.G. 2017. Humic and fulvic acids as potentially toxic metal reducing agents in water. *CLEAN—Soil, Air, Water*. 46(2):e1700608. <https://doi.org/10.1002/clen.201700608>
- LIAO, Q.; HUANG, D.; JIANG, Z. 2013. Estimation of production amount of livestock and poultry manure and environmental impact assessment in Guangxi. *Asian Agricultural Research*. 5:93-96.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, MINAM. 2018. Resolución ministerial N° 457-2018-MINAM por el cual establece la Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. Disponible desde Internet en: <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/guia-caracterizacion-rrss.pdf>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, MINAM. 2019. Informe nacional sobre el estado del ambiente. Disponible desde Internet en: https://sinia.minam.gob.pe/inea/wp-content/uploads/2021/07/INEA-2014-2019_red.pdf
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, MINAM. 2021. Estadística ambiental. Sistema Nacional de Información Ambiental-SINIA. Disponible desde Internet en: <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=08>

- NUÑEZ, W.E.; SOTOMAYOR, D.A.; BALLARDO, C.V.; HERRERA, E. 2023. Potencial de la biomasa fúngica: producción y mecanismos de biorremediación de metales pesados del compost de residuos sólidos orgánicos municipales. *Scientia Agropecuaria*. 14(1):79-91. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.008>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, FAO. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- PERALTA-ANTONIO, N.; DE FREITAS, G.B.; WATTHIER, M.; SILVA, R. 2019. Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia*. 37(2):59-66. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>
- PURI, E.E.; ROFNER, N.F.; NAVARRO VÁSQUEZ, L. 2023. Impact of *Erythroxylum* coca cultivation on soil quality in the Aguaytia valley. *Soil Environmental*. 42(1):65-76. <http://dx.doi.org/10.25252/SE/2023/243041>
- RAMOS AGÜERO, D.; TERRY ALFONSO, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*. 35(04):52-59.
- RAWAT, M.; RAMANATHAN, AL.; KURIAKOSE, L. 2013. Characterization of Municipal Solid Waste Compost (MSWC) from Selected Indian Cities—A Case Study for Its Sustainable Utilization. *Journal of Environmental Protection*. 4:163-171. <http://doi.org/10.4236/jep.2013.42019>
- REYES ALEMÁN, M.D.R.; FRANCO MORA, O.; MORALES ROSALES, E.J.; PÉREZ LÓPEZ, D.D.J. 2017. Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en *Lilium*. *Investigación y Ciencia*. 25(70):31-37.
- RÍOS-VELASQUEZ, E.A.; FLORIDA-ROFNER, N.; LAMA-ISMINIO, D.A. 2023. Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 26(1):e2371. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n1.2023.2371>
- RIVAS-NICHORZON, M.; SILVA-ACUÑA, R. 2020. Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Revista Ciencia UNEMI*. 13(32):87-100.
- ROSAL, A.; PÉREZ, J.P.; ARCOS, M.A.; DIOS, M. 2007. La incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España. *Información tecnológica*. 18(6):75-82. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000600010>
- SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; ROIG, A.; PAREDES, C.; BERNAL M.P. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*. 78(3):301-308. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00031-1)
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ, SENAMHI. 2021. Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional. Disponible desde Internet en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos30>
- SHARMA, A.; SAHA, T.N.; ARORA, A.; SHAH, R.; NAIN, L. 2017. Efficient microorganism compost benefits plant growth and improves soil health in calendula and marigold. *Horticultural Plant Journal*. 3(2):67-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.003>
- SONG, C.; ZHAO, Y.; PAN, D.; WANG, S.; WU, D.; WANG, L.; HAO, J.; WEI, Z. 2021. Heavy metals passivation driven by the interaction of organic fractions and functional bacteria during biochar/montmorillonite-amended composting. *Bioresource Technology*. 329. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124923>
- WALKLEY, A.J.; BLACK, I.A. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-38.
- WANG, L.; LIU, H.; PRASHER, S.O.; OU, Y.; YAN, B.; ZHONG, R. 2021. Effect of inorganic additives (rock phosphate, PR and boron waste, BW) on the passivation of Cu, Zn during pig manure composting. *Journal of Environmental Management*. 285:112101. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112101>



Efficiency of camalote grass residue (*Paspalum fasciculatum* Willd) in the adsorption of methylene blue

Eficiencia de los residuos de pasto camalote (*Paspalum fasciculatum* Willd) en la adsorción del azul de metileno

Cintya Valerio-Cárdenas^{1*} ; Patricia De la Cruz-Burelo¹ ; Gloria Ivette Bolio-López¹ ; Miguel Ángel Velázquez-Carmona¹ 

¹Universidad Popular de la Chontalpa, Coordinación de Investigación y Posgrado. Cárdenas, Tabasco, México.

*corresponding author: cintya.valerio@upch.mx

How to cite: Valerio-Cárdenas, C.; De la Cruz-Burelo, P.; Bolio-López, G.I.; Velázquez-Carmona, M.Á. 2024. Efficiency of camalote grass residue (*Paspalum fasciculatum* Willd) in the adsorption of methylene blue. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2496. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2496>

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

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

Received: June 28, 2023

Accepted: June 4, 2024

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Camalote is a perennial grass that reproduces quickly and spontaneously in tropical regions. This grass has no economic use; on the contrary, it is considered a weed. However, it is a good source of cellulose and occurs in abundance. In this regard, the purpose of this work is to take advantage of the camalote grass as an adsorbent of methylene blue (MB). The adsorption tests were carried out in a batch system, using MB concentrations within the range of 20-100 mg/L. The highest adsorption capacity (q_c) was 43 mg/g for the concentration of 100 mg/L of MB at pH 8. For all the concentrations studied, percentage removal values greater than 80% were obtained in a contact time of 30 min. The equilibrium data were correlated with the Langmuir and Freundlich models. The q_{max} values for the Langmuir isotherm are within the range of 19.79 to 94.51 mg g⁻¹ and b from 0.10 to 0.05 L mg⁻¹. While for the Freundlich isotherm, K values ranging from 3.79 to 5.13 (mgg⁻¹(L mg⁻¹)^{-1/n}) and n from 2.6 to 1.27 are obtained, suggesting that in the active sites MB is retained by chemisorption through hydrogen bonds. The results showed that camalote grass is an efficient and economically viable material for removing dyes from aqueous media.

Keywords: Adsorption isotherms; Bioadsorption; Bioremediation; Dye; Phytoremediation.

RESUMEN

El Camalote es un pasto perenne que se reproduce rápido y espontáneamente en regiones tropicales. Este pasto no tiene ningún aprovechamiento económico; por el contrario, se le considera una maleza. Sin embargo, es una buena fuente de celulosa y se da en abundancia. En este sentido, el propósito de este trabajo es aprovechar al pasto Camalote como adsorbente del azul de metileno (AM). Las pruebas de adsorción se realizaron en sistema de proceso por lotes, utilizando concentraciones de AM en un rango de 20 a 100 mg/L. La más alta capacidad de adsorción (q_c) fue de 43 mg/g para la concentración de 100 mg/L de AM a un pH de 8. Para todas las concentraciones estudiadas se obtuvieron valores de porcentaje de remoción mayor a 80 % en un tiempo de contacto de 30 minutos. Los datos de equilibrio se correlacionaron con los modelos de Langmuir y Freundlich. Los valores de q_{max} para la isoterma de Langmuir se encuentran en el rango de 19,79 a 94,51 mg g⁻¹ y b entre 0,10 a 0,05 L mg⁻¹. Mientras que para la isoterma de Freundlich se obtienen valores de K que van de 3,79 a 5,13 (mgg⁻¹(L mg⁻¹)^{-1/n}) y n entre 2,6 y 1,27, lo que indica que en los sitios activos el AM se retiene por quimisorción, a través de puentes de hidrógeno. Los resultados demostraron que el pasto Camalote en un material eficiente y económicamente viable para remover colorantes de medios acuosos.

Palabras clave: Bioadsorción; Biorremediación; Colorante; Fitorremediación; Isotermas de adsorción.

INTRODUCTION

The release of effluents from the textile industry with dyes into the environment generates negative impacts, not only because it adds color to the water, affecting photosynthetic activity, but because it changes the parameters of the chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), pH, and total solids. In addition, these discharges contain organic compounds and heavy metals that are difficult to degrade, producing an impact on the aquatic ecosystem (Islam *et al.* 2023).

There are around 100,000 dyes, all of them with complex chemical structures, making them resistant to fading from exposure to light, heat, water, detergents, and many chemicals (Hanafi & Sapawe, 2020). One of the most used dyes is the 3,7-bis(dimethylamino) phenazationium chloride, known generically as methylene blue (MB), which belongs to the phenothiazine family. It has the CI number 52015, and its CI name is basic blue 9. It is mainly used in the staining of cotton, wood, silk, paper, polyacrylonitrile, modified nylon, among other products (Oladoye *et al.* 2022). During its use, a certain amount of dye is released into bodies of water. Without proper treatment, this dye is stable and can remain in the environment for prolonged periods of time, since it is not biodegradable (Sun *et al.* 2019).

One of the physicochemical techniques for removing dyes is adsorption. It is a widely used method due to its simple design, ease of operation, and flexibility. The adsorption magnitude depends, largely, on the nature of the adsorbent and the molecules being adsorbed, as well as the concentration and temperature (Hashem *et al.* 2020). One of the best and most used adsorbents in the treatment of textile effluents is activated carbon. However, its production and regeneration are expensive, so economical and efficient adsorbent materials have been sought (Luo *et al.* 2020).

In this regard, most Latin American governments provide financial support for the development of projects focusing on the handling and utilization of organic waste. Therefore, there is a wide range of agricultural and agro-industrial residues that have been explored. The most studied residues are fruit peels and seeds, and sugar cane bagasse, among others, which have demonstrated to have a high removal capacity for a series of dyes of industrial interest (Meili *et al.* 2019). Grass waste is also considered organic (Cadavid-Rodríguez & Bolaños-Valencia, 2015); however, it has been undervalued due to its high moisture content and low calorific power.

Camalote grass (*Paspalum fasciculatum* Willd) is a perennial grass with high fiber content and little protein (4.44%), so it does not meet the protein requirements of adult cattle grazing. This species is classified as a weed because it grows spontaneously and is even considered a very aggressive species that displaces other forage grasses of better nutritional quality (Chacón & Gliessman, 1982). Camalote grass is abundant in tropical areas, and its final destination is burning or accumulating in large quantities in open dumps.

Therefore, the interest of this work is to use Camalote grass as an efficient and low-cost adsorbent for the removal of methylene blue (MB) from aqueous media, under controlled conditions of concentration, contact time, and pH of the solution.

MATERIALS AND METHODS

Camalote grass was collected within the facilities of the Universidad Popular de la Chontalpa, in the municipality of Cárdenas, Tabasco, Mexico, whose geographical coordinates are N 17°57'36" and W 93°21'55". Methylene blue was acquired from Sigma -Aldrich. HCl and NaOH are J.T. Baker brand.

Adsorbent Preparation. The grass was cut at ground level and dried for two days in the sun. Subsequently, it was passed through an electric mill to reduce its size. The particle size of the adsorbent was selected using a steel sieve with a mesh #60.

Point of Zero Charge (PZC). 50 ml of distilled water were added to five 100 ml Erlenmeyer flasks, adjusting the pH in each solution to a range of 3 to 7 using 0.1 M HCl and NaOH solutions. 0.5 g of dry Camalote grass were added to these solutions and were stirred constantly at 225 rpm for 48 hours at room temperature. At the end of this process, the final pH value was measured. pH readings for the solutions were made using a Hanna® HI98103 pH meter.

Methylene blue solutions preparation. A stock solution of the cationic methylene blue (MB) dye was prepared at a mass concentration of 0.5 g/0.5 L, obtaining a concentration of 1,000 mg L⁻¹ (Equation 1).

$$c \left(\frac{gr}{L} \right) = \frac{m \text{ solute } (gr)}{V \text{ solution } (L)} = \frac{0.5 \text{ gr}}{0.5 \text{ L}} = \left(\frac{1gr}{L} \mid \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ gr}} \right) = 1000 \frac{mg}{L} \quad \text{equation 1}$$

Volumetric dilutions were made from this solution to obtain solutions at concentrations of 20, 40, 60, 80, 100 mg L⁻¹.

Calibration curve of the MB solution. A Thermo Scientific Evolution 300 UV-Visible spectrophotometer was used for a complete wavelength scan from 200 to 800 nm. The maximum adsorption wavelength was found at 664 nm, which was taken as a reference to create a calibration curve with MB solutions at concentrations of 20, 40, 60, 80, and 100 mg L⁻¹. The absorbance readings were processed using the OriginPro8 program, performing a linear fitting by the Y= mx+b least squares method, resulting in a straight line equation, which was used to calculate the concentration present in an unknown sample.

Adsorption Test

pH Effect. 100 mg of Camalote grass was added to 50 ml of each of the 20, 40, 60, 80, 100 mg L⁻¹ solutions of the MB dye. The pH was adjusted on a scale of 4-8 using 0.1 M HCl and NaOH solutions. The solutions were stirred at room temperature at 225 rpm for 6 h. The absorbance of the solutions was measured using a UV-Vis

spectrophotometer. Contact time: 100 mg of Camalote grass was added to 50 ml of each of the 20, 40, 60, 80, 100 mgL⁻¹ solutions of the MB dye. They were stirred at room temperature, at 225 rpm, pH 8. Aliquots were taken at intervals of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 300, 360, and 1440 min. The absorbance of the solutions was measured using a UV-Vis spectrophotometer. Removal percentage: The amount of dye adsorbed over the measured amount of adsorbent and the percentage of color removed was calculated using equations 2 and 3.

$$noval = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times \quad \text{equation 2}$$

$$\% \text{ removal} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100 \quad \text{equation 3}$$

Where C_o= initial concentration of MB (mg/L); C_t= MB concentration at some time *t*; V= volume of solution (L) and M= mass of adsorbent (g).

Determination of functional groups. To acquire data by FTIR, a small amount of sample is taken and put on the ATR crystal. Spectra were acquired using a Nicolet iS5 FTIR spectrophotometer. Thermo Scientific: ZeS glass; acquisition range 4,000-400 cm⁻¹; number of scans 64, resolution 4 and gain 4.

Study of equilibrium systems

Langmuir Isotherm. Experimental data were used to calculate isotherms using equation 4:

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{bq_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad \text{equation 4}$$

Where C_e (mg L⁻¹) is the concentration of dye solution at equilibrium, and q (mg g⁻¹) is the mass of adsorbed dye per gram of adsorbent. q_{max} is the dye mass that 1 g of adsorbent can adsorb when the monolayer is complete, and b is the isotherm constant for a particular adsorbate-adsorbent combination (parameter reflecting the affinity of the adsorbent for the adsorbate). q_{max} and b are calculated from the slopes (1/q_{max}) and intercepts (1/b q_{max}) of the linear lines of C_e/q.

Freundlich Isotherms. The isotherms were calculated using the linearized equation 5.

$$\ln q = \ln k + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{equation 5}$$

Where q is the amount of solute removed per unit mass of adsorbent (mg g⁻¹), C_e is the concentration of MB at equilibrium (mg dm⁻³), K is the equilibrium constant (m³g⁻¹(dm³ mg⁻¹)^{-1/n}), and n is a constant related to the affinity between the adsorbent and the solute.

RESULTS AND DISCUSSION

Adsorbent Characterization. The identification of the functional groups of the Camalote grass (Figure 1a) was carried out using the

infrared spectroscopy technique. Figure 1b shows the FTIR spectrum where the peaks for the O-H bond are observed at 3,249 cm⁻¹ stretching and 649 cm⁻¹ torsion; for the C-H bond of the methylene group CH₂ at 2,921 cm⁻¹ asymmetric stretching, 2,850 cm⁻¹ symmetric stretching, and 821 cm⁻¹ torsion; the peak at 1,654 cm⁻¹ corresponds to a C=O bond of the lignin structure; the peak at 1,164 cm⁻¹ corresponds to the H₂C-O-H bond; the peak at 1,050 cm⁻¹ is assigned to the C-O-C β-glycosidic bond; and the peak at 1,004 cm⁻¹ corresponds to the C-O bonds.

Likewise, it was considered important to determine the Point of Zero Charge value, which is one of the most important factors in the adsorption process, since it allows establishing the optimal pH to obtain the highest percentage of adsorbate removal. Figure 1c shows the graph of the initial pH vs final pH. The p_{H_{pzc}} was obtained by adjusting the line to the origin. The change in slope suggested the p_{H_{pzc}} value = 5.05. Therefore, at a pH greater than 5.05 the surface of the adsorbent will be negatively charged and will favor the adsorption of MB given its cationic structure (Rios *et al.* 2020).

Effect of pH on the methylene blue removal. Figure 2 shows the effect of pH of the initial solution on the amount of dye adsorbed in the concentration range of 20-100 mgL⁻¹ MB. Observations indicate that the amount of dye adsorbed increases as the pH of the solution becomes more basic, this is associated with the p_{H_{pzc}} value = 5.05; values above the surface are found to negatively absorb the cationic dye more efficiently. Thus, the highest values for q_e (m³g⁻¹) and % removal for each of the concentrations at a pH 8 were obtained. The effect was best observed at the concentration of 100 mgL⁻¹, since the amount of adsorbed dye was increased from 19 m³g⁻¹ to 42.5 m³g⁻¹ and from 38% to 85.5% with an increase in pH from 4 to 8.

