

REVISTA

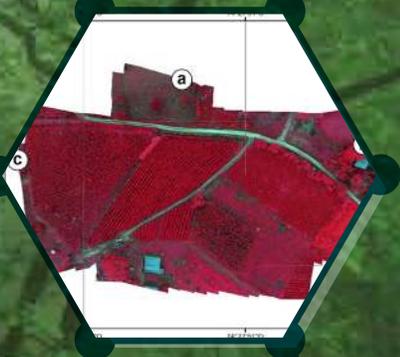
ISSN 2619-2551 (en línea)
ISSN 0123-4226 (impreso)

U.D.C.A

38
años

ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

REVISTA CIENTÍFICA - Julio-Diciembre 2021 - VOLUMEN 24 No. 2 - D. L.
Bogotá, D.C. - Colombia



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. 875 de 2020, SciELO Colombia, Reseñada en Latindex e incluida en la base de datos Periódica UNAM, México, en el Directory of Open Access Journals-DOAJ y en la Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico-REDIB.

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

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

FOCUS AND SCOPE

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

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

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

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

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

FOCO E ESCOPO

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

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

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

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

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

EQUIPO EDITORIAL

Editora

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

Co-Editor

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

Comité editorial

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

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

Marlete Brum Cleff
Universidade Federal de Pelotas UFP
Pelotas, Brasil

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

Comité científico

Adriana Posada Arrubla
Investigador Independiente
Bogotá, Colombia

Alfonso Javier García
Universidad de Sevilla
Sevilla, España

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

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

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

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

Galdino Andrade Filho
Universidade Estadual de Londrina
Londrina, Brasil

Hugo Sarmento
Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal

Jesús Muñoz Rojas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, México

Jhon James Mora Rodríguez
Universidad Icesi
Cali, Colombia

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

José Eleutério Junior
Universidade Federal do Ceará
Ceará, Brasil

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

José Siles González
Universidad de Alicante
Alicante, España

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

Samuel Moisés Nucamendi Guillén
Universidad Panamericana
Guadalajara, México

Sildivane Valcácia Silva
Universidade Federal da Paraíba
Paraíba, Brasil

Equipo colaborador

Correctora de estilo y ortográfica
Norella Castro Rojas

Auxiliar editorial
Kamila Bocanegra Solorzano

Diagramador
Camilo Eduardo Carrasco Borrero

CONTENIDO

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

Volumen 24 número 2- julio-diciembre, 2021

<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021>

EDITORIAL

La APP U.D.C.A más cerca de la I+D+i

Germán Anzola Monteroe2172
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2172>

CIENCIAS AGRARIAS

Efecto fisiológico de elicitores en el crecimiento y desarrollo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro
Yamith Ernesto Burgos-Avila, Javier Giovanni Álvarez-Herrera, Yomaira Liney Pinto-Aceroe1337
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1337>

Efectos de espaciamientos sobre el crecimiento y rendimiento del frijol caupí cultivar Caupicor 50
Carlos E. Cardona-Ayala, Félix Pastrana-Atencia, Hermes Araméndiz-Tatis, Miguel Espitia-Camacho, Carlos E. Cardona-Villadiegoe2139
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2139>

Effect of organic fertilization and pruning on cacao yield in Cundinamarca, Colombia
Camilo Andrés Vega, Jaime Torres-Bazurto, Juan Carlos Barrientos-Fuentes, Stanislav Magnitskiy, Helber Enrique Balaguera-Lópeze1818
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1818>

Aplicación de redes neuronales convolucionales para la detección del tizón tardío *Phytophthora infestans* en papa *Solanum tuberosum*
William Alexander Lozada-Portilla, Marco Javier Suarez-Barón, Eduardo Avendaño-Fernándeze1917
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1917>

Minadores de hojas del aguacate (Lepidoptera: Gracillariidae). Estado actual, Identificación, evaluación de daño y propuesta de manejo
Francisco Javier Posada-Flórez, Helber Adrián Arévalo-Maldonadoe2085
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2085>

Evaluación agronómica de líneas de arroz de sabana (*Oryza sativa* L.) obtenidas mediante mejoramiento poblacional por selección recurrente
Hernando Delgado-Huertas, Amanda Silva-Parra, Luis Alfonso Guarín-Gutiérreze1707
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1707>