Determination of contact time. Figure 3a shows the removal percentages from 0 to 60 minutes for each of the study concentrations, where it is observed that after 5 min for the concentrations of 20 and 40 mgL⁻¹ a removal percentage greater than 80 is achieved, while for concentrations of 60, 80, and 100 mgL⁻¹ it is close to 80 percent. Subsequently, there is a tendency towards small increases in the value of the removal percentage in a period of 60 min, with the concentration of 20 mgL⁻¹ reaching a percentage close to 100%. The contact time was left until completing 24 h, where it was observed that the removal percentage values remained constant (Figure 3b). The contact time established to remove the MB is 30 minutes, during which time the maximum removal percentage is reached. After this time the values remain constant.

Studies of MB-adsorbent equilibrium systems.

Table 1 shows the values of the Langmuir and Freundlich isotherm constants obtained from the linearity of the experimental data obtained by UV-Visible spectroscopy after adsorption of MB on the Camalote grass. The q_{max} values for the Langmuir isotherm range from 19.80 to 94.52 mg g⁻¹ and b from 0.10 to 0.05 Lmg⁻¹; while for the Freundlich isotherm, K values ranging from 3.79 to 5.13 (m³g⁻¹(L mg⁻¹)^{-1/n}) and n from 2.6 to 1.27 are obtained. These values are higher than those reported by Hameed (2009) in the study of grass residues as MB adsorbents, where the reported q_{max} is in the range from 11.31 to 58.20 mg g⁻¹.

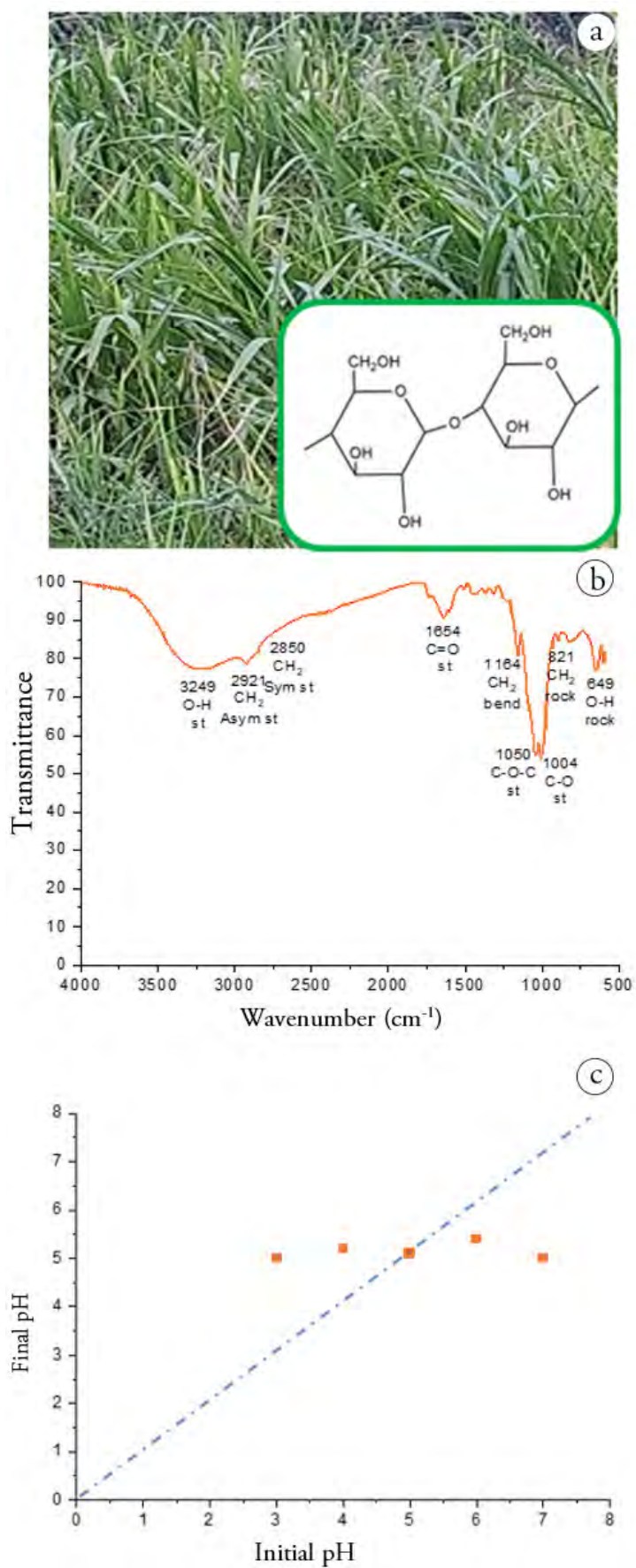


Figure 1. a) Camalote grass; b) infrared spectrum of Camalote grass; c) pH_{pzc} of Camalote

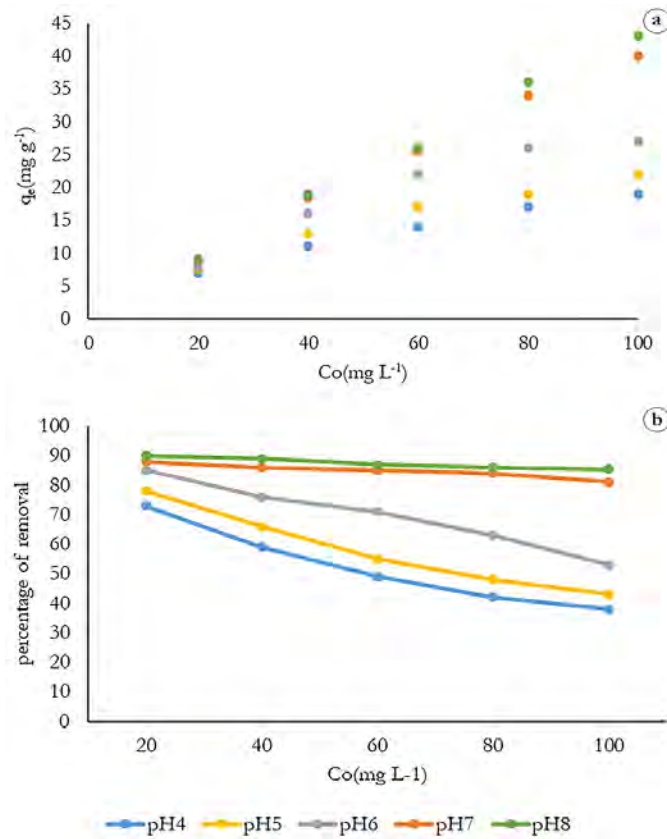


Figure 2. Effect of pH on the methylene blue removal on: a) the removal capacity; b) the removal percentage.

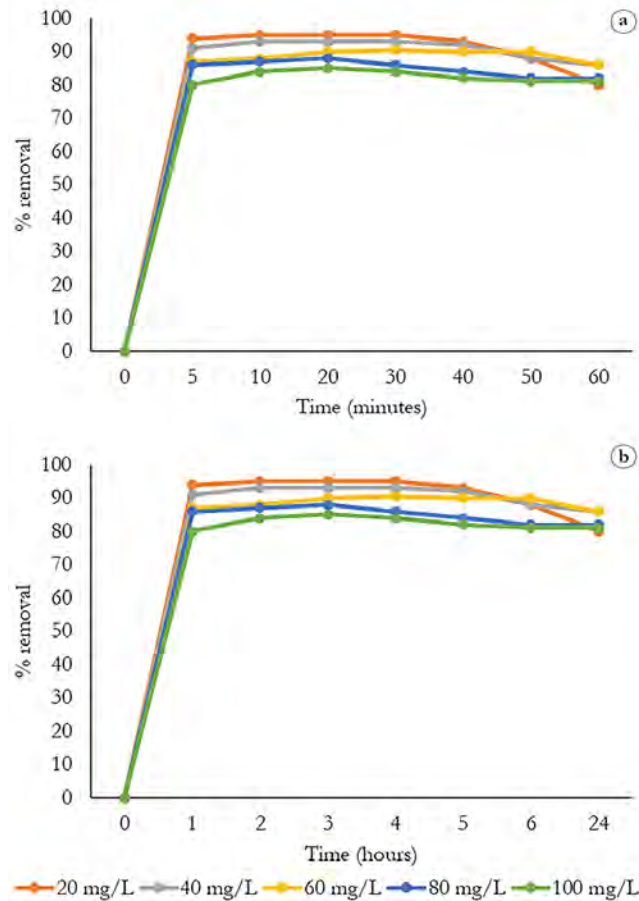


Figure 3. Contact time for methylene blue removal. a) 60 min; b) 24 h.

Table 1. Coefficients derived from Langmuir and Freundlich adsorption isotherms.

Langmuir parameters				Freundlich parameters		
pH	R ²	q _{max} (mg g ⁻¹)	b (Lmg ⁻¹)	R ²	K (mgg ⁻¹ (L mg ⁻¹) ^{-1/n})	n
4	0.98	19.80	0.10	1.00	3.79	2.57
5	0.98	21.48	0.13	1.00	4.55	2.63
6	0.99	28.86	0.14	0.98	5.52	2.34
7	1.00	76.69	0.06	0.99	4.94	1.39
8	1.00	94.52	0.05	1.00	5.13	1.27

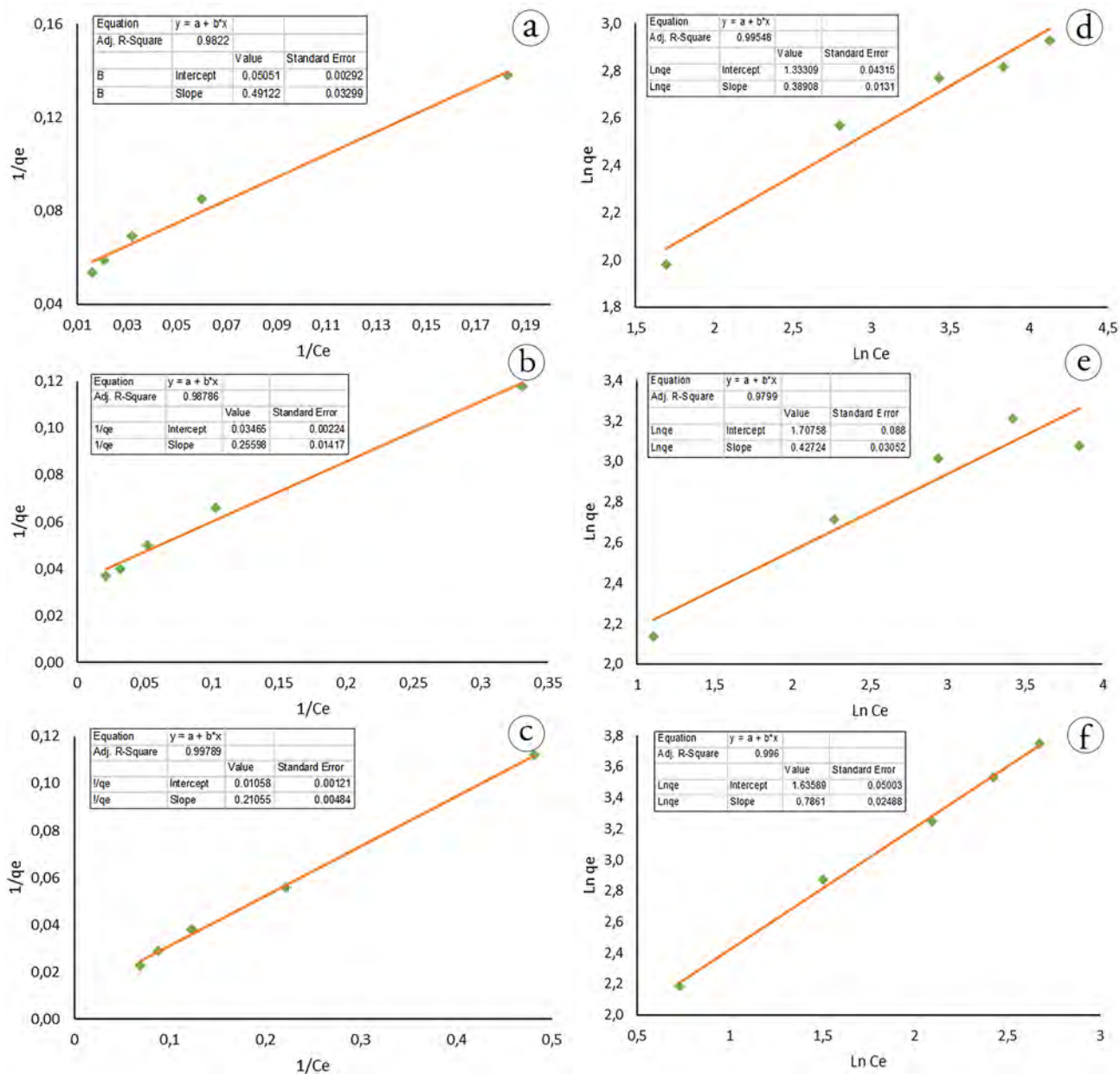


Figure 4. Fitting of the experimental data to the Langmuir and Freundlich isotherms. a) Langmuir isotherm pH 4; b) Langmuir isotherm pH 6; c) Langmuir isotherm pH 8; d) Freundlich isotherm pH 4; e) Freundlich isotherm pH 6; f) Freundlich isotherm pH 8.

Also, adsorption kinetics were performed, and experimental data were correlated to determine the equilibrium systems between MB/adsorbent using the Langmuir and Freundlich models.

Figure 4 shows that the experimental data obtained fit better to Langmuir and Freundlich models at pH higher than $\text{pH}_{\text{PZC}} = 5.05$. In the Langmuir model fitting at a pH of 8, $q_{\text{max}} = 94.52$ represents the maximum adsorption capacity of the solid phase, and $b = 0.05$ is a parameter reflecting the affinity of the adsorbent for the adsorbate. The values were comparable to those reported in the methylene blue adsorption with cotton peel (*Gossypium hirsutum L.*) (Zaval-Flores *et al.* 2024). In the Freundlich model fitting, at a 7 and 8 pH, n values close to 1 were obtained, which means that chemisorption is favored in the active sites. Similarly, K values range from 3 to 5 suggesting that methylene blue is retained by the adsorbent through chemisorption (Rivas *et al.* 2014).

Chemisorption can occur due to Camalote grass and methylene blue contain functional groups capable of interacting with each other through hydrogen bonds. Figure 5a shows a representation of the interaction between the adsorbent and methylene blue through hydrogen bonds. Figure 5b shows the FTIR spectrum obtained after the adsorption process where it is observed that the initial peaks presented in Figure 1b are shifted to longer wavelengths due to the interaction by hydrogen bonds between the links. Vibrations after the adsorption process for the O-H bond are at $3,334 \text{ cm}^{-1}$ stretching and 665 cm^{-1} torsion; for CH₂-O-H bond at $2,923 \text{ cm}^{-1}$ asymmetric stretching, $2,848 \text{ cm}^{-1}$ symmetrical stretching; $1,455 \text{ cm}^{-1}$ bending; and C-O-C β -glycosidic bond shifted to $1,027 \text{ cm}^{-1}$. A new peak appears in the spectrum at $1,455 \text{ cm}^{-1}$ corresponding to the C-N bond. Results showed that methylene blue was adsorbed within the Camalote grass structure (Jiang & Hu, 2019).

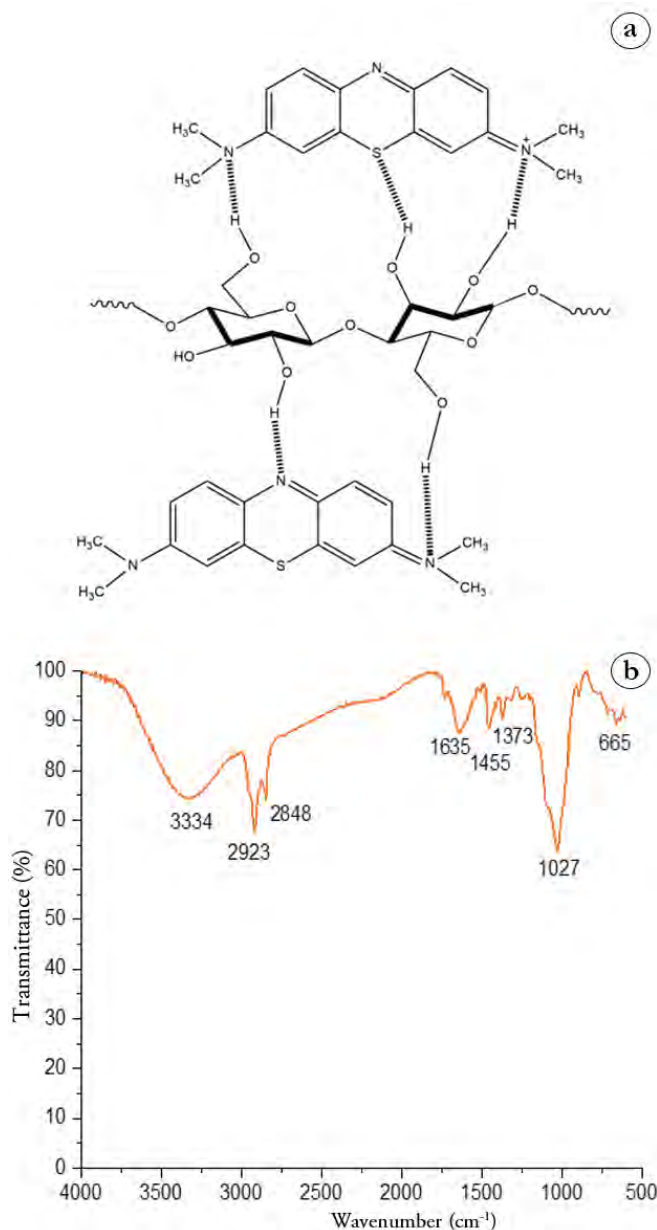


Figure 5. a) Interaction between Camalote grass and methylene blue dye; b) FTIR spectrum after adsorption process.

In this work, it was found that for all MB dye concentrations studied, removal percentages greater than 80% occurred. The adsorption of methylene blue is pH-dependent. The maximum adsorption capacity was 94.52 mg g⁻¹ at pH 8. The results obtained are fitted to the Freundlich and Langmuir isotherms, which shows the formation of a monolayer and a multilayer, and it is suggested that the interaction between blue methylene and the adsorbent are given by chemisorption through hydrogen bonds interactions.

Therefore, it can be concluded that Camalote grass (*Paspalum fasciculatum*) can be considered as an adsorbent material in the treatment of water contaminated with dyes, thus providing a solution to the accumulation of waste aimed at poor final disposal.

Acknowledgments. The authors are grateful to the Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas for the financial support for the translation of this article through the project “Propuesta fortalecimiento gestión editorial de revistas científicas de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A 2023-2024”. **Conflicts of interest:** The manuscript was prepared and reviewed with the participation of all the authors, who declare that there is no conflict of interest that would jeopardize the validity of the results presented. **Funding:** The authors thank the Universidad Popular de la Chontalpa for all sorts of help for carrying out this work. **Authors’ contribution:** Cintya Valerio Cárdenas: Experimental work, methodology, formal data analysis, manuscript review and writing; Patricia de la Cruz Burelo: Structuring of results analysis, manuscript review and writing; Gloria Ivette Bolio López: Research advice, contextualization and manuscript review; Miguel Ángel Velázquez Carmona: Structuring of results analysis, manuscript review and writing.

REFERENCES

- CADAVID-RODRIGUEZ, L.S.; BOLAÑOS-VALENCIA, I.V. 2015. Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía renovable en una ciudad colombiana. *Energética*. 46:23-28.
- CHACÓN, J.C.; GLIESSMAN, S.R. 1982. Use of the “non-weed” concept in traditional tropical agroecosystems of south-eastern Mexico. *Agro-Ecosystems*. 8:1-11. [https://doi.org/10.1016/0304-3746\(82\)90010-5](https://doi.org/10.1016/0304-3746(82)90010-5)
- HAMEED, B.H. 2009. Grass waste: A novel sorbent for the removal of basic dye from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*. 166(1):233-238. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.019>
- HANAFI, M.F.; SAPAWE, N. 2020. A review on the water problem associate with organic pollutants derived from phenol, methyl orange, and remazol brilliant blue dyes. *Materials Today: Proceedings*. 31(1):A141-A150. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.258>
- HASHEM, A.H.; SAIED, E.; HASANIN, M.H. 2020. Green and ecofriendly bio-removal of methylene blue dye from aqueous solution using biologically activated banana peel waste. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 18:100333. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100333>
- ISLAM, T.; REPON, M.; ISLAM, T.; SARWAR, Z.; RAHMAN, M.M. 2023. Impact of textile dyes on health and ecosystem: a review of structure, causes, and potential solutions. *Environmental Science and Pollution Research*. 30:9207-9242. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24398-3>
- JIANG, Z.; HU, D. 2019. Molecular mechanism of anionic dyes adsorption on cationized rice husk cellulose from agricultural wastes. *Journal of Molecular Liquids*. 276:105-114. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.11.153>
- LUO, J.; HUANG, K.; ZHOU, X.; XU, Y. 2020. Hybrid films based on holistic celery nanocellulose and lignin/hemicellulose with enhanced mechanical properties and dye removal. *International Journal of Biological Macromolecules*. 47:699-705. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.102>
- MEILI, L.; LINS, P.V.S.; COSTA, M.T.; ALMEIDA, R.L.; ABUD, A.K.S.; SOLETTI, J.I.; DOTTO, G.L.; TANABE, E.H.; SELLAOUI, L.; CARVALHO, S.H.V.; ERTO, A. 2019. Adsorption of methylene blue on agroindustrial wastes: Experimental investigation and phenomenological modelling. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 141:60-71. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2018.07.011>
- OLADOYE, P.O.; AJIBOYE, T.O.; OMOTOLA, E. O.; OLUSOLA JOEL OYEWOLA, O.J. 2022. Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater. *Results in Engineering*. 16:100678. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>
- RIOS, A.G.; MATOS, L.C.; MANRIQUE, Y.A.; LOUREIRO, J.M.; MENDES, A.; FERREIRA, A.F.P. 2020. Adsorption of anionic and cationic dyes into shaped MCM-41. *Adsorption*. 26:75-88. <https://doi.org/10.1007/s10450-019-00176-5>
- RIVAS, C.F.; NUÑEZ, O.; LONGORIA, F.; GONZÁLEZ, L. 2014. Isotherma de Langmuir y Freundlich como modelos para la adsorción de componentes de ácido nucleico sobre WO₃. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela*. 26(1):43-49.
- SUN, L.; HU, D.; ZHANG, Z.; DENG, X. 2019. Oxidative Degradation of Methylene Blue via PDS-Based Advanced Oxidation Process Using Natural Pyrite. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16:4773. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234773>

ZAVAL-FLORES, E.; FLORES-LÓPEZ, L.Z.; ALONSO-NUÑEZ, G.; ESPINOZA-GÓMEZ, H. 2024. Removal and adsorption kinetics of methylene blue dye by pristine cotton husk bracts (*Gossypium hirsutum* L.) from agroindustrial waste. *Industrial, Crops and Products*. 209:117947. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117947>

Application of Google Earth Engine in the preliminary analysis of fire severity in the Iberá National Park and Reserve, Argentina

Aplicación de Google Earth Engine en el análisis preliminar de la severidad de incendios en la Reserva y Parque Nacional, Argentina

Humberto Smichowski¹ ; Felix Ignacio Contreras^{2,3*} 

¹Instituto de Estudios Sociales y Humanos – IESyH (CONICET/UNAM). Posadas, Misiones-Argentina; e-mail; cepismichowski@gmail.com

²Centro de Ecología Aplicada del Litoral – ECOAL (CONICET/UNNE). Corrientes, Provincia de Corrientes, Argentina.

³Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencia Exactas y Naturales y Agrimensura. Chaco, Provincia de Corrientes, Argentina; e-mail: ignaciocontreras@exa.unne.edu.ar

*Corresponding author: ignaciocontreras@exa.unne.edu.ar

How to cite: Smichowski, H.; Contreras, F.I. 2024. Application of Google Earth Engine in the preliminary analysis of fire severity in the Iberá National Park and Reserve, Argentina Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2464. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2464>

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

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

Received: April 5, 2023

Accepted: December 5, 2023

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Fires are one of the most aggressive and sudden disturbances that can affect ecosystems. During the first months of the year 2022, a series of fires of great magnitude spread in the Iberá streams, which is the largest wetland in Argentina and the second largest in South America after the Pantanal in Brazil, with devastating environmental and social consequences. The aim of this study is to analyze the fires that occurred in the Iberá Reserve and National Park located in the province of Corrientes at the beginning of the year 2022 using remote sensing techniques through the Google Earth Engine processing platform. In this study, the total affected areas were calculated and their severity was analyzed. The results indicate that approximately 20 % of the reserve and close to 50 % of the Iberá National Park have been burned, with a predominance of severity levels ranging from moderate high to high. Remote sensing techniques are a significant resource in fire monitoring, making it a powerful tool in planning regulations or measures aimed at contributing to the mitigation, management, and early warning of fires.

Keywords: Biomass burning; Environmental risk; Fire mapping; Remote sensing of natural fires; Wetland fire.

RESUMEN

Los incendios son una de las perturbaciones o disturbios más agresivos y repentinos que pueden afectar a los ecosistemas. Durante los primeros meses del año 2022 se propagaron una serie

de incendios de gran magnitud en los esteros del Iberá, el cual es el mayor humedal de Argentina y el segundo de Sudamérica luego del Pantanal en Brasil, con consecuencias ambientales y sociales devastadoras. El objetivo del trabajo consiste en analizar los incendios ocurridos en la reserva y el Parque Nacional Iberá ubicada en la provincia de Corrientes a principios del año 2022 aplicando técnicas de teledetección a través de la plataforma de procesamientos de Google Earth Engine. En este trabajo se calculó las áreas totales afectadas analizándose la severidad de estas. Los resultados muestran que se ha quemado alrededor del 20 % de la reserva y cerca del 50 % del Parque Nacional Iberá con predominio de niveles de severidad entre moderada alta y alta. Las técnicas de teledetección son un insumo significativo en el monitoreo de incendios, lo que la vuelve una herramienta potente en la planificación de normativas o medidas que contribuyan con la mitigación, gestión y alerta temprana de incendios.

Palabras clave: Incendio de humedales; Mapeo de incendios; Quema de biomasa; Riesgo ambiental; Teledetección de incendios naturales.

INTRODUCTION

Fires, both those of natural and anthropogenic origin, are one of the most aggressive and sudden disturbances that can affect ecosystems, strongly depleting and modifying their structure and composition, and their impact can be reflected both locally and globally (Peña & Ulloa, 2017; Montiel *et al.* 2021; Smichowski *et al.* 2021; Díaz *et al.* 2023). Their manifestation, especially those of large

magnitude, affect the natural evolution of ecosystems directly, and biogeochemical cycles, local climate and other variables indirectly (Cruzten & Andreade, 1990; Hoffmann *et al.* 2003). These can eliminate a large portion, or even all, of the protective vegetation cover, with the consequent loss of soil aggregates, greatly increasing soil erodability (Neary *et al.* 2005). In addition, they can cause a slower recovery of many plant species in different strata, generating greater accumulations of coarse fuels and increasing the severity of future fires (Lentile *et al.* 2006; Botella-Martínez & Fernández-Manso, 2017).

However, the consequences of this type of disturbance are not always negative, since in many regions it plays a key ecological role by contributing to ecosystem balance (Ferrelli, 2023; Kunst *et al.* 2015). In turn, in certain regions fire is used as a tool for vegetation management and clearing (Smichowski *et al.* 2021). As mentioned by Soares *et al.* (2021), in some cases sexual reproduction of plants is favored by enhancing post-fire flowering or facilitating fruit spreading, releasing seeds (Lamont *et al.* 2019), as long as they can survive the fire event (Cirne & Miranda, 2008).

The effects of fire on germination appear to differ among fire-prone habitats. A growing number of species from fire-prone neotropical ecosystems have shown little or no fire-related effect on increased germination; however, heat tolerance has been noted as a crucial trait for surviving fire, rather than rupture latency (Zupo *et al.* 2021). On the contrary, as the authors state, temperate ecosystems, mainly Mediterranean vegetation, usually present species that show fire-stimulated germination.

Following a fire, there are direct effects on the ecosystem that include loss of organic matter and changes in inorganic matter, as well as on the short and medium term survival potential of vegetation (Guillem-Cogollos *et al.* 2017). This damage linked to high burn severity can even affect instantaneous energy fluxes (Sánchez *et al.* 2009) and their resilience (Paula *et al.* 2009; Tessler *et al.* 2014), leading ecosystems to irreversible stages, causing a loss of environmental ecosystem services (Gómez-Sánchez *et al.* 2017). In areas where the severity has been low or even moderate, trees will remain alive but weakened, leaving them exposed to invasive organisms, which can lead to pest outbreaks and the entry of invasive species (Gibson & Negrón, 2009; Botella-Martínez & Fernández-Manso, 2017). On the other hand, they also have an impact on greenhouse gas concentrations, loss of animal biodiversity, as well as triggering damage to people, infrastructure and the economy (Omi, 2005; Chuvieco, 2008; Botella-Martínez & Fernández-Manso, 2017). For all these statements, it is important to consider that fires can also be natural and that they occur worldwide in a certain season and will continue to occur; therefore, their permanent monitoring and study are important.

In recent years, fires have been recurrently manifested in South America, and the Argentine territory is an example of this (Delegido *et al.* 2018; Smichowski *et al.* 2021). During 2020, fires were recorded in 22 of the 23 provinces that comprise the Argentine national territory (MAyDS, 2020). The province of Corrientes was

affected by a large number of fire outbreaks distributed throughout the territory, with around 20 % of the peri-urban area of the city being burned (Smichowski *et al.* 2021).

Undoubtedly, these would be some of the examples that allow us to take back possible future scenarios associated with climate change, whose repercussions on a local scale have high levels of uncertainty. Therefore, it is essential to have accurate information obtained in the shortest possible time, if there is a need for measures to mitigate imminent socio-environmental risks. In this context, it is essential to have a mapping of burned areas to understand the trends over time in terms of the degree to which fires affect a given territory, as well as to facilitate their prevention (Botella-Martínez & Fernández-Manso, 2017). Undoubtedly, this is a very relevant point in risk management, especially when trying to cover large extensions or where accessibility to certain locations is limited.

For several decades, fire ecologists and managers have used remote sensing, including photointerpretation, to geographically locate both old and active fires to obtain their frequency and extent (Díaz-Delgado & Pons, 1999). The various technologies developed in the field of spatial remote sensing currently allow rapid detection and quantification of the areas affected by fire (Mattar *et al.* 2012). The great spatial coverage capacity and high frequency of observation provided by satellite sensors, together with the speed with which data can be obtained, make them a valuable resource for fire detection and mapping (Chuvieco, 2008).

In this regard, perimeter delimitation of burned areas (Key & Benson, 2006), studies on vegetation recovery after a fire (Díaz-Delgado & Pons, 1999), establishment of the number of active fire hotspots (Díaz *et al.* 2023), are some of the possible applications offered by remote sensors for the analysis of fires in order to establish fire management strategies.

Within this range of applications of remote sensors to the study of fires, one of the main ones is related to the severity of burned areas, defined as the damage caused by the passage of fire expressed by the magnitude of the ecological change caused (Key & Benson, 2006). It is considered, in turn, as a descriptor of the environmental impact of fire and a determining factor in explaining ecosystem response (Lentile *et al.* 2006).

The post-fire severity level can be determined by several procedures, although remote sensing is the only method capable of providing acceptable estimates at a regional scale and in the required time (Martínez *et al.* 2017). Through the application of the dNBR index, based on the calculation of the NBR (Normalized Burn Ratio) before and after the fire, it is possible to distinguish which areas were the most and least affected by the fire (Key & Benson, 2006).

The response of the vegetation will depend on the severity of the fire on it (Frolking *et al.* 2009; Jin *et al.* 2012; Veraverbeke *et al.* 2013), which is a consequence of the intensity of the burn (temperature and duration of the fire). This factor, together with the

environmental characteristics of the burned areas (vegetation type, soil chemical composition, meteorology and plant reproduction strategy) determine the resources affected and the foreseeable time during which these resources will not be available (Pausas, 2012). Their quantification is critical for the rehabilitation of burned areas, since, from the determination of the effect of fire, it is also possible to study the differences in regeneration after its manifestation. The more severe the calcination of biomass, the more severe the impact on ecosystem resilience, i.e., its capacity to return to its pre-disturbance state (De Santis & Chuvieco, 2007; Chen *et al.* 2011). On the other hand, this is also important in the control of hydrological and erosive risk (Robichaud *et al.* 2000).

On the basis of the aforementioned, it is important to have operational techniques that allow estimating the severity of fire impact and enable managers to better plan their post-fire actions. Therefore, the purpose of this work is to apply remote sensing tools to delimit the areas affected by the fires that occurred in the Iberá reserve during the first months of the year 2022 and to determine the different levels of severity.

MATERIALS AND METHODS

The Iberá macrosystem is one of the most important subtropical wetlands in the biosphere in terms of its extension and the species that inhabit it, both animal and plant. It comprises a complex water system composed of lentic and lotic environments, made up of small shallow lakes, marshy environments locally known as estuaries or glans, depending on their extension or permanence of their waters and even intricate river courses (Neiff, 2003).

Located in the upper basin south of the Paraná River and entirely within the province of Corrientes, it covers an area of 13,000 km² (Neiff, 2001), making it the second largest wetland in South

America after the Pantanal in Brazil. It is characterized by a humid subtropical climate, with average temperatures of around 21 °C, with maximum temperatures of over 40 °C and a windchill factor of 50 °C. Due to its extension, annual rainfall is in the order of 1,200 to 1,700 mm with an increasing gradient from SW to NE (Contreras & Ojeda, 2016). Although there is a significant reduction in rainfall amounts during the winter season, abundant precipitation is recorded from spring to autumn, with maximums in the latter, mainly in the months of April and May.