Evaluación de fuentes de variación en pruebas multi-ambientes para rendimiento y sus componentes en algodón
Nedys Acevedo-Viloria, Manuel Cervera-Ricardo, Jorge Figueroa-Flórez, Jairo Salcedo-Mendoza, Veronica Ramos-Villacobe1849
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1849>

Sistema de trazabilidad aplicado a la producción de semilla bajo el esquema de mínimos para cultivos semestrales en los valles interandinos
Deisy Lorena Flórez-Gómez, Magda Jenny Medina-Mérida, Karen Viviana Osorio-Guerrero, David Napoleón Vargas-Ramírez, Sair Jaramillo-Bonilla, Luis Ernesto Ortigón-Herrera, Luisa Fernanda Sarmiento-Morenoe1689
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1689>

Evaluación fenotípica de semillas de haba (*Vicia faba* L.) colectadas en Nariño-Colombia
David Álvarez-Sánchez, Claudia Salazar-González, Benjamín Sañudo-Sotelo, Carlos Betancourth-Garcíae1874
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1874>

Effect of regulated deficit irrigation (RDI) on the vegetative growth of pear variety Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.)
Javier Enrique Vélez-Sánchez, María Jaqueline Molina-Ochoa, Pedro Rodríguez-Hernándeze2007
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2007>

El uso del lisímetro de pesada en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) genera ahorro en fertirriego
Germán A. Moreno-Poveda, Víctor Julio Flórez-Roncancio, Carlos A. González-Murilloe1940
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1940>

- Calidad de forraje y almidón en 10 clones de batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam.
Magda Piedad Valdés-Resrepo, Sanin Ortiz-Grisalese1580
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1580>
- Indicadores de estabilidad aeróbica en ensilajes de la mezcla *Tithonia diversifolia/Pennisetum purpureum* enriquecidos con *Lactobacillus*
Vilma A. Holguín, Mario Cuchillo, Jairo Mora-Delgadoe2093
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2093>
- Mercurio total en bagre rayado y bocachico del río Meta, Colombia
Santiago Valbuena-Rodríguez, Miguel Ángel Navarro-Ramíreze1880
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1880>
- Parámetros productivos del cultivo de cachama blanca *Piaractus orinoquensis*, en jaulas flotantes
Rocío Farro-Barbaran, Willy Mauricio Ramos-Iturregui, Sebastian Iglesias-Osores, Carmen Carreño-Farfáne2068
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2068>

CIENCIAS NATURALES

- Aislamiento e identificación de microorganismos ambientales del museo Tumbas Reales de Sipán
José Fernández-Manrique; Daniel Felipe Buitrago-Linares; Ricardo Murillo-Pachecoe1533
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1533>
- Atributos afectivos y cognitivos hacia la fauna silvestre y su relación con factores sociodemográficos en población rural
Leidis Toro-Julio, Estefanía Espitia-Martínez, Omar Tapasco-Alzate, Beatriz Toroe1840
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1840>
- Actividad anticoagulante *in vitro* del extracto etanólico de las hojas de dos especies de la familia Euphorbiaceae
Jhon Ruiz-Baquero, Oscar Camacho-Romero, Samir Bolívar-González, Alvaro Castro-Zafrae1681
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1681>

CIENCIAS SOCIALES

- Social determinants of health and community assets: Their importance for context analysis
Carolina Gallego-Osorio, Diana Paola Betancurth-Loaiza, Consuelo Vélez-Álvareze1633
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1633>

REPORTE DE CASO

- Reporte de pérdidas en el rendimiento de la soja causadas por la mancha anillada (*Corynespora cassiicola* Berk. & Curt.) en la Orinoquia colombiana
Deisy Lorena Flórez-Gómez, Samuel Caicedo-Guerrero, Nathali López-Cardonae1869
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1869>
- Aplicación de índices vegetales en café (*Coffea arabica* L.)
Edier Fernando Avila-Vélez, Bibiana Royero-Benavidese1584
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1584>