The Iberá macrosystem was declared a Provincial Natural Reserve in 1983 by Act 3771 (Honorable Cámara de Diputados, 1983), with the purpose of conserving the natural heritage of the Provincial State, which generated a paradigm shift between biodiversity conservation and economic production. It should be noted that, due to the large floodable extensions, Iberá was considered a region of unproductive lands, dominated by extensive cattle raising.

Within the Iberá Reserve (IR), there is the “Gran Parque Iberá” of 7,680 km², of which 6,000 km² belong to the province, while the remaining 1,680 km² belong to the national government. Gran Parque Iberá was constituted in 2015 through the donation of land, both public and private; and from this moment on, this region had a strong growth in tourist activity, which is enabled throughout the year.

In this context and considering the difficulty to enter the IR, there are currently portals that are access routes to the different protected areas within the reserve. In this research we propose to work with the areas of Cambyretá, San Nicolás / San Alonso, Carambola and Rincón del Socorro, which are part of the Gran Parque Iberá and have different levels of management both provincial and national administration (Figure 1).

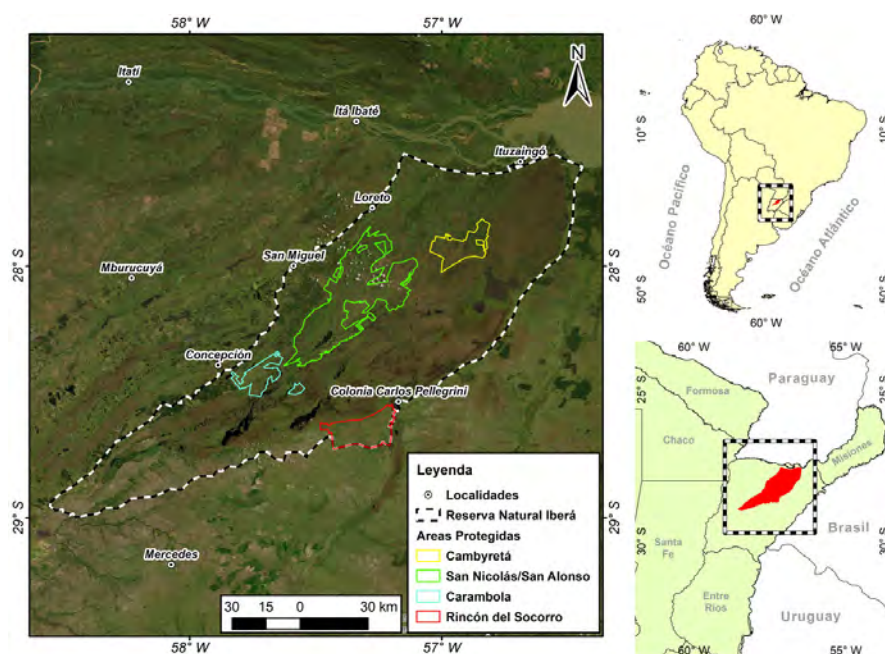


Figure 1. Location of the Iberá Natural Reserve and Portals (province of Corrientes, Rep. Argentina).

For the analysis of burned areas, Sentinel 2A images were used in the Google Earth Engine platform, which are orthorectified and corrected with surface level reflectance (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED). The pre-fire image (initial condition) corresponds to December 2021, while an image from the end of February 2022 was selected as the post-fire image. The dates were chosen based on the record of the beginning of the fires and their prolongation over time, which were obtained through optical analysis of raw images, journalistic information and information from key informants.

The NBR index was calculated on both images (Equation 1), which is obtained by operating on the NIR (Near infrared) bands, whose reflectivity decreases due to the disappearance of active vegetation, and the SWIR (Short-wave Infrared), in which reflectivity increases due to moisture loss, greater soil exposure and lower shadows cast by the vegetation (Escuin *et al.* 2008; Gómez-Sánchez *et al.* 2017; Guillem-Cogollos *et al.* 2017; Chuvieco, 2002).

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR}) \quad \text{equation 1}$$

The operation yields result between -1 and 1, and takes low values for areas affected by fires, while for unaffected areas it acquires high values (Key & Benson, 2006; Anaya *et al.* 2018). Once the NBR indexes were obtained for the pre- and post-fire images, the dNBR was calculated using equation 2.

$$\text{dNBR} = (\text{NBR pre} - \text{NBR pos}) \quad \text{equation 2}$$

The dNBR values are based on the temporal change in reflectance of pre- and post-fire images, correlated with the magnitude of environmental change caused by fire (Arellano Pérez *et al.* 2017). These were classified considering the criteria of Key & Benson (1999), where it is stated that negative values correspond to unaffected or recovered areas after the fire, while positive values correspond to burned areas. As the study consisted of analyzing burned areas, only values greater than 0,1 according to the classification proposed by Key & Benson (1999) were used (Table 1).

After obtaining the data, total burned areas and burned areas by severity levels were calculated for the Iberá Reserve as a whole and for the four portals, respectively (Table 2).

Table 1. Range of fire severity categories

NBR	FIRE SEVERITY
< -0,25	High restocking
-0.25 a -0.1	Low restocking
-0,1 to 0,1	Not burned
0,1 to 0,27	Low severity
0,27 to 0,44	Moderate low severity
0,44 to 0,66	Moderate high severity
> 0,66	High severity

Source: Key & Benson (1999)

Table 2. Total burned and not burned areas for the different areas under study.

	Cambyretá (ha)	San Alonso/ San Nicolás (ha)	Carambola (ha)	Rincón del Socorro (ha)	Total in Portals (ha)	Iberá total (ha)
Portal surface	23,482	107,081	17,832	31,288	179,684	1,249,770
Burned surface	16,201	53,097	6,654	9,600	85,553	242,554
Not burned surface	7,281	53,983	11,178	21,688	94,130	1,007,215

RESULTS AND DISCUSSION

Using the combination of RGB = 12-8-3 Sentinel 2A bands, a first approximation of the affected areas within the Iberá Reserve was made, which allowed us to compare the pre-fire (Figure 2a) and post-fire (Figure 2b) situations. Undoubtedly, the most affected areas were found to the north of the study area, identified in reddish and brownish tones.

The calculation of the area burned without discriminating by severity level showed that 242,554.6 ha of the reserve were burned. Therefore, it was possible to state that in 40 days 19.4 % of the total area of the IR was burned, at a rate of 6,000 ha/day.

The results by protected areas showed that the most affected portal was Cambyretá (69 %), followed by San Nicolás/San Alonso (49.6 %), Carambola (37.3 %) and Rincón del Socorro (30.7 %),

respectively. It should be noted that the portals are access areas to the reserve, which can be nationally or provincially administered.

In total, one out of every five hectares of the IR burned, while the value increased to one out of every two if we count only the portals under study. This means that the impact of fires was greater in the protected areas under study than in the reserve in general.

The severity results showed a predominance of moderately low to high values in the IR, with a low severity sector located in the

northern center of the reserve (Figure 2c).

Figure 3 shows the absolute areas burned for each of the portals, the total sum of these and those corresponding to the Iberá Reserve (IR) as a whole. In all cases, moderate severity levels predominated, especially high moderate severity, except in Rincón del Socorro, where high severity is higher than low moderate severity.

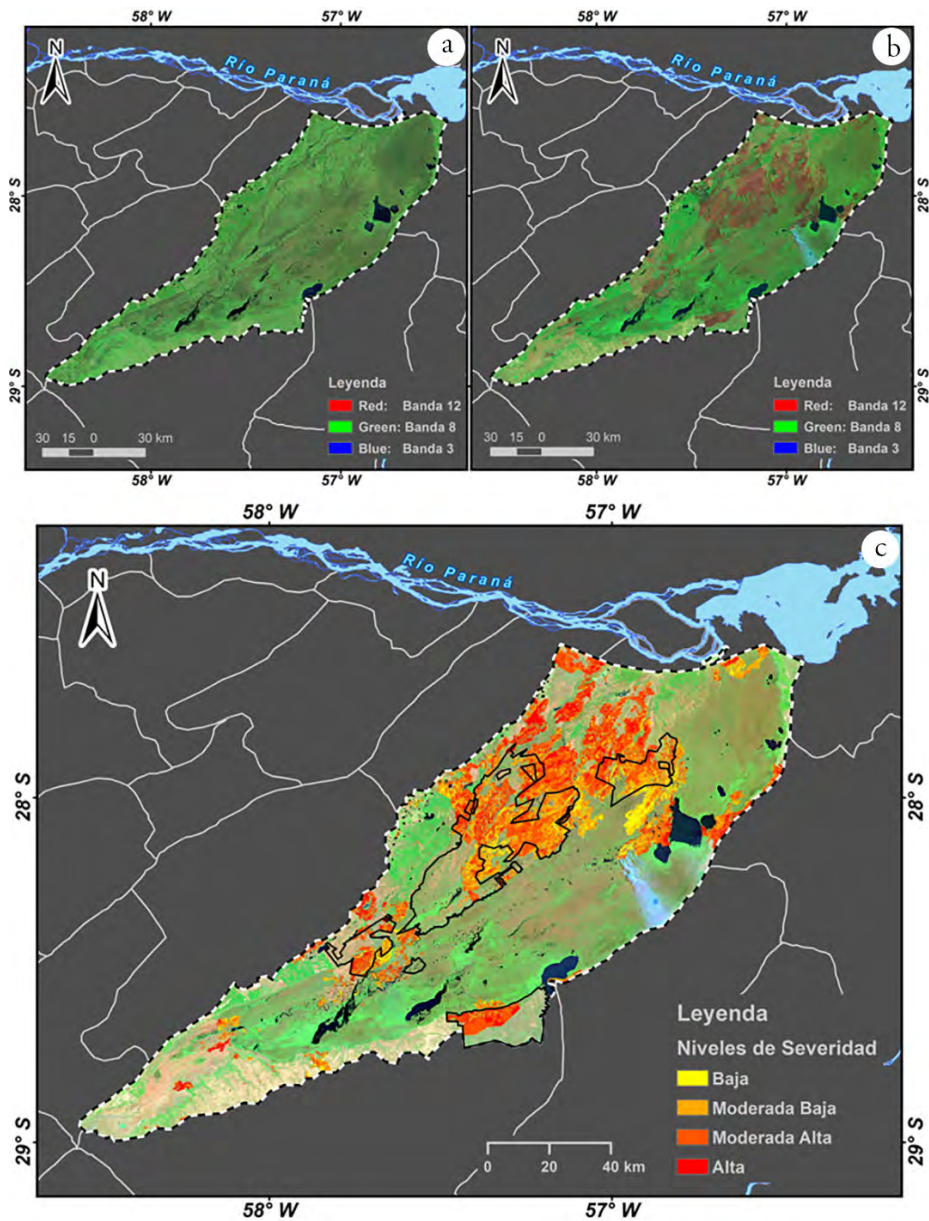


Figure 2. Comparison between pre-fire and post-fire images of Iberá Reserve during the first months of 2022. a) Pre-fire image; b) Post-fire image; c) Severity of burned areas.

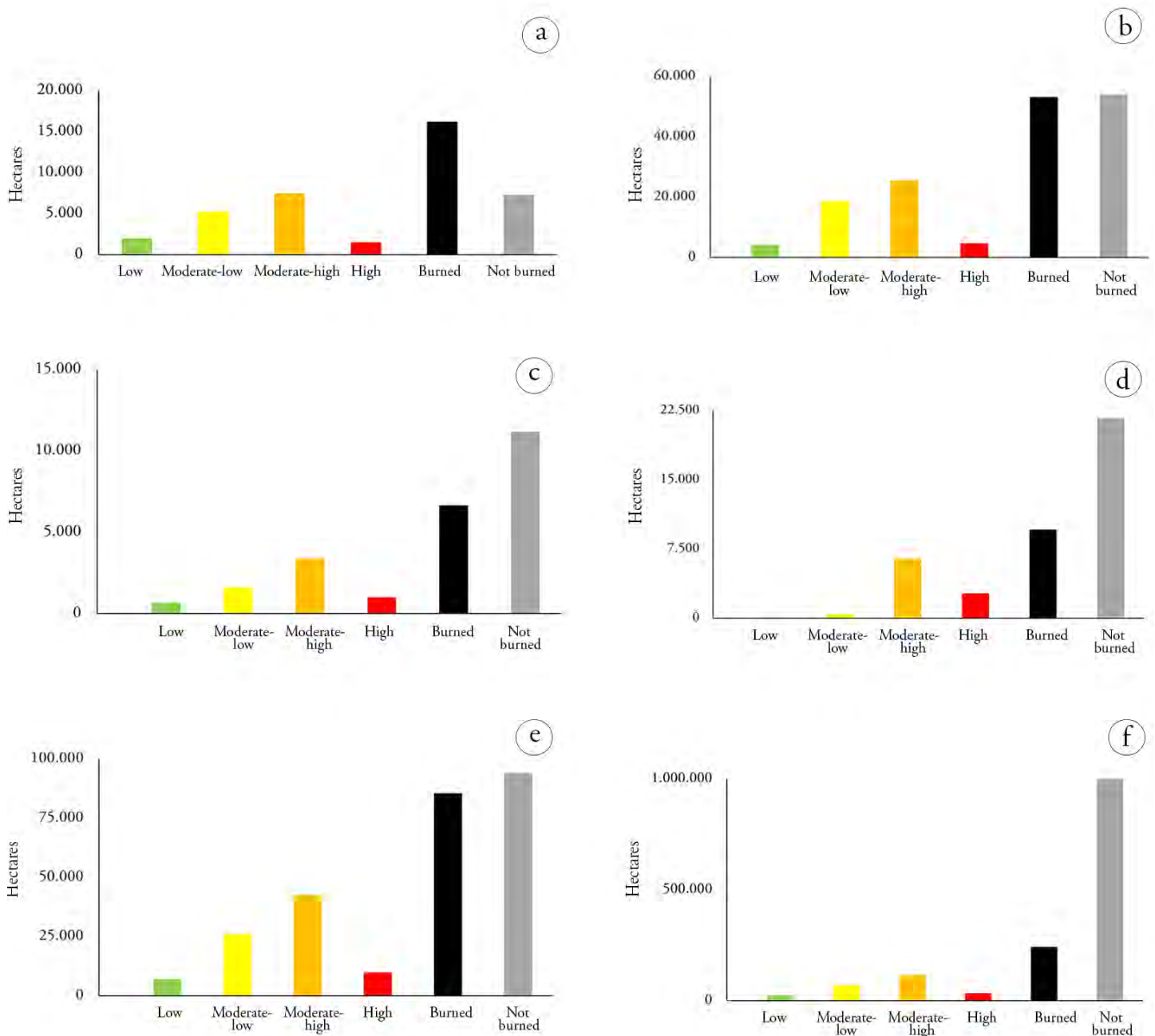


Figure 3. Areas burned according to severity level by portals, in the portals as a whole and Iberá Reserve between January and February 2022. a) Cambyretá; b) San Alonso/San Nicolás; c) Carambola; d) Rincón del Socorro; e) Sum of portals; f) Iberá Reserve.

Figure 4 shows the percentage of burned areas according to severity levels. The first thing that can be seen is the high levels of burn severity, since if the high severity and high moderate severity classes are added together, the percentage exceeds 50 % in all cases. At the same time, it was possible to note that in general, there was a pattern of severity that was repeated in all the areas analyzed.

Although Cambyretá was the most affected portal in terms of burned area, it was the second most affected in terms of percentage of high severity (9.2 %) and the least affected by high moderate severity. In addition, if the two highest severity levels are added, the result is 55.3 %, the lowest percentage of all the portals. On the

other hand, the Rincón del Socorro portal has the highest severity levels (27.8 % high severity and 66.9 % high moderate severity) and the lowest affected area (30.7 %). This could indicate that, although Cambyretá was the most affected portal in terms of surface area, it is the least affected in terms of severity. Therefore, it could be inferred that it is possible that post-fire recovery is faster. On the other hand, the burned areas in Rincón del Socorro may take longer to recover from the disturbance, given that the severity was greater, perhaps requiring a greater fire management intervention.

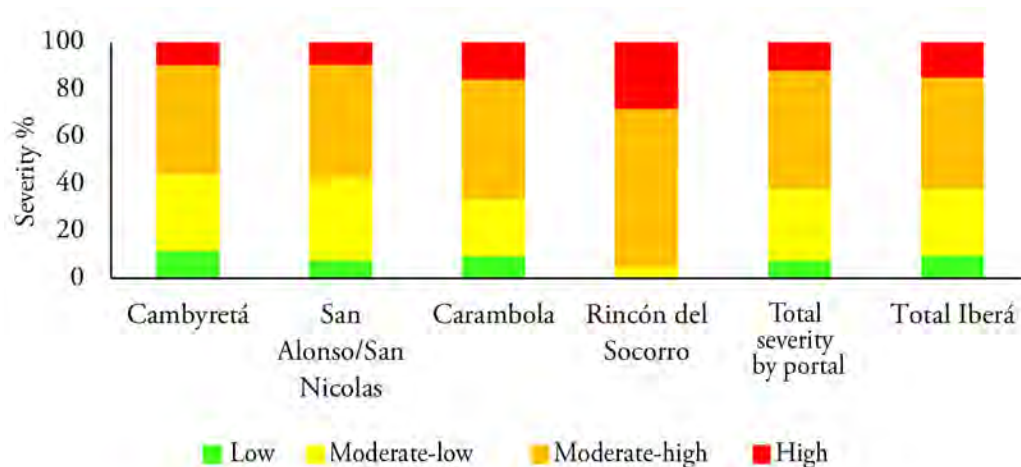


Figure 4. Percentage of burned areas by severity by portals and in the entire Iberá macrosystem (province of Corrientes, Republic of Argentina) between January and March, 2022.

The availability of dry fuel biomass is one of the factors related to fire expansion. However, within the ecosystem and natural cycles that can develop within wetlands, there is methanogenesis, which refers to the production of methane (Romero-Mariscal *et al.* 2023). According to Nicho Alvarado *et al.* (2021), this gas contributes 15 % of the greenhouse effect, which is mostly formed in wetlands. According to the authors, in most natural wetlands with neutral pH, methane would accumulate at high levels during anaerobic decomposition.

Regarding the burned areas, and setting aside the natural aspects mentioned above, the results showed that, proportionally, the most affected areas of the Iberá IR were those with greater human intervention. Whether due to greater development of urban infrastructure or agricultural and livestock activities, the interaction between society and nature is a determining factor in increasing the probability of fire occurrence.

However, the question could be raised as to how areas that are protected and intended for conservation have been affected. At this point, it is worth noting that most of the different portals were originally private property, and even today it is possible to detect livestock and forestry activity within them.

On the other hand, there are no buffer areas or transition spaces that in some way act as firebreaks or at least prevent direct contact between human development and the space to be conserved. Likewise, despite being an area that is protected or with greater restrictions in terms of the anthropic practices that are conducted there, it does not guarantee that fires will be avoided.

Vasco-lucio *et al.* (2022) state that fire severity, understood as the ecological change caused by this disturbance, can be assessed from direct observation of damage levels or from remote sensing techniques based on changes in the reflectivity of burned areas (Montorio Llovería *et al.* 2014). As opposed to visual estimation in the field, which is highly costly in time and money, remote observation provides information with a large spatial coverage, quickly and continuously (Patterson & Yool, 1998), so it is

important and should be constant the search for indexes, models and techniques that allow the correct estimation of severity with spectral information (Montorio Llovería *et al.* 2014). In this regard, the use of Google Earth Engine has been notably extended in recent years, since it allows the processing required for the study of fire severity in a fast and efficient way (Anaya *et al.* 2018; Smichowski *et al.* 2022, Long *et al.* 2019; Wang *et al.* 2022).

In this platform it is possible to find the complete series of images from various satellite systems such as Landsat, Sentinel or MODIS in the cloud, which have geometric and radiometric corrections. This added to the possibility of making mosaics and spatial statistics with the application of simple scripts, decreases processing times significantly compared to traditional remote sensing (Perilla & Mas, 2020; Gorelick *et al.* 2017; Anaya *et al.* 2018).

Within the range of indexes developed, the Normalized Burn Ratio (NBR) has undoubtedly been the most widely used, as it comparatively improves the results obtained by other indexes (Epting *et al.* 2005; Hudak *et al.* 2007; Tanase *et al.* 2011). The NBR index presents good results in the evaluation of fire in general. However, it should be considered that it simply reports the state of the vegetation at the moment, regardless of whether the damage is caused specifically by fire or by other factors such as, for example, pests (Flores-Rodríguez *et al.* 2021). In addition, it is important to consider that burned areas reported with NBR can be confused with water bodies or bare rock areas (Heredia Laclaustra *et al.* 2003), and the presence of smoke in active foci also interferes with the detection of burned areas. In landscapes associated with the study area, it has been shown that dry wetland vegetation generates errors in the overestimation of burned areas (Smichowski *et al.* 2021), which makes it necessary to conduct careful controls of the results obtained.

These problems can be solved with the application of dNBR since, by comparing the situation before and after the fire, it improves the delimitation of the area effectively affected by the passage of fire. At the same time, it allows detecting the severity with which the fire acted in different places by measuring the magnitude of changes

in surface cover (Key & Benson 2006). However, considering that in most cases fires occur in times of drought, many times the changes produced by water stress in the environment between the pre- and post-fire image are shown in the dNBR as mainly low severity levels (Anaya *et al.* 2018). On the other hand, changes in land use such as harvesting of agricultural or forest plots, clearing of forest patches or woodlands, opening of land for urban lots, or the presence of surface water can also be confused with areas affected by fire (Key & Benson 2006; Flores-Rodríguez *et al.* 2021). Many of these drawbacks can be solved by optical analysis performed by users, who must be trained to detect fire scars. This is why the combination of remote sensing tools with optical analysis in geographic information systems is of vital importance, as it can make up for some of the shortcomings of automatic processing (Chuvienco, 2008, Smichowski *et al.* 2021, Saucedo *et al.* 2023).

The use of Sentinel 2A imagery was appropriate. Although it has a better spatial, spectral and radiometric resolution than Landsat 8, the most significant for this case was the temporal resolution of 5 days compared to 16 days for Landsat. Undoubtedly, this makes it possible to obtain information closer in time to the event that needs to be monitored (Guerrero *et al.* 2017). This is important in the case of Iberá where most of the vegetation affected by disturbances is fast recovering.

Regarding the results obtained with the severity analysis, it is interesting to note that high severity degrees dominated, in general (Figure 4) which would evidence that mainly tree species were burned (López García, 2020; Kitzberger & Grosfeld, 2016). However, recent studies conducted in the area show that areas with streams and marshland vegetation, which is the predominant vegetation in the Iberá area, were burned (Saucedo *et al.* 2023). This may be due to the fact that wetland vegetation has high reflectance, therefore, the difference between the pre-fire and post-fire image is high and, consequently, it is classified as high severity. Another point in question, and as described above, the generation of methane by the decomposition of biomass generates greater heat intensity than the burning of the biomass itself. In this regard, it would be interesting to cross-check severity levels with a breakdown according to the different environments burned to better adjust the severity levels.

In summary, although the fires can be associated with the drought context, it is important to consider the factors that contributed to their spread, especially in wetlands. In this regard, low rainfall, high evaporation rates, the presence of dry biomass, the reduction of both the area covered and the water level of wetlands, plus conditions conducive to methane oxidation, could be the main natural triggers of fire outbreaks, which in turn would explain the differences in severity in the different portals studied.

In this regard, the use of Google Earth Engine has made it possible to optimize the time and resources needed to obtain information of great value, not only because of its veracity, but also because of its importance for the evaluation of the severity of the disaster. In conclusion, the use of this methodology constitutes a significant

input in fire monitoring, which makes it a powerful tool for the planning of regulations or measures that contribute to the mitigation, management and early warning of fires.

Acknowledgments. The authors are grateful for the valuable contribution of the comments and suggestions made by the anonymous reviewers that made it possible to substantially improve the quality of this article. Additionally, the authors thank to Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas for the financial support for the translation of this article through the project “Propuesta fortalecimiento gestión editorial de revistas científicas de la Universidad de Ciencias Aplicadas U.D.C.A 2023-2024”. **Conflicts of interest:** The manuscript was prepared and revised with the participation of all authors, who declare that there is no conflict of interest that would jeopardize the validity of the results presented. **Funding:** The work was partially funded by projects 19Q002, 20Q001 and Line PROFIN 2023 of the Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. **Authors’ contribution:** Humberto Smichowski: Methodological development, validation of results and writing of the manuscript. Felix Ignacio Contreras: Conceptualization, manuscript writing, supervision, project management.

REFERENCES

- ANAYA, J.A.; SIONE, W.; RODRÍGUEZ-MONTELLANO, A.M. 2018. Burned area detection based on time-series analysis in a cloud computing environment. *Revista de Teledetección*. 51:61-73. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.8618>
- ARELLANO PÉREZ, S.; VEGA, J.A.; RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; FERNÁNDEZ, C.; VEGA-NIEVA, D.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D. 2017. Validation of the remote sensing indices dNBR and RdNBR to assess fire severity in the Oia-O Rosal (Pontevedra) wildfire in 2013. *Revista de Teledetección*. 49:49-61. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7137>
- BOTELLA-MARTÍNEZ, M.A.; FERNÁNDEZ-MANSO, A. 2017. Study of post-fire severity in the Valencia region comparing the NBR, RdNBR and RBR indexes derived from Landsat 8 images. *Revista de Teledetección*. 49:33-47. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7095>
- CHEN, X.; VOGELMAN, J.E.; ROLLINS, M.; OHLEN, D.; KEY, C.H.; YANG, L.; CHENGQUAN, H.; SHI, H. 2011. Detecting post-fire burn severity and vegetation recovery using multitemporal remote sensing spectral indices and field-collected composite burn index data in a ponderosa pine forest. *International Journal of Remote Sensing*. 32(23):7905-7927. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.524678>
- CHUVIECO, E. 2002. *Teledetección Ambiental*. Ed. Ariel Ciencia, Barcelona, España. 608p.

- CHUVIECO, E. 2008. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Tercera edición. Barcelona-España, Editorial Ariel. 590p.
- CIRNE, P.; MIRANDA, H.S. 2008. Effects of prescribed fire on the survival and release of seeds of *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart. (Clusiaceae) in savannas of Central Brazil. *Brazilian Journal Plant Physiology*. 20(3):197-204. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000300004>
- CONTRERAS, F.I.; OJEDA, E.A. 2016. El paisaje de Lomadas arenosas de la Reserva de los Esteros del Iberá. En: Contreras, F.I.; Odriozola, M.P. (Compiladores). III Libro de la Junta de Geografía de la Provincia de Corrientes. p.51-58.
- CRUTZEN, P.J.; ANDREAE, M.O. 1990. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*. 250:1669-1678. <https://doi.org/10.1126/science.250.4988.1669>
- DE SANTIS, A.; CHUVIECO, E. 2007. Burn severity estimation from remotely sensed data: Performance of simulation versus empirical models. *Remote Sensing of Environment*. 108(4):422-435. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.022>
- DELEGIDO, J.; PEZZOLA, A.; CASELLA, A.; WINSCHER, C.; URREGO, E.P.; JIMENEZ, J.C.; SORIA, G.; SOBRINO, J.A.; MORENO, J. 2018. Estimación del grado de severidad de incendios en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, usando Sentinel-2 y su comparación con Landsat-8. *Revista de Teledetección*. 51:47-60. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.8934>
- DÍAZ, A.A.; CONTRERAS, F.I.; FERRELLI, F.; SMICHOVSKI, H. 2023. Efectos de las sequías en los focos de calor en la provincia de Formosa, Argentina: un análisis realizado con herramientas de teledetección. *Novum Ambiens*. 1(1):1-10. <https://doi.org/10.31910/novamb.v1.n1.2023.2336>
- DÍAZ-DELGADO, R.; PONS, X. 1999. Seguimiento de la regeneración vegetal post-incendio mediante el empleo del NDVI. *Revista de teledetección*. 12:73-77.
- EPTING, J.; VERBYLA, D.; SORBEL, B. 2005. Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sensing of Environment*. 96(344):328-339. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.002>
- ESCUIN, S.; NAVARRO, R.; FERNANDEZ, P. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*. 29(4):1053-1073. <https://doi.org/10.1080/01431160701281072>
- FERRELLI, F. 2023. Remote sensing applications for effective fire disaster management plans: A review. *Information System and Smart City*. 1(1):133.
- FLORES-RODRÍGUEZ, A.G.; FLORES-GARNICA, J.G.; GONZÁLEZ-EGUIARTE, D.R.; GALLEGOS-RODRÍGUEZ, A.; ZARAZÚA-VILLASEÑOR, P.; MENA-MUNGUÍA, S. 2021. Análisis comparativo de índices espectrales para ubicar y dimensionar niveles de severidad de incendios forestales. *Investigaciones geográficas*. 106:e60396. <https://doi.org/10.14350/rig.60396>
- FROLKING, S.; PALACE, M. W.; CLARK, D.B.; CHAMBERS, J.Q.; SHUGART, H.H.; HURTT, G.C. 2009. Forest disturbance and recovery: A general review in the context of spaceborne remote sensing of impacts on aboveground biomass and canopy structure. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*. 114(G2). <https://doi.org/10.1029/2008JG000911>
- GIBSON, K.; NEGRÓN, J.F. 2009. Fire and bark beetle interactions. The Western Bark Beetle Research Group: A Unique Collaboration With Forest Health Protection: Proceedings of a Symposium at the 2007 Society of American Foresters Conference. 51-70.
- GÓMEZ-SÁNCHEZ, E.; DE LAS HERAS, J.; LUCAS-BORJA, M.; MOYA, D. 2017. Ajuste de metodologías para evaluar severidad de quemado en zonas semiáridas (SE peninsular): incendio Donceles 2012. *Revista de Teledetección*. 49:103-113. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7121>
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 202:18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- GUERRERO, A.; PINEDA, L.; PALÀ, V.; CORBERA, J. 2017. Estudio de severidad en el incendio de Albinyana (Catalunya) a partir de datos SENTINEL-2. *Revista de Teledetección*. (49):115-121. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7105>
- GUILLEM-COGOLLOS, R.; VINUÉ-VISÚS, D.; CASELLES-MIRALLES, V.; ESPINÓS-MORATÓ, H. 2017. Estudio crítico de los índices de severidad y la superficie afectada por el incendio de Sierra de Luna (Zaragoza). *Revista de Teledetección*. 49:63-77. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7117>
- HEREDIA LACLAUSTRA, A.; MARTÍNEZ SÁNCHEZ, S.; QUINTERO, E.; PIÑEROS, W.; CHUVIECO, E. 2003. Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes landsat ETM+. *Revista internacional de ciencia y tecnología de la información geográfica*. 3:216-234.


- HOFFMANN, W.A.; ORTHEN, B.; VARGAS DO NASCIMENTO, P.K. 2003. Comparative fire ecology of tropical savanna and forest trees. *Functional Ecology*, 17(6):720-726.
- HONORABLE CÁMARA DE DIPUTADOS. 1983. Ley 3771. Crea la Reserva Natural del Iberá. Disponible desde Internet en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://hcdcorrientes.gov.ar/digesto/legislacion/textos-actualizados/Ley3771.pdf>
- HUDAK, A.T.; MORGAN, P.; BOBBITT, M.J.; SMITH, A.M.; LEWIS, S.A.; LENTILE, L.B.; ROBICHAUD, P.R.; CLARK, J.T.; MCKINLEY, R.A. 2007. The relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects. *Fire Ecology*. 3:64-90. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0301064>
- JIN, Y.; RANDERSON, J.T.; GOETZ, S.J.; BECK, P.S.; LORANTY, M.M.; GOULDEN, M.L. 2012. The influence of burn severity on postfire vegetation recovery and albedo change during early succession in North American boreal forests. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 117(G1). <https://doi.org/10.1029/2011JG001886>
- KEY, C.H.; BENSON, N.C. 1999. The composite burn index (CBI): Field rating of burn severity. U.S. Geological Survey.
- KEY, C.H.; BENSON, N.C. 2006. Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods. En: Lutes, D.C.; Keane, R.E.; Caratti, J.F.; Key, C.H.; Benson, N.C.; Sutherland, S.; Gangi, L.J. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. USDA Forest Service General Technical Report RMS-GTR-164-CD. p.1-55.
- KITZBERGER, T.; GROSFELD, J. 2016. Diagnóstico de la severidad de fuego y propuestas de restauración y manejo a nivel predial para áreas afectadas por el incendio de Cholila de 2015. Conicet, Inibioma; Fundación Naturaleza para el Futuro. 90p.
- KUNST, C.; LEDESMA, R.; BRAVO, S.; DEFOSSÉ, G.; GODOY, J.; NAVARRETE, V.; JAIME, N. 2015. Dinámica del contenido de humedad de pastos y su relación con la ecología del fuego en región chaqueña occidental (Argentina). *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*. 41(1):83-93.
- LAMONT, B.B.; HE, T.; YAN, Z. 2019. Evolutionary history of fire-stimulated resprouting, flowering, seed release and germination. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 94(3):903-928. <https://doi.org/10.1111/brv.12483>
- LENTILE, L.B.; SMITH, F.W.; SHEPPERD, W.D. 2006. Influence of topography and forest structure on patterns of mixed severity fire in ponderosa pine forests of the South Dakota Black Hills, USA. *International Journal of Wildland Fire*. 15(4):557-566. <https://doi.org/10.1071/WF05096>
- LONG, T.; ZHANG, Z.; HE, G.; JIAO, W.; TANG, C.; WU, B.; ZHANG, X.; WANG, G.; YIN, R. 2019. 30 m resolution global annual burned area mapping based on Landsat Images and Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 11(5):489. <https://doi.org/10.3390/rs11050489>
- LÓPEZ GARCÍA, A.R. 2020. Estudio de la severidad del incendio de 2012 y regeneración de la vegetación del Bosque La Primavera, México, mediante imágenes LANDSAT 7. *Revista cartográfica*. 101:35-50. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i101.420>
- MARTÍNEZ, S.; CHUVIECO, E.; AGUADO, I.; SALAS, J. 2017. Severidad y regeneración en grandes incendios forestales: análisis a partir de series temporales de imágenes Landsat. *Revista de Teledetección*. 49:17-32. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7182>
- MATTAR, C.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; DURÁN-ALARCÓN, C. 2012. Estimación del área quemada en el Parque Nacional Torres del Paine utilizando datos de teledetección. *Revista de Teledetección*. 38:36-50.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE-MAYDS. 2020. Manejo del Fuego. Reporte de Incendios. 9p. Disponible desde Internet en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/31-dic-report_e_incendios_.pdf
- MONTIEL, R.; ZANINOVICH, S.C.; BEDRIJ, N.A.; INSAURRALDE, A.; VERDOLJAK, J.J.; FONTANA, J.L.; GATTI, M.G. 2021. Eucalypt plantations for forest restoration in a fire-prone mosaic of grasslands and forests in northern Argentina. *Restoration Ecology*. 29(8):e13452. <https://doi.org/10.1111/rec.13452>
- MONTORIO LLOVERÍA, R.M.; PÉREZ-CABELLO, F.; GARCÍA-MARTÍN, A.; VLASSOVA, L.; DE LA RIVA FERNÁNDEZ, J. 2014. La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales. En: Arnáez Vadillo, J.; González Sampérez, P.; Lasanta Martínez, T.; Valero Garcés, B.L.; García Ruiz, J.M. *Geocología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*. p.427-440.
- NEARY, D.G.; RYAN, K.C.; DEBANO, L.F. 2005. Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water. USDA. Rocky Mountain Research Station. 250p. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-42-V4>