- Producción de xilitol a partir de hidrolizados de raquis de palma por *Candida tropicalis*: optimización de las condiciones de fermentación
Katherine Manjarres-Pinzon, Niza Cristina Otero-Guzmán, Eduardo Rodríguez-Sandoval, Guillermo Correa-Londoño, Mario Arias-Zabalae1894
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1894>

NOTA TÉCNICA

- Propuesta para la producción más limpia en destilerías artesanales
Santiago Aguiar, Alexandra Paola Panimboza-Ojeda, Angy Isabel Soto-Cabrera, Jonathan Xavier Cuyanquillo-Barrionuevo, Amaury Pérez-Martínez, Karel Diéguez-Santanae1500
<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1500>

PARES EVALUADORES



Editorial

La APP U.D.C.A más cerca de la I+D+i

Germán Anzola Montero¹

Rector

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

Como citar: Anzola Montero, G. 2021. La APP U.D.C.A más cerca de la I+D+i. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e2172. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2172>

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.

Actualmente, nos encontramos ante una sociedad del conocimiento que, según Krüger (2006), el avance de las tecnologías y las comunicaciones (TIC), permiten un avance tecnológico, abriendo la ventana para renovar los procesos de conocimiento, desarrollo e innovación e incentivar toda la gestión académica, administrativa, corporativa, en el sentido de avanzar en un entorno cambiante y “su utilización en los procesos económicos y en los ámbitos de planificación de la educación y formación, de la organización (gestión de conocimiento) y del trabajo (trabajo de conocimiento), adaptándose las estructuras organizativas y de gestión a un entorno cambiante”.

En este sentido, las Universidades, característicamente, no son las únicas que generan conocimiento, ya que otras organizaciones han logrado promover competencias efectivas, con la ayuda de las herramientas virtuales, permitiendo, así, impulsar la conformación de la sociedad del conocimiento (Pulido Huertas & Najjar Sánchez, 2015). Precisamente, que el conocimiento sea invaluable y necesario, incentiva los procesos de innovación en la Educación Superior y la relación que con esto tienen las TIC, resulta determinante.

En ese contexto, se ha potenciado en toda la Educación Superior la inminente incorporación de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC), las cuales, resultan ser una herramienta efectiva para el desarrollo de los procesos misionales, a saber, Formación, Investigación y Extensión y Proyección Social.

Como parte del proceso de innovación e incorporación de nuevas tecnologías en el quehacer universitario, la U.D.C.A adoptó, en este

año, el desarrollo de su aplicación, la cual, se caracteriza por ser accesible y con funcionalidad para toda la comunidad universitaria, entre la cual, se encuentra el proceso de investigación y gestión del conocimiento.

Innovar, agilizar y actualizar son los tres verbos que caracterizan a la App U.D.C.A. Por ello, en esta nueva versión y teniendo en cuenta nuestro quehacer investigativo, se dispuso una ventana o sección especial, la cual, le permite a los profesores acceder directamente al microsítio de investigación, donde encuentran información afín con las convocatorias vigentes, tanto internas como externas; mantenerse al día de las noticias relacionadas con la actividad investigativa de la Universidad; conocer a los investigadores y a los grupos de investigación de otros programas académicos y facultades, lo que facilita la articulación entre disciplinas y áreas del conocimiento; adicionalmente, encuentran todas las políticas institucionales, que orientan la actividad investigativa.

La App U.D.C.A, igualmente, les ayuda a llevar el seguimiento y control de sus proyectos de investigación, como el avance en el desarrollo de actividades, ejecución presupuestal, estado de entrega de informes y productos, con lo cual, los investigadores pueden hacer una gestión adecuada de sus proyectos.

Hoy por hoy, todo se maneja a través de celulares o tablets digitales y poder contar con una aplicación que permita la gestión de los proyectos de investigación, convocatorias y productos, facilita el proceso de seguimiento y asegura un buen desarrollo de las actividades investigativas, de innovación y de desarrollo.

La puesta en marcha con esta App es hacer más fácil y rápida la labor de nuestros científicos y académicos; además, su aplicabilidad se debe constituir en una herramienta tecnológica a la hora de pensar en las investigaciones, en gestionar el tiempo, en incrementar la productividad y organizar la información requerida, entre otras ventajas.

Lo más importante de la App U.D.C.A es la inmediatez para nuestros investigadores, es decir, contar con una aplicación móvil y de bolsillo, que les permita mostrar y dar a conocer, en tiempo real, sus productos científicos, resultado del acervo investigativo.

En este momento, con el uso de la App U.D.C.A, entregamos procesos de mejora, de innovación y vigente en el tiempo, que abarca cada uno de los servicios que presta la Universidad, con la proyección que sea sostenible en el futuro, tanto en el acceso, en la seguridad de los datos como en lo versátil; esto último, teniendo en cuenta lo cambiante de las actualizaciones tecnológicas. Es descubrir lo nuevo de la vida universitaria.

Con esta implementación, nos proponemos construir conocimiento a partir de tecnología, que permita ofrecer soluciones a los problemas del entorno local, regional y nacional, incentivando el

espíritu investigativo de todos nuestros profesores, comprendiendo que el mundo interconectado en el que vivimos, demanda de una rápida respuesta a las problemáticas que, a diario, se incrementan.

Este nuevo aporte que la U.D.C.A brinda a toda la comunidad universitaria, expresa su permanente deseo de innovar, facilitar y complementar los sistemas de información, particularmente, los relacionados con la investigación y generación de conocimiento en la comunidad universitaria, todo lo anterior siempre pensando en el mejoramiento continuo de todos los procesos académicos.

REFERENCIAS

1. KRÜGER, K. 2006. Concepto de la 'Sociedad del Conocimiento'. Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales. 11(683).
2. PULIDO HUERTAS, D.C.; NAJAR SÁNCHEZ, O. 2015. Gestión del conocimiento en educación con tic en la transformación de la escuela. Vínculos. 12(1):41-55.



Efecto fisiológico de elicitors en el crecimiento y desarrollo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro

Physiological effect of elicitors on the growth and development of potato (*Solanum tuberosum* L.) variety Diacol Capiro

Yamith Ernesto Burgos-Avila¹; Javier Giovanni Álvarez-Herrera²; Yomaira Liney Pinto-Acero³

¹Ing. Agrónomo, M.Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: yamith.burgos@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-8786-6311>

²Ing. Agrícola, M.Sc., Ph.D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: javier.alvarez@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1737-6325>

³Ing. Agrónoma, M.Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: yomaira.pinto@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-5748-9853>

Cómo citar: Burgos-Avila, Y.E.; Álvarez-Herrera, J.G.; Pinto-Acero, Y.L. 2021. Efecto fisiológico de elicitors en el crecimiento y desarrollo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1337. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.2.2021.1337>

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

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

Recibido: febrero 28 de 2020

Aceptado: julio 7 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La utilización de elicitors es frecuente en la inducción de diferentes respuestas relacionadas con la resistencia sistémica de las plantas; no obstante, no se ha caracterizado el gasto metabólico que generan en el cultivo de papa variedad Diacol Capiro, que es la más utilizada para el procesamiento industrial en Colombia, debido a su calidad y alta producción. En esta investigación, se evaluó el efecto de cuatro elicitors en el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa, en la vereda El Toval, del municipio de Tutazá, Boyacá. El diseño experimental fue en parcelas divididas, en donde la parcela principal fue la etapa fenológica, en la que se hizo la aplicación (E1; formación de tallos secundarios), época dos (E2; floración) y época tres (E3; aplicación tanto en formación de tallos secundarios como en floración) y la subparcela, con los elicitors aplicados

(glucosamina, ácido γ -amino butírico, fosfito de potasio y ácido salicílico) y el testigo sin aplicación. Los datos fueron tomados a los 60, 80 y 100 días después de la siembra, teniendo como variables: altura de la planta, número de folíolos, clorofilas totales, eficiencia fotosintética, biomasa seca y producción. La glucosamina fue el tratamiento que obtuvo menores resultados en la mayoría de variables evaluadas con respecto al testigo; asimismo, los elicitors tienen efectos diferentes, dependiendo del estado fenológico del cultivo, especialmente, en la época de formación de tallos secundarios. El ácido salicílico (AS) presentó un comportamiento estadísticamente similar al del testigo, mientras que los demás elicitors aplicados, disminuyeron la producción de papa.