- NEIFF, J.J. 2001. Humedales de la Argentina: sinopsis, problemas y perspectivas futuras. En: Fernández Cirelli, A. El agua en Iberoamérica: Funciones de los humedales. Calidad de vida y agua segura. CYTED. España. p.83-112.
- NEIFF, J.J. 2003. Los ambientes acuáticos y palustres del Iberá. En: Poi de Neiff A. (Ed.) Limnología del Iberá: Aspectos físicos, químicos y biológicos de las Aguas. EUDENE.
- NICHO ALVARADO, O.J.; NAMAY VILLANUEVA, L.; CHIMOY GOMEZ, J.G.; CÁRDENAS DURAND, A.G. 2021. Metanogénesis y biodigestores. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- OMI, P.N. 2005. Forest fires: A reference handbook. ABC-CLIO. 368p.
- PATTERSON, M.W.; YOOL, S.R. 1998. Mapping fire-induced vegetation mortality using Landsat Thematic Mapper data: A comparison of linear transformation techniques. *Remote Sensing of Environment*. 65(2):132-142. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00018-2)
- PAULA, S.; ARIANOUTSOU, M.; KAZANIS, D.; TAVSANOGLU, Ç.; LLORET, F.; BUHK, C.; OJEDA, F.; LUNA, B.; MORENO, J.M.; RODRIGO, A.; ESPELTA, J.M.; PALACIO, S.; FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; FERNANDES, P.M.; PAUSAS, J. G. 2009. Fire-related traits for plant species of the Mediterranean Basin. *Ecology*. 90(5). <https://doi.org/10.1890/08-1309.1>
- PAUSAS, J. 2012. Incendios Forestales. Una visión desde la Ecología. Madrid: CSIC. Catarata. 119p.
- PEÑA, M.A.; ULLOA, J. 2017. Mapeo de la recuperación de la vegetación quemada mediante la clasificación de índices espectrales pre-y post-incendio. *Revista de Teledetección*. 50:37-48. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7931>
- PERILLA, G.A.; MAS, J.F. 2020. Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones Geográficas*. 101:e59929. <https://doi.org/10.14350/rig.59929>
- ROBICHAUD, P.R.; BEYERS, J.L.; NEARY, D.G. 2000. Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments. USDA Forest Service. General Technical Report. RMRS-GTR.-63. 89p.
- ROMERO-MARISCAL, G.; GARCIA-CHEVESICH, P.A.; MORALES-PAREDES, L.; ARENAZAS-RODRIGUEZ, A.; TICONA-QUEA, J.; VANZIN, G.; SHARP, J.O. 2023. Peruvian wetlands: National survey, diagnosis, and further steps toward their protection. *Sustainability*. 15(10):8255. <https://doi.org/10.3390/su15108255>
- SÁNCHEZ, J.M.; RUBIO, E.; LÓPEZ-SERRANO, F.R.; ARTIGAO, M.M.; CASELLES, V.; MOYA, D.N.; ODI, M.M. 2009. Estudio a través de imágenes Landsat 5-TM del efecto de un incendio sobre el balance de energía en superficie en una zona de bosque mediterráneo. *Revista de Teledetección*. 32:72-85.
- SAUCEDO, G.I.; PERUCCA, A.R.; KURTZ, D.B. 2023. Las causas de los incendios de principios del año 2022 en la provincia de Corrientes. *Ecología Austral*. 33(1):273-284. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.2020>
- SMICHOWSKI, H.; CONTRERAS, F.I.; GIESE, A.C.; 2022. Seguimiento de la extensión areal de los humedales subtropicales del noreste de Argentina mediante la aplicación de Google Earth Engine. *Investigaciones Geográficas*. 78:131-152. <https://doi.org/10.14198/INGEO.21343>
- SMICHOWSKI, H.; MONTIEL, M.R.; ROMERO, V.; KOWALEWSKI, M.; CONTRERAS, F.I. 2021. Evaluación de incendios en áreas periurbanas de la ciudad de corrientes (Argentina) durante la sequía extrema del año 2020. *Papeles de Geografía*. 67:151-167. <https://doi.org/10.6018/geografia.486441>
- SOARES, V.C.; SCREMIN-DIAS, E.; DAIBES, L.F.; DAMASCENO-JUNIOR, G.A.; POTT, A.; DE LIMA, L.B. 2021. Fire has little to no effect on the enhancement of germination, but buried seeds may survive in a Neotropical wetland. *Flora*. 278:151801. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151801>
- TANASE, M.; DE LA RIVA, J.; PÉREZ-CABELLO, F. 2011. Estimating burn severity at the regional level using optically based indices. *Canadian Journal of Forest Research*. 41:863-872. <https://doi.org/10.1139/x11-011>
- TESSLER, N.; WITTENBERG, L.; PROVIZOR, E.; GREENBAUM, N. 2014. The influence of short interval recurrent forest fires on the abundance of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) on Mount Carmel, Israel. *Forest Ecology Management*. 324:109-116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.014>
- VASCO-LUCIO, M.M.; GUAIÑA-YUNGÁN, J.I.; ATICUTIUPALA, G.M.; LARA-VÁSCONEZ, N.X. 2022. Cálculo de la severidad de incendios en el periodo 2017 a 2020 en la subcuenca del río Chambo, mediante teledetección y el análisis geo estadístico. *Domino de las Ciencias*. 8(2):84-96. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2744>
- VERAVERBEKE, S.; HOOK, S.J. 2013. Evaluating spectral indices and spectral mixture analysis for assessing fire severity, combustion completeness and carbon emissions. *Journal of the International Association of Wildland Fire*. 22(5):707-720. <https://doi.org/10.1071/WF12168>

- WANG, G.; ZHANG, Y.; XIE, W.; QU, Y. 2022. Leveraging Google Earth Engine and semi-supervised generative adversarial networks to assess initial burn severity in forest. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 48(3):411-424. <https://doi.org/10.1080/07038992.2022.2054405>
- ZUPO, T.; DAIBES, L.F.; PAUSAS, J.G.; FIDELIS, A. 2021. Post-fire regeneration strategies in a frequently burned Cerrado community. *Journal of Vegetation Science*. 32(1):e12968. <https://doi.org/10.1111/jvs.12968>

Evaluación de la calidad del agua envasada para consumo humano en la ciudad de Villavicencio (Colombia)

Assessment of quality of sachet water for human consumption in Villavicencio (Colombia)

Miguel Ángel Navarro-Ramírez^{1*}; Miguel Ángel Ramírez-Niño¹; Deicy Villalba-Rey²; María Alejandra Barbosa-Méndez³; Luz Irene Saavedra-Rodríguez³

¹Universidad de los Llanos, Grupo de investigación Quimera. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: miguel.navarro@unillanos.edu.co, miguelramirez@unillanos.edu.co

²Universidad del Tolima, Grupo de investigación Análisis Estadístico de la Universidad del Tolima. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: dvillalbar@ut.edu.co

³Universidad de los Llanos, Programa Ingeniería Agroindustrial, Grupo de investigación Quimera Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: alejandra.barbosa@unillanos.edu.co, luz.saavedra@unillanos.edu.co

*autor para correspondencia: miguel.navarro@unillanos.edu.co

Cómo citar: Navarro-Ramírez, M.A.; Ramírez-Niño, M.A.; Villalba-Rey, D.; Barbosa-Méndez, M.A.; Saavedra-Rodríguez, L.I. 2024. Evaluación de la calidad del agua envasada para consumo humano en la ciudad de Villavicencio (Colombia). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2234. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2234>

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 9 de 2022

Aceptado: febrero 14 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

En Colombia, las empresas de acueducto deben garantizar que el agua que suministran se pueda consumir directamente; sin embargo, la percepción de la población es que su calidad no es la adecuada para su ingesta directa. Esta situación es más notoria en algunas ciudades, como es el caso de Villavicencio, Meta, donde la mayoría de la población consume agua envasada en diferentes presentaciones, debido a la poca confianza en el agua que suministra la empresa de acueducto, por lo tanto, este producto se ha convertido en un artículo de primera necesidad en la canasta familiar de los hogares de Villavicencio. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua envasada de diez empresas, por un periodo de 8 meses. La calidad se evaluó mediante el análisis de los siguientes parámetros fisicoquímicos: cloruro, dureza total, hierro, manganeso, nitrato, nitrito, pH, sodio, sólidos totales y turbiedad y los siguientes parámetros microbiológicos: bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales y *Pseudomonas aeruginosa*. Los parámetros fisicoquímicos estuvieron dentro de los valores admisibles, de acuerdo con la norma de referencia; no obstante, se evidenció la presencia de microorganismos en el 33 % de las muestras analizadas, por lo que su consumo representa un riesgo para la salud humana.

Palabras clave: Agua potable; Bacterias coliformes fecales; Bacterias coliformes totales; Riesgos para la salud; Salud pública.

ABSTRACT

In Colombia, water companies must guarantee that the water they supply can be consumed directly. However, the population's perception is that the quality of this water is not adequate for direct consumption. This situation is more noticeable in some cities, such as Villavicencio, Meta, where most of the population consumes packaged water in different presentations due to little confidence in the water supplied by the water company. Therefore, this product has become a staple item of Villavicencio households. The aim of this work was to assess the quality of packaged water from ten companies for a period of 8 months. Quality was assessed by analyzing the following physicochemical parameters: chlorides, total hardness, iron, manganese, nitrate, nitrite, pH, sodium, total solids, and turbidity; and the following microbiological parameters: total coliform bacteria, fecal coliform bacteria, and *Pseudomonas aeruginosa*. The physicochemical parameters were within the admissible values in accordance with the reference standard. However, the presence of microorganisms was evident in 33 % of the samples analyzed, so its consumption represents a risk to human health.

Keywords: Fecal coliform bacteria; Health risk; Potable water; Public health; Total coliform bacteria.

INTRODUCCIÓN

El servicio de abastecimiento de agua para consumo humano, en especial, en algunas regiones de los países en vía de desarrollo es deficiente y no abarca el total de la población; además, dicho abastecimiento se realiza en algunas ocasiones desde fuentes de agua sin un tratamiento adecuado (Ávila de Navia & Estupiñán Torres, 2011; WHO, 2017).

El consumo de esta agua se convierte en un factor determinante en la propagación de enfermedades, principalmente, en el tracto digestivo, por la presencia de ciertos microorganismos, como *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Salmonella* y *Shigella* (Balbus & Lang, 2001) o por la presencia de ciertos elementos químicos en elevadas concentraciones (Güler & Alpaslan, 2009; Diduch *et al.* 2011). Debido a la facilidad de acceso al agua envasada y a la percepción que tiene la población de que esta agua es de mayor calidad, esta fuente para consumo humano se ha posicionado como respuesta frente al problema de abastecimiento (Etale *et al.* 2018; Delpla *et al.* 2020).

Teniendo en cuenta la preferencia de las personas de estas regiones por el agua envasada, la evaluación de su calidad ha sido objeto de estudio. Autores, como Lalumandier & Ayers (2000), Cidu *et al.* (2011), Nouri *et al.* (2014), Di Giuseppe (2017), Allaire *et al.* (2018), Etale *et al.* (2018) y Mason *et al.* (2018) encontraron que no en todos los casos el agua envasada era de mejor calidad que el agua de los acueductos de estas regiones. Adicionalmente, en estos estudios se reporta que el agua envasada puede ser hasta 2.000 veces más costosa que el agua suministrada por el acueducto (Jain *et al.* 2019), a lo que se debe sumar el costo ambiental por la contaminación por empaques plásticos (Coelho *et al.* 2011).

Colombia, no es ajena al aumento del consumo de agua envasada, incluso, en Bogotá, la ciudad capital del país. En el país, el agua envasada para consumo humano es considerada un producto de la industria alimenticia, por lo tanto, su control y vigilancia la realiza el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, Invima, por medio del Programa Nacional de Vigilancia y Control de Microorganismos Patógenos y Calidad Microbiológica y Físicoquímica en Alimentos y Bebidas. El Invima (2016) reportó que las tres ciudades con mayor número de empresas registradas para la producción de agua envasada son Bogotá, con 100 empresas; Villavicencio, con 52 y Cartagena, con 18 y, en menor medida, Cali, Montería, Neiva y Barranquilla.

Entre los estudios sobre la calidad del agua envasada y comercializada en Colombia, se destacan los trabajos realizados por Simanca *et al.* (2010) y Vidal *et al.* (2009), quienes analizaron la calidad del agua envasada en bolsas comercializadas, en Montería y en Sincelejo, respectivamente. Estos trabajos demostraron que el 92 % de las marcas de agua en bolsa que se comercializan presentan niveles microbiológicos por fuera de lo establecido por la resolución 12186 de 1991 del Ministerio de Salud (1991), indicando que estas muestras no fueron aptas para el consumo humano.

En el caso de Villavicencio, la empresa de acueducto no garantiza el suministro de agua potable en todos los sectores de la ciudad y adicionalmente, los consumidores tienen una falta de confianza frente a la calidad del agua que llega a los hogares (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2019). Ante tal situación, los ciudadanos han optado por consumir agua envasada, principalmente, en las presentaciones de bolsas de 6 L y garrafas de 18 - 20 L.

Ante la poca información acerca de la calidad del agua envasada, en especial, la que se comercializa en Villavicencio, surgió la necesidad de adelantar un estudio para analizar las características físicoquímicas y microbiológicas del agua envasada, que se comercializa en esta ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área y población de estudio. La investigación se realizó en Villavicencio – Meta, Colombia, ubicada en las coordenadas 4°9' N 73°38' O, a una altitud de 467 m s.n.m., clima cálido con temperatura media de 27 °C, humedad relativa promedio de 77 % y una densidad poblacional de 500,11 hab/Km².

Para identificar las empresas comercializadoras de agua envasada en la ciudad, se utilizó un censo del Invima del 2016, en Villavicencio, en donde se encontraban registradas 52 empresas. Como criterios de selección para determinar la población de estudio fueron aplicados los siguientes: encontrarse en el área urbana, tener concepto favorable por la autoridad sanitaria, estar en funcionamiento en el momento del estudio y que procesaran y comercializaran agua envasada en bolsas de 6 L. Después de aplicar los anteriores criterios, se obtuvo una población de estudio de 21 empresas procesadoras, envasadoras y comercializadoras de agua envasada en bolsas de 6 L. De estas empresas se tomó una muestra aleatoria de 10 empresas procesadoras, correspondientes al 48 % del total de la población de estudio.

Toma de muestras. Para la obtención de las muestras se realizó un muestreo probabilístico bietápico, tomando, en la primera etapa, una muestra aleatoria de 10 empresas del total de 21 empresas procesadoras y, en la segunda fase, seleccionando en cada una de ellas, una muestra aleatoria de 5 bolsas de agua envasada de 6 L, correspondientes al mismo lote y día de producción; tres para el análisis microbiológico, una para el análisis físicoquímico y una como contra muestra.

El muestreo de las bolsas de agua envasada se replicó durante 8 meses, realizando la toma de las muestras para cada una de las empresas seleccionadas. Con el fin de mantener en reserva el nombre de las empresas muestreadas, estas fueron identificadas con letras mayúsculas desde la A hasta la J.

El muestreo se realizó siguiendo la resolución 12186 de 1991 del Ministerio de Salud. De esta forma, las muestras de agua se almacenaron y se transportaron en condiciones higiénicas y en

una cava refrigerada a 4 °C hasta el laboratorio de microbiología, laboratorio de aguas y el laboratorio de química, para los análisis correspondientes.