Palabras clave: Glucosamina; Inductores; Ácido salicílico; SPAD; Fosfito de potasio.

ABSTRACT

Elicitors are frequently employed for the induction of different responses related to the systemic resistance of plants, however, it has not been fully characterized in the metabolic expenditure generated in the cultivation of the potato variety Diacol Capiro, the most planted for industrial processing in Colombia due to its quality and production. In this research, the effect of four elicitors on the growth and development of the potato crop was evaluated, in the municipality of Tutazá, Boyacá. The experimental design was divided plots, being the main plot the phenological stage in which the application was made (E1; formation of secondary stems), season two (E2; flowering) and season three (E3; application both in formation of secondary stems as in flowering) and the subplot, the applied elicitors (glucosamine, γ -amino butyric acid, potassium phosphite and salicylic acid) and the control without application. Data were taken 60, 80 and 100 days after sowing, having as variables: plant height, number of leaflets, total chlorophylls, photosynthetic efficiency, dry biomass and production. With the use of glucosamine the lowest results were obtained in most of the variables evaluated with respect to the control, likewise, elicitors had different effects depending on the phenological state of the crop, especially at the moment of secondary stem formation. Salicylic acid (AS) presented a statistically similar behavior to that of the control while the other applied elicitors decreased potato production.

Keywords: Glucosamine; Elicitors; Salicylic acid; SPAD; Potassium phosphite.

INTRODUCCIÓN

El aumento constante de la población ha puesto en riesgo la seguridad alimentaria, por lo que se hace necesario el incremento de la productividad de los cultivos (Latre-Gasquet *et al.* 2018). La papa es uno de los cultivos más importantes en Colombia, su producción se ha incrementado en un 8 % durante los últimos 18 años y su productividad ha aumentado de 17,96 t ha⁻¹, en 2006, a 21,4 t ha⁻¹, en 2017; sin embargo, aún no se cumple con la producción necesaria para satisfacer la demanda nacional (Fedepapa, 2019).

Una de las estrategias para aumentar la productividad de los cultivos es reducir las pérdidas causadas por la presencia de plagas y de enfermedades, estimadas entre un 25 a 40 %, de la producción total (Sobhy *et al.* 2015). El cultivo de papa es el producto de origen agrícola que, en Colombia, demanda la mayor cantidad de fungicidas e insecticidas (Gobernación de Antioquia, 2019).

Una alternativa ambiental y de bajo impacto utilizada en el control de plagas y de patógenos son los elicitores, los cuales, son compuestos que pueden ser aplicados a los cultivos, con el fin de fortalecer las plantas y aumentar su vigor, resistencia y rendimiento (Sobhy *et al.* 2015). La resistencia sistémica inducida es una forma no específica de resistencia a las enfermedades en las plantas, que actúa contra una amplia gama de patógenos y es activada por una amplia gama de elicitores no específicos (Bruce, 2014). Estas moléculas pueden ser,

tanto de naturaleza microbiana de patrones moleculares asociados a patógenos como de las automoléculas o patrones moleculares asociados a daños (Aubel *et al.* 2016). La mayoría de los estudios, se han centrado en las vías de señalización subyacentes y la posible influencia en interacción planta-patógeno, mientras que poco conocimiento se tiene sobre el efecto de la aplicación de elicitores en condiciones de campo, en las variables de crecimiento y de producción del cultivo y en los costos de asignación que puede generar la resistencia sistémica adquirida (RSA) (Agrawal, 1999; Heil, 1999). Dentro de los llamados elicitores, se encuentran, principalmente, el ácido salicílico (AS) y el ácido jasmónico (AJ), que permiten una respuesta coordinada de toda la planta, contra posibles invasores (Pieterse *et al.* 2012). Al respecto, Navarre *et al.* (2003) encontraron que al aplicar AS no hubo un efecto claro en las plantas de papa, por lo que sugieren aclarar si los altos niveles basales de AS constituyen una defensa efectiva o, por el contrario, disminuyen la capacidad de respuesta al AS.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de un grupo de sustancias elicitoras sobre el crecimiento, el desarrollo y la producción del cultivo de papa variedad Diacol Capiro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio, se llevó a cabo en la vereda el Toval, del municipio de Tutazá, departamento de Boyacá, Colombia, situada a 6°04'43,73" N y a 72°53'04,67" O, con una altitud de 3.243 m s.n.m. y una temperatura promedio de 14 °C. El cultivo seleccionado corresponde a la variedad Diacol capiro.

Se utilizó un diseño experimental en parcelas divididas con tres niveles, en donde cada uno de estos correspondió a la época de aplicación del elicitador, de acuerdo con el estado fenológico del cultivo, según escala fenológica BBCH, así: época uno (E1; formación de tallos secundarios), época dos (E2; floración) y época tres (E3; aplicación tanto en formación de tallos secundarios como en floración); lo anterior, acorde con Valbuena *et al.* (2009). Las subparcelas tuvieron cinco niveles, que fueron el elicitador empleado: glucosamina 1 g L⁻¹, Ácido γ -amino butírico (GABA) 1 g L⁻¹, Fosfito de Potasio 1,5 ml L⁻¹ y ácido salicílico (AS) 1 g L⁻¹ y el testigo sin aplicación.

Cada parcela tuvo un tamaño de 3 m x 80 m y cada subparcela 3 m x 4 m, lo que generó un total de 60 unidades experimentales, producto de multiplicar las tres épocas de aplicación por los cinco elicitores aplicados y cuatro repeticiones.

La toma de datos, se realizó a los 60, 80 y 100 días después de siembra (dds) a las variables: altura de la planta (cm), desde la parte basal hasta el foliolo más alto; número de foliolos por planta, contando la totalidad de foliolos expresado en unidades; clorofilas totales, por medio de un clorofilómetro SPAD-502 (Konica Minolta, Inc., Tokyo, Japón), para lo cual, se realizaron 4 mediciones por planta, en la tercera hoja bajando del tercio alto de la planta, de esta forma, al final de cada medición, se generó un

promedio de clorofilas totales por unidad experimental, expresado en unidades SPAD. La masa seca, se determinó con una balanza VIBRA AJ220E (Shinko Denshi Co, Tokyo, Japon), después de cosechar los tubérculos y secarlos en mufla, a 75 °C, hasta obtener peso constante. La producción total, se determinó pesando todos los tubérculos por unidad experimental y los resultados se llevaron a unidades de $t\ ha^{-1}$. El número de tubérculos de calidad de primera, se estableció de acuerdo con los estándares establecidos por el mercado, ríche (<4 cm de diámetro), primera (entre 4 y 9 cm de diámetro), cero (>12 cm de diámetro).

La eficiencia fotosintética, se midió en campo, con el fluorómetro Junior-Pam (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Alemania), en 4 plantas por unidad experimental, para lo cual, se cubrió la tercera hoja bajando del tercio alto, con 2 bolsas de aluminio y una bolsa de papel, durante 60 min, con el fin de generar la reducción de la actividad del PSII a valores cercanos a 0. Pasada una hora, se procedió a realizar las mediciones con el sensor del equipo, conservando la condición de oscuridad de la hoja.

Con los datos obtenidos, se realizaron pruebas de normalidad y de homogeneidad de varianzas; posteriormente, se llevó a cabo el análisis de varianza (Anova), para determinar diferencias estadísticas, con un grado de confiabilidad del 95 % y se determinaron pruebas de comparación de promedios Tukey ($P \leq 0,05$). Los análisis, se realizaron con el software R versión 3.1.2.2 (R Team Core, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta. Al comparar las épocas de aplicación y los tratamientos no se presentaron diferencias significativas, ni tampoco en la interacción a los 60 dds; no obstante, se presentaron diferencias a los 80 y 100 dds, para la interacción época por tratamiento, con valores promedio de 42 y 68 cm, respectivamente. Es posible que esto ocurra, porque las plantas respondieron a las variaciones en la disponibilidad de fotoasimilados, a partir de la asignación y repartición de éstos entre los distintos órganos, ya que optimizan la captura de los mismos y maximizan, consecuentemente, la tasa de crecimiento (White *et al.* 2015).