Análisis fisicoquímicos. Se determinaron los siguientes parámetros, de acuerdo con lo establecido en el Método Estándar de Análisis de Aguas y Líquidos Residuales (APHA, 2012): cloruro (Standard Methods -SM. 4500 Cl-B); dureza total (SM 2340 C); hierro total, absorción atómica con llama (SM 3111 B); manganeso, absorción atómica con llama atómica (SM 3111 B); nitrato; método espectrofotométrico estándar UV-VIS (SM 4500 NO₃ B); nitrito, método colorimétrico estándar (N-(1-naftil)-etilendiamina SM 4500 NO₂ B); pH, método potenciométrico estándar (SM 4500 H+B); sodio, método estándar de absorción atómica con llama (SM 3111 B); sólidos totales, método gravimétrico estándar (SM 2540); turbiedad, método nefelométrico estándar (SM 2130 B).

Análisis microbiológicos. Las bacterias coliformes totales (BCT) y las bacterias coliformes fecales (BCF), se determinaron utilizando la técnica de sustrato enzimático (número más probable, NMP; norma técnica Colombiana NTC 4939) (Icontec, 2001a). Por su parte, *Pseudomonas aeruginosa* se cuantificó aplicando la técnica de sustrato enzimático (NMP- NTC 4940) (Icontec, 2001b).

Reactivos. Todos los reactivos fueron de grado reactivo analítico ACS, de las marcas Merck (Merck KGaA, Alemania) y Pan Reac AppliChem (España). Los reactivos microbiológicos usados fueron de la marca Merck (Merck KGaA, Alemania).

Análisis estadístico. Con los datos fisicoquímicos y microbiológicos se realizó un análisis exploratorio para cada uno de los parámetros, diferenciando por empresa y mes de muestreo. De igual forma, se realizaron contrastes de hipótesis no paramétricos (prueba de Wilcoxon), considerando los valores máximos permisibles en la resolución vigente. Asimismo, para el total de datos obtenidos en los 8 meses de muestreo, se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas. En todos los análisis estadísticos se utilizó el software programa R versión 4.0.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos. Los valores de calidad de agua (Tabla 1) obtenidos en esta investigación para los parámetros comunes: pH, cloruro, dureza total, nitrato, nitrito, turbiedad, sólidos totales y sodio, se encuentran dentro de los límites máximos establecidos por la resolución 12186 del Ministerio de Salud (1991), aunque se observa variabilidad entre las diferentes empresas.

Los niveles de cloruro (Tabla 1) presentaron un valor mínimo de 1,85 mg/L (empresas A, C y D) y un máximo de 16,70 mg/L (empresa J). La empresa J presenta, en general, los valores más altos y la mayor dispersión mes a mes, seguido por las empresas C y G.

La presencia de cloruro en agua es natural y se da, principalmente, como sales de sodio, potasio y calcio, las cuales, están directamente relacionadas con el tipo y características de la fuente de agua usada para el envasado, por lo que es frecuente encontrar valores muy

variables de este compuesto (Simanca *et al.* 2010; Dhingra *et al.* 2014; Van Der Hoven *et al.* 2017; Dippong *et al.* 2020). El valor máximo de cloruro permitido en agua suele ser alto, 250 mg/L (Ministerio de Salud, 1991), que corresponde más a un límite establecido por sabor que por razones de riesgo para la salud.

El valor de dureza total para la empresa H (Tabla 1) presentó los valores más altos mes a mes, las empresas C y J presentaron la mayor dispersión en este parámetro y, en las demás empresas, los valores fueron bajos y menos dispersos (25,7 – 73,0 mg/L).

El valor de la dureza está relacionado, principalmente, con las concentraciones de calcio y de magnesio presentes, por lo que el agua se puede clasificar como suave (0-75 mg/L), moderadamente dura (75-150 mg/L), dura (150-300 mg/L) y muy dura (mayor a 300 mg/L), lo que permitió evidenciar que la empresa H, con un promedio de 101,8±5,17 mg/L, está ofertando agua clasificada como moderadamente dura, mientras que el resto de las empresas están ofertando aguas suaves.

Los valores de nitrato (Tabla 1) presentaron un máximo de 6,27 mg/L, valor que se encuentra por debajo de la norma colombiana 15 mg/L (Ministerio de Salud, 1991). Se destacaron las empresas A, B, D y G, con el valor promedio más bajo (0,69 mg/L) y poca dispersión. Por su parte, las empresas C, E, I se destacan por presentar los valores más altos. Por su parte, los niveles de nitrito determinados en este trabajo tuvieron un máximo de 0,03 mg/L. En general, los resultados fueron bajos, homogéneos y con un promedio de 0,01 mg/L (Tabla 1).

La determinación de nitrato y nitrito en agua fue incluida, debido a que un exceso en este parámetro ocasiona problemas de salud, como metaemoglobinemia en niños, cáncer gástrico, bocio, malformaciones e hipertensión (Majumdar & Gupta, 2000). La presencia de nitrato o nitrito en el agua se debe a la presencia de residuos de fertilizantes, tejidos animales o vegetales (Singh *et al.* 2012; Adimalla & Qian, 2019). Por lo tanto, valores altos indican contaminación, debido a factores naturales o de actividades humanas (Chabukdhara *et al.* 2017; Dippong *et al.* 2020).

Al analizar la turbiedad, se observó un comportamiento muy similar en cada una de las empresas (Tabla 1), según el mes de muestreo, con un promedio de 0,33±0,015 UNT, valor inferior al valor admisible de 2 UNT (Ministerio de Salud, 1991). Estos valores fueron mayores a los reportados para el municipio de Montería, (Colombia), por Simanca *et al.* (2010), para agua envasada en bolsas; sin embargo, están por debajo de los presentados por Marín *et al.* (2017), al analizar la calidad del agua envasada en Maracaibo (Venezuela). Valores altos de turbiedad están relacionados con la interacción de microorganismos con partículas, como la arcilla, disminuyendo la transparencia del agua e indica una posible contaminación por microorganismos (Dippong *et al.* 2020).

Los valores de sólidos totales (Tabla 1) estuvieron en el rango de 31,00 a 44,00 mg/L, muy inferior al valor admisible máximo de 200 mg/L (Ministerio de Salud, 1991). Las empresas A, D, H y J presentan la mayor dispersión.

El valor promedio de la concentración de sodio (Tabla 1) estuvo en el rango de 8,10 a 16,70 mg/L, evidenciando que las empresas B, D, F y G presentaron valores muy bajos (1-3 mg/L.) y homogéneos y las marcas C, E y J presentan la mayor dispersión (Tabla 1). Por

lo general, la concentración de sodio en agua para consumo es baja < 20 mg/L (WHO, 2017) y su consumo, en esa concentración, no representa riesgos para la salud.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de agua de 10 empresas envasada en bolsa de 6 litros y comercializada en Villavicencio - Meta, Colombia.

Empresa	pH	Cloruro mg/L	Dureza total mg/L	Nitrato mg/L	Nitrito mg/L	Turbiedad UNT	Sólidos totales mg/L	Sodio mg/L
Resolución 12186 (1991)	6,5-9,0	>250	>150	>15	>0,1	>2	>200	>200
A	6,9 (0,15) ^a	3,85 (1,88) ^a	40,80 (7,96) ^{ab}	0,05 (0,07) ^a	0,005 (0,004) ^a	0,31 (0,07) ^a	34,25 (4,23) ^{ab}	3,70 (3,58) ^a
B	6,8 (0,14) ^a	4,77 (3,06) ^a	43,78 (4,95) ^{ab}	0,03 (0,05) ^a	0,002 (0,003) ^a	0,29 (0,04) ^a	32,00 (2,88) ^a	1,85 (0,30) ^a
C	6,8 (0,15) ^a	5,97 (3,41) ^{ab}	53,34 (13,8) ^b	3,04 (2,55) ^{bc}	0,003 (0,01) ^a	0,29 (0,07) ^a	35,88 (4,55) ^{ab}	6,24 (4,82) ^{ab}
D	6,8 (0,20) ^a	3,39 (1,69) ^a	48,08 (7,07) ^{ab}	0,03 (0,05) ^a	0,001 (0,001) ^a	0,29 (0,07) ^a	36,63 (3,34) ^{ab}	1,91 (0,31) ^a
E	6,8 (0,21) ^a	7,23 (2,71) ^{ab}	51,40 (6,60) ^b	4,32 (1,70) ^c	0,01 (0,01) ^a	0,30 (0,07) ^a	33,75 (3,01) ^{ab}	8,38 (3,97) ^b
F	6,9 (0,22) ^a	4,21 (1,30) ^a	33,80 (6,19) ^a	1,29 (0,07) ^{ab}	0,001 (0,001) ^a	0,31 (0,10) ^a	37,63 (3,16) ^{ab}	2,29 (0,25) ^a
G	6,9 (0,22) ^a	5,00 (2,36) ^a	45,63 (12,01) ^{ab}	0,02 (0,03) ^a	0,007 (0,001) ^a	0,32 (0,06) ^a	36,13 (3,04) ^{ab}	1,78 (0,50) ^a
H	6,9 (0,14) ^a	7,24 (2,30) ^{ab}	101,80 (7,96) ^c	1,74 (0,22) ^{ab}	0,002 (0,001) ^a	0,33 (0,12) ^a	33,33 (3,79) ^{ab}	10,63 (2,16) ^b
I	7,0 (0,20) ^a	9,80 (1,92) ^b	41,99 (5,17) ^{ab}	4,17 (1,48) ^c	0,003 (0,001) ^a	0,31 (0,06) ^a	38,88 (5,49) ^b	10,33 (2,61) ^b
J	6,9 (0,16) ^a	10,37 (5,13) ^b	48,94 (14,6) ^{ab}	2,10 (0,75) ^b	0,002 (0,001) ^a	0,29 (0,04) ^a	35,00 (4,90) ^{ab}	10,39 (3,71) ^b

Valores: media, entre paréntesis la desviación estándar y el superíndice indica si se presentan diferencias significativas; muestras con la misma letra no son significativamente diferentes (p>0,05).

La concentración de manganeso en las muestras presentó valores por debajo del límite de detección (<0,005 mg/L), hasta un máximo de 0,02 mg/L. El manganeso en agua para consumo debe contener un valor máximo de 0,1 mg/L (Ministerio de Salud, 1991), ya que a mayores valores concentraciones se produce un sabor desagradable; sin embargo, por temas de salud, la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2017) propone un valor límite máximo de 0,4 mg/L.

Asimismo, la determinación de hierro total mostró valores por debajo del límite de detección de la técnica utilizada (< 0,01 mg/L) y del límite permitido por la norma colombiana, 0,3 mg/L (Ministerio de Salud, 1991). Los valores de sodio, de manganeso y de hierro estuvieron en rangos por debajo de los valores máximos permitidos por la norma y fueron similares a los encontrados en otros estudios sobre calidad del agua (Simanca *et al.* 2010; Benítez-Payares *et al.* 2013; Di Giuseppe, 2017; Marín *et al.* 2017; Dippong *et al.* 2020).

Los valores de pH (Tabla 1) estuvieron en un rango de 6,4 a 7,2 mg/L. No se presentaron diferencias significativas entre las empresas, indicando la baja variabilidad de los valores de pH entre las marcas de agua embotellada, seleccionadas en este estudio. Cabe resaltar que la empresa E tuvo en el primer mes un valor por debajo del aceptado por la norma colombiana (Ministerio de Salud, 1991), indicando que el 98 % de las muestras estuvieron dentro de los límites permitidos y presentaron similitud con los análisis de este parámetro en otros estudios realizados en Montería (Simanca *et al.* 2010). A nivel internacional, en India, Dhingra *et al.* (2014) reportaron datos similares al analizar el agua potable del distrito Tehsil (Mohsin *et al.* 2013).

El valor admisible de pH para agua envasada en la normativa nacional (Ministerio de Salud, 1991) es un rango amplio (6,5-9,0) y no se ha evidenciado efectos adversos sobre la salud humana, por el consumo de agua entre este rango de pH (WHO, 2017);

no obstante, por fuera de estos rangos, la calidad del agua puede variar, debido a cambios en la solubilidad de algunos iones y afectar parámetros, como el color, el sabor y los procesos de inocuidad microbiana (Ibrahim *et al.* 2014; Marín *et al.* 2017; Rahman *et al.* 2017; Dippong *et al.* 2020).

Parámetros microbiológicos. Se determinó la presencia de BCT en las empresas A y J. La empresa A presentó valores encima del valor aceptable, en el 25 % de las muestras analizadas; con un valor de 23 NMP/100 ml, en el quinto mes y 4 NMP/100 ml, en el sexto mes de muestreo; por su parte, la empresa J presentó en el cuarto mes, un valor de 90 NMP/100 ml. Es de destacar que, en el resto de las muestras y las empresas, no se detectó la presencia de BCT. Los resultados muestran una correlación con trabajos previos; por ejemplo, en Colombia, Vidal *et al.* (2009), al analizar la calidad microbiológica de agua envasada en Sincelejo, Secre, detectaron en el 33 % de las muestras analizadas, la presencia de BCT. En Maracaibo-Venezuela, Benítez Payares *et al.* (2013) estudiaron la calidad microbiológica del agua potable en bolsas y botellas, determinando que más 80 % de las muestras presentó contaminación por BCT, con un máximo de 9,2 NMP/100 ml. Posteriormente, Marín *et al.* (2017) determinaron en el 60 % de las muestras de agua envasada analizadas la presencia de BCT, con valores mayores a 23 NMP/100 mL, indicando un deterioro en los procesos de producción y de seguimiento por parte de los entes reguladores. En todos estos casos, se determinó que el agua envasada no era adecuada para el consumo humano.

La detección de BCT está relacionada con la presencia de algunos microorganismos patógenos, como *Salmonella* spp., *Shigella* spp. y *Vibrio cholerae* (Zamberlan da Silva *et al.* 2008; Duranceau *et al.* 2012; Barua *et al.* 2016), por lo cual, es necesario hacer controles para la determinación de BCT, con el fin de garantizar la inocuidad del agua para consumo humano. En el presente estudio, se obtuvo que el 25 % de las muestras de la empresa A y el 12,5 % de las muestras de la empresa J, no fueron aptas para consumo humano.

No se evidenció la presencia de BCF (< 2 NMP/100 ml) en las muestras de agua analizadas. Resultados similares fueron reportados por Marín *et al.* (2017), al analizar la calidad del agua envasada en Maracaibo, Venezuela, indicando que en el 100 % de las muestras de agua en bolsa no se evidenció presencia de BCF (< 1,1 NMP/100 mL); sin embargo, en este mismo trabajo, Marín *et al.* (2017) detectaron la presencia de BCF (> 1,1 NMP/100 mL), en el 91 % de las muestras en botellones plásticos de 18,9 L, indicando una posible contaminación, por una desinfección incompleta en los botellones.

Los resultados de la determinación de *P. aeruginosa* indicaron que varias muestras tuvieron valores por encima del valor admisible: > 2 NMP/100 mL (Ministerio de Salud, 1991). En particular, las empresas identificadas como B y C fueron las que presentaron mayor cantidad, con un 75 % de las muestras analizadas. Además, el 50 % de las muestras de la empresa J, el 37 % de la empresa A y el 12,5 % de las empresas G e I, estuvieron por fuera de la norma (Ministerio de Salud, 1991). Todas estas muestras de agua

y todas aquellas pertenecientes al mismo lote, no eran aptas para el consumo humano. Estos resultados presentaron concordancia con los análisis previamente realizados en Sincelejo, Colombia (Vidal *et al.* 2009), donde se reportó la presencia de *P. aeruginosa*, en el 8 % de las muestras analizadas.

La importancia de determinar *P. aeruginosa* radica en que es un microorganismo que no se encuentra con frecuencia en el agua envasada y a que es un patógeno que puede causar infecciones del tracto urinario, infecciones del sistema respiratorio, dermatitis, infecciones de tejidos blandos y otros tipos de infecciones sistémicas, particularmente, en personas inmunocomprometidas (Zamberlan da Silva *et al.* 2008).

Generalmente, la presencia de este patógeno es un indicador de contaminación durante el procesamiento del tratamiento del agua en la planta (Duranceau *et al.* 2012), debido a que este microorganismo es resistente a algunos agentes antimicrobianos. Por lo tanto, su detección se asocia con los sistemas de lavado y de llenado de los recipientes para el almacenamiento del agua (Legnani *et al.* 1999); esto sugiere, que en las muestras de agua envasadas en donde se determinó la presencia de *P. aeruginosa*, los programas de desinfección y programas, como el de análisis de peligros y puntos críticos de control, evidencian fallas en su ejecución (Kouchesfahani *et al.* 2015).

Estos resultados evidenciaron que el 33 % de las muestras analizadas (60 % de las empresas), no fueron aptas para consumo humano, debido a la presencia de BCT y *P. aeruginosa*. Por el contrario, el 100 % de los valores determinados para los parámetros fisicoquímicos estuvieron por debajo de los límites permitidos por la norma colombiana (Ministerio de Salud, 1991) y las recomendaciones de la WHO (2017).

La calidad del agua es un factor fundamental en la calidad de la salud de las personas; por ende, se recomienda que las autoridades encargadas de establecer los parámetros para su control y determinación aumenten la vigilancia del agua envasada y comercializada en Villavicencio, en especial, para las características microbiológicas, debido a que en el presente trabajo se evidenció que en el 60 % de las empresas se encontraron muestras contaminadas con BCT o *P. aeruginosa*, haciendo que el consumo de este producto sea un riesgo para la salud de los consumidores.

Agradecimientos. Los autores agradecen la colaboración del personal de apoyo de los Laboratorios de Química, Microbiología y Suelos de la Universidad de los Llanos y a la Dirección General de Investigaciones, por la financiación de este proyecto (C01-F02-020-2016). **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. El presente artículo es derivado de los trabajos de grado “Evaluación de la calidad microbiológica del agua envasada que se comercializa por parte de algunas empresas en la ciudad de Villavicencio – Meta” y “Determinación de la calidad fisicoquímica del agua envasada

que se comercializa en la ciudad de Villavicencio”. Contribución de los autores: María Alejandra Barbosa-Méndez: metodología, curación de datos e investigación; Luz Irene Saavedra-Rodríguez: metodología, curación de datos e investigación; Deicy Villalba-Rey: análisis formal, escritura, revisión y edición; Miguel Ángel Ramírez-Niño: conceptualización, validación, análisis formal, escritura, revisión y edición; Miguel Ángel Navarro-Ramírez: metodología, supervisión, análisis formal, escritura, revisión y edición.

REFERENCIAS

- ADIMALLA, N.; QIAN, H. 2019. Groundwater quality evaluation using water quality index (WQI) for drinking purposes and human health risk (HHR) assessment in an agricultural region of Nanganur, south India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 176:153-161. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.066>
- ALLAIRE, M.; WU, H.; LALL, U. 2018. National trends in drinking water quality violations. *PNAS*. 115(9):2078-2083. <https://doi.org/10.1073/pnas.1719805115>
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, APHA. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd Edition. American Public Health Association. Washington, DC.
- ÁVILA DE NAVIA, S.L.; ESTUPIÑÁN TORRES, S.M. 2011. Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural del municipio de Guatavita, Cundinamarca, Colombia. *Revista Cuba de Higiene y Epidemiología*. 50(2):163-168.
- BALBUS, J.M.; LANG, M.E. 2001. Is the water safe for my baby? *Pediatric Clinics of North America*. 48(5):1129-1152. [https://doi.org/10.1016/S0031-3955\(05\)70365-5](https://doi.org/10.1016/S0031-3955(05)70365-5)
- BARUA, R.; BARUA, S.; FATEMA-TUZ-ZOHORA, M.; MUTSUDDI, R.; UDDIN, M.S.; HASEGAWA, H.; RAHMAN, I.M.M. 2016. Bacteriological and physicochemical characteristics of Kaptai lake water in terms of public health significance. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*. 4(2):31-39.
- BENÍTEZ PAYARES, B.M.; FERRER VILLASMIL, K.J.; RANGEL MATOS, L.C.; ÁVILA LARREAL, A.G.; BARBOZA, Y.; LEVY, A. 2013. Calidad microbiológica del agua potable envasada en bolsas y botellas que se venden en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia-Venezuela. *Multiciencias*. 13(1):16-22.
- CHABUKDHARA, M.; GUPTA, S.K.; KOTECHA, Y.; NEMA, A.K. 2017. Groundwater quality in Ghaziabad district, Uttar Pradesh, India: Multivariate and health risk assessment. *Chemosphere*. 179:167-178. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.086>
- CIDU, R.; FRAU, F.; TORE, P. 2011. Drinking water quality: Comparing inorganic components in bottled water and Italian tap water. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24(2):184-193. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.08.005>
- COELHO, T.M.; CASTRO, R.; GOBBO, J.A. 2011. PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*. 55(3):291-299. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.10.010>
- DELPLA, I.; LEGAY, C.; PROULUX, F.; RODRÍGUEZ, M.J. 2020. Perception of tap water quality: Assessment of the factors modifying the links between satisfaction and water consumption behavior. *Science of the Total Environment*. 722:137786. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137786>
- DHINGRA, P.; SINGH, Y.; BHOJAK, R.; PRAJAPAT, T.; CHOUDHARY, S.; NAGAR, S. 2014. Quality status of potable water of Tehsil Amber District Jaipur, Rajasthan, India. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*. 2(6):43-45.
- DI GIUSEPPE, D. 2017. Comparison of the mineral element content of public drinking fountains and bottled water: A case study of Ferrara City. *Geosciences*. 7(3):76. <https://doi.org/10.3390/geosciences7030076>
- DIDUCH, M.; POLKOWSKA, Ż.; NAMIEŚNIK, J. 2011. Chemical quality of bottled waters: A review. *Journal of Food Science*. 76(9):R178-R196. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02386.x>
- DIPPONG, T.; HOAGHIA, M.A.; MIHALI, C.; CICAL, E.; CALUGARU, M. 2020. Human health risk assessment of some bottled waters from Romania. *Environ. Pollut.* 267:115409. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115409>
- DURANCEAU, S.J.; EMERSON, H.P.; WILDER, R.J. 2012. Impact of bottled water storage duration and location on bacteriological quality. *International Journal of Environmental Health Research*. 22(6):543-559. <https://doi.org/10.1080/09603123.2012.677999>
- ETALE, A.; JOBIN, M.; SIEGRIST, M. 2018. Tap versus bottled water consumption: The influence of social norms, affect and image on consumer choice. *Appetite*. 121:138-146. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.11.090>
- GÜLER, C.; ALPASLAN, M. 2009. Mineral content of 70 bottled water brands sold on the Turkish market: Assessment of their compliance with current regulations. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22(7):728-737. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.03.004>

- IBRAHIM, H.Z.; MOHAMMED, H.A.G.; HAFEZ, A.M. 2014. Physicochemical properties of some bottled water brands in Alexandria Governorate, Egypt. *Journal of the Egyptian Public Health Association*. 89(2):60-65. <https://doi.org/10.1097/01.EPX.0000451919.21292.8a>
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS, ICONTEC. 2001a. Norma técnica colombiana NTC 4939. Calidad de agua. Enumeración de coliformes y *Escherichia coli*. Técnica con tubos de fermentación y técnica de sustrato enzimático. 20p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS, ICONTEC. 2001b. Norma técnica colombiana NTC 4940. Calidad de agua. Enumeración de *Pseudomonas aeruginosa*. Técnica del número más probable, NMP. 21p.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIGILANCIA DE MEDICAMENTOS Y ALIMENTOS, INVIMA. 2016. Registro de empresas. Disponible desde internet en http://web.sivicos.gov.co:8080/consultas/consultas/consreg_encabcum.js
- JAIN, B.; SINGH, A.K.; HASAN SUSAN, A.B. 2019. The world around bottled water. En: Grumezescu, A.M.; Holban, A.M. (eds). *Bottled and Packaged Water*. Volume 4: The Science of Beverages. Ed. Woodhead Publishing. p.39-61. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815272-0.00002-7>
- KOUCHESFAHANI, M.M.; ALIMOHAMMADI, M.; NABIZADEH NODEHI, R.; ASLANI, H.; REZAIE, S.; ASADIAN, S. 2015. *Pseudomonas aeruginosa* and Heterotrophic bacteria count in bottled waters in Iran. *Iran Journal of Public Health*. 44(11):1514-1519.
- LALUMANDIER, J.A.; AYERS, L.W. 2000. Fluoride and bacterial content of bottled water vs tap water. *Archives of Family Medicine*. 9(3):246-250. <https://doi.org/10.1001/archfami.9.3.246>
- LEGNANI, P.; LEONI, E.; RAPUANO, S.; TURIN, D.; VALENTI, C. 1999. Survival and growth of *Pseudomonas aeruginosa* in natural mineral water: a 5-year study. *International Journal of Food Microbiology*. 53(2-3):153-158. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(99\)00151-8](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(99)00151-8)
- MAJUMDAR, D.; GUPTA, N. 2000. Nitrate pollution of groundwater and associated human health disorders. *Indian Journal of Environmental Health*. 42(1):28-39.
- MARÍN, J.C.; BEHLING, E.; CARRASQUERO, S.; COLINA, G.; DÍAZ, A.; RINCÓN, N. 2017. Calidad sanitaria de agua envasada expendida en la ciudad de Maracaibo (Venezuela). *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*. 57(1):26-35.
- MASON, S.A.; WELCH, V.G.; NERATKO, J. 2018. Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in Chemistry*. 6:407. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407>
- MINISTERIO DE SALUD. 1991. Resolución número 12186 de 1991. Por el cual se fijan las condiciones para los procesos de obtención, envasado y comercialización de agua potable tratada con destino al consumo humano. Disponible desde Internet en: https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minsalud_12186_1991.htm
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 2019. Informe nacional de calidad del agua para consumo humano INCA 2019.
- MOHSIN, M.; SAFDAR, S.; ASGHAR, F.; JAMAL, F. 2013. Assessment of drinking water quality and its impact on residents health in Bahawalpur City. *International Journal of Humanities and Social Science*. 3(15):114-128.
- NOURI, D.A.; ABDULKARIM, B.A.; ARZOO, S.; BAKEET, Z.A.N. 2014. Quality characteristics of commonly consumed drinking water in Riyadh and effect of domestic treatments on its chemical constituents. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2(1). <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-1-5>
- RAHMAN, I.M.M.; BARUA, S.; BARUA, R.; MUTSUDDI, R.; ALAMGIR, M.; ISLAM, F.; BEGUM, Z.; HASEGAWA, H. 2017. Quality assessment of the non-carbonated bottled drinking water marketed in Bangladesh and comparison with tap water. *Food Control* 73:1149-1158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.10.032>
- SIMANCA, M.; ÁLVAREZ, B.; PATERNINA, R. 2010. Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería. *Temas Agrarios*. 15(1):71-83. <https://doi.org/10.21897/rta.v15i1.813>
- SINGH, B.; CHAUHAN, J.S.; MOHAN, A. 2012. A construction of water quality index considering physicochemical properties for drinking purposes in a rural settlement: a case study of Gajraula region, Ganga River Basin (North India). *Water Supply*. 12(6):818-828. <https://doi.org/10.2166/ws.2012.058>
- VAN DER HOVEN, C.; UBOMBA-JASWA, E.; VAN DER MERWE, B.; LOUBSER, M.; ABIA, A.L.K. 2017. The impact of various land uses on the microbial and physicochemical quality of surface water bodies in developing countries: Prioritisation of water resources management areas. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 8:280-289. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2017.10.006>

- VIDAL, J.; CONSUEGRA, A.; GOMESCASERES, L.; MARRUGO, J. 2009. Evaluación de la calidad microbiológica del agua envasada en bolsas producida en Sincelejo- Colombia. *Revista MVZ Cordoba*. 14(2):1736-1744. <https://doi.org/10.21897/rmvz.357>
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO. 2017. Guidelines for Drinking-water Quality -GDWQ- Fourth Edition Incorporating the First Addendum. WHO TEAM Water, Sanitation, Hygiene and Health. Disponible desde Internet en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548151>
- ZAMBERLAN DA SILVA, M.E.; SANTANA R.G.; GUILHERMETTI, M.; FILHO, I.C.; ENDO, E.H.; UEDA-NAKAMURA, T.; NAKAMURA, C.V.; DIAS FILHO, B.P. 2008. Comparison of the bacteriological quality of tap water and bottled mineral water. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 211(5):504-509. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.09.004>



Corrigendum al artículo: Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú

A corrigendum for article: Characterization of urban organic solid waste compost from six districts of the Leoncio Prado province, Peru

Ríos-Velasquez, E.A.; Florida-Rofner, N.; Lama-Isminio, D.A. 2023. Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia Leoncio Prado, Perú. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(1):e2371. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n1.2023.2371>.

Cuando se publicó el artículo señalado arriba, el autor de correspondencia Nelino Florida Rofner incluyó a Demetrio Angelo Lama Isminio. Sin embargo, Demetrio Lama solicitó a la Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica su retiro de la publicación por no participar activamente en el desarrollo del trabajo y no ser su campo de experticia. La solicitud fue atendida por la revista y consultada con Nelino Florida Rofner, quien estuvo de acuerdo con el retiro de Demetrio Angelo Lama Isminio de la publicación.

El cuerpo editorial de la revista aclara que, con base en la evaluación de los pares y el proceso editorial, se considera que los datos presentados en el artículo no pierden validez con esta acción.

Además del retiro de Demetrio Angelo Lama Isminio del documento, se cambió el apartado de contribución de los autores que inicialmente se publicó de la siguiente manera:

Contribución autores: Emilio Anthony Ríos-Velásquez y Demetrio Angelo Lama-Isminio realizaron los trabajos de campo, obtención y análisis formal de los datos para la escritura del borrador del manuscrito. Nelino Florida Rofner contribuyó con la asesoría de la investigación, la contextualización, la metodología, revisión y redacción del manuscrito. Todos los autores participaron en la redacción, revisión, edición del manuscrito y aprueban la versión final.

Nelino Florida Rofner y el cuerpo editorial de la Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica piden disculpas por este error.

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 julio a diciembre de 2024. Nuestra gratitud a su invaluable colaboración.

En reconocimiento publicamos a continuación sus nombres:

- Ph.D. Rogelio Aguilar Aguilar, Universidad Nacional Autónoma De México, **México**
Ph.D. Cid Aguilar Carpio, Colegio de Postgraduados, **México**
Ph.D. Rita María Ávila G. de Hernández, Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado, **Venezuela**
Ph.D. Rodolfo E. Avila Uliarte, Universidad de Córdoba, **Argentina**
Ph.D. Helber Enrique Balaguera López, Universidad Nacional de Colombia, **Colombia**
Ph.D. Brayán Alexis Barra Orobio, Universidad Industrial de Santander, **Colombia**
Ph.D. Mario Ruben Berendt, Universidad Nacional del Nordeste, **Argentina**
Ph.D. Sedolfo Jose Carrasquero Ferrer, Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, **Ecuador**
Ph.D. Mariana Casari Parreira, Universidade dos Açores, **Portugal**
Ph.D. Sylvina Casco, Universidad Nacional del Nordeste, **Argentina**
Ph.D. Roberto Castellanos Cabrera, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, **Perú**
Ph.D. Alexis Castillo Bruna, Universidad Católica del Maule, **Chile**
Ph.D. Diana Carolina Cedeño Alcívar, Escuela Superior Politécnica, **Ecuador**
Ph.D. José Javier de la Mata, Universidad Nacional de La Pampa, **Argentina**
Ph.D. Felipe Franco de Oliveira, Universidade Estadual Paulista, **Brasil**
Ph.D. Julieta Domínguez Soberanes, Universidad Panamericana, **México**
Ph.D. Luis Hernando Estupiñán Bravo, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, **Colombia**
Ph.D. Gabriel Fadaró Madoglio, Universidade Estadual Paulista, **Brasil**
Ph.D. Federico Ferrelli, Universidad Nacional del Sur, **Argentina**
Ph.D. Manuel Fortis Hernandez, Instituto Tecnológico de Torreón, **México**
Ph.D. Juan Ramón García Díaz, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, **Cuba**
Ph.D. Luis Ghinaglia Troccoli, Universidad de Oriente, **Venezuela**
Ph.D. Jose Francisco Goicochea Vargas, Universidad Nacional Hermilio Valdizan, **Perú**
Ph.D. Ninnet Gómez Romero, Universidad Nacional Autónoma de México, **México**
Ph.D. Julio César Leal Marín, Universidad del Zulia, **Venezuela**
Ph.D. Lis Manrique Losada, Universidad de la Amazonia, **Colombia**
Ph.D. Antonio María Martínez Reina, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- Agrosavia, **Colombia**
M.Sc. Helber Milton Orjuela Matta, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, **Colombia**
Ph.D. Diego Vicente Moreno Rodríguez, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, **Colombia**
Ph.D. Sayra Lissette Orozco Cerros, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, **México**
Ph.D. Claudia Irene Ortiz Arrona, Universidad de Guadalajara, **México**
Ph.D. Beatriz Elena Padilla Hurtado, Universidad Católica de Manizales, **Colombia**
Ph.D. René Mauricio Patiño Pardo, Universidad de Sucre, **Colombia**
Ph.D. Gabriela Pérez Osorio, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, **México**
Ph.D. Jessica Pinango Quijada, Langston University, **Estados Unidos**
Ph.D. Camilo Alberto Prieto Mojica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, **Colombia**
M.Sc. Adriana Posada Arrubla, Investigador Independiente, **Colombia**
Ph.D. Gloria Inés Puerta Quintero, Café Ensoñación Gourmet, **Colombia**
Ph.D. Viterbo Rodríguez, Universidad de Panamá, **Panamá**
Ph.D. Jose Ariel Rodríguez Pulido, Universidad de los Llanos, **Colombia**
Ph.D. Guillermo Salgado Maldonado, Universidad Nacional Autónoma de México, **México**
Ph.D. María Elena Samar Romani, Universidad Nacional de Córdoba, **Argentina**
Ph.D. Andrés Eloy Seijas Yanes, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”, **Venezuela**
Ph.D. Sandra Trinidad del Moral Ventura, Tecnológico Nacional de México, **México**
Ph.D. Juan Manuel Vargas Canales, Universidad de Guanajuato, **México**
Ph.D. Andrea Vasquez García, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, **Colombia**
Ph.D. Cirilo Vázquez Vázquez, Universidad Juárez del Estado de Durango, **México**
Ph.D. Vicente Eliezer Vega Murillo, Universidad Veracruzana, **México**

La U.D.C.A

El punto de partida para tu proyecto de vida

¡Conoce nuestra oferta Académica!



Programas
de Posgrados



Programas
de Pregrados