En la interacción tratamiento por época, a los 80 dds, se presentan diferencias significativas (Figura 1a), en donde la aplicación de fosfito de potasio en la E1 presentó los mayores valores promedio de altura (47 cm). Al respecto, Rossall *et al.* (2016) afirman que los fosfitos promueven el crecimiento de las plantas, incluso, en ausencia de patógenos vegetales, lo que concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo; posiblemente, esto ocurre, porque el fosfito aplicado vía foliar es absorbido más rápidamente que los fosfatos, lo que hace que algunas funciones, como la síntesis de fitoalexinas y aminoácidos, sean más rápidas (Gómez-Merino & Trejo-Téllez, 2015). Además, el fosfito de potasio es capaz de producir un rápido estímulo de importantes procesos metabólicos en las plantas, implicados en la superación del estrés ambiental, patológico y nutricional (Cohen, 2002), debido a que el compuesto, al entrar en la planta, separa el anión del catión, dejando que el potasio contribuya con la mayor translocación de fotoasimilados a

los órganos vertederos (hojas y tallos nuevos). Lo anterior coincide con los resultados hallados por Ortiz & Zapata (2011), quienes encontraron plantas de plátano más altas, al aplicar fosfito de potasio y afirman que este producto activa el sistema de defensa de las plantas y, al mismo tiempo, metaboliza el fosfito a fosfato, para utilizarlo como nutriente, desempeñando un papel importante en el crecimiento y el desarrollo del cultivo.

Las plantas tratadas con glucosamina presentaron los valores más bajos de altura en la E1 y E3, posiblemente, al efecto que esta tiene en la elongación celular, ya que una de las características de este polímero es que influye en las propiedades funcionales de los sistemas en donde se adicione, pues interviene, de manera significativa, en el crecimiento de las plantas (Falcón *et al.* 2008).

A los 100 dds, se presentaron diferencias significativas para la interacción época por tratamiento (Figura 1b), siendo el tratamiento de GABA el que mostró las plantas con mayor altura, con un promedio de 76,5 cm, en la E1 y las más bajas, en los tratamientos AS y glucosamina en la E3, mientras que para GABA, en la E2, las alturas no superaron los 62 cm. Para la E2, al aplicar GABA a las plantas, el proceso involucrado en el crecimiento fue menor, ya que la competencia metabólica podría resultar en la variación de los costos de asignación. Caso contrario a lo reportado por Rose *et al.* (2003), quienes afirman que con la adición de 4 % de quitina al medio, el crecimiento de las plantas mejoró de forma significativa y no solo actuó como inductor de respuestas de defensa de las plantas.

Número de foliolos. El número de foliolos no presentó diferencias significativas a los 60 dds y tuvo un promedio de 26, mientras que a los 80 y 100 dds sí se presentaron diferencias entre tratamientos (Figura 2a y 2b), épocas (Figura 2c) y la interacción época por tratamiento (Figura 2d), con promedios de 75 y 183, respectivamente. La E1 mostró los valores más altos, con 187 foliolos en promedio; no obstante, la aplicación en E3 tuvo el menor valor, con un promedio de 180 foliolos. Al respecto, la eficiencia en la producción de follaje puede estar afectada por factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo y factores externos relacionados con el ambiente y las prácticas de manejo utilizadas, durante el ciclo de cultivo (White *et al.* 2015). Posiblemente, el gasto energético de las plantas fue menor en la producción de foliolos por la doble aplicación de elicitores, durante esta época, debido a que los elicitores inducen derivados del ácido salicílico (AS), los cuales, se acumulan en las plantas y pueden activar la expresión de genes específicos de patogénesis relacionada (PR), que no son inducidos por AS (Chen *et al.* 2009).

Després *et al.* (2007) determinaron que los esfuerzos metabólicos en las plantas dependen de la etapa de crecimiento y la disponibilidad de recursos, que pueden causar costos de asignación, lo que se ratifica en este estudio, en donde la E3 tiene el menor número de foliolos, ya que la aplicación es tardía y se da en una etapa de mayor requerimiento de fotoasimilados. Para el caso de interacción entre tratamientos y épocas, a los 80 dds, se presentaron diferencias significativas; asimismo, el tratamiento de Glucosamina presentó una disminución notable del número de foliolos para la época 1 y 3.

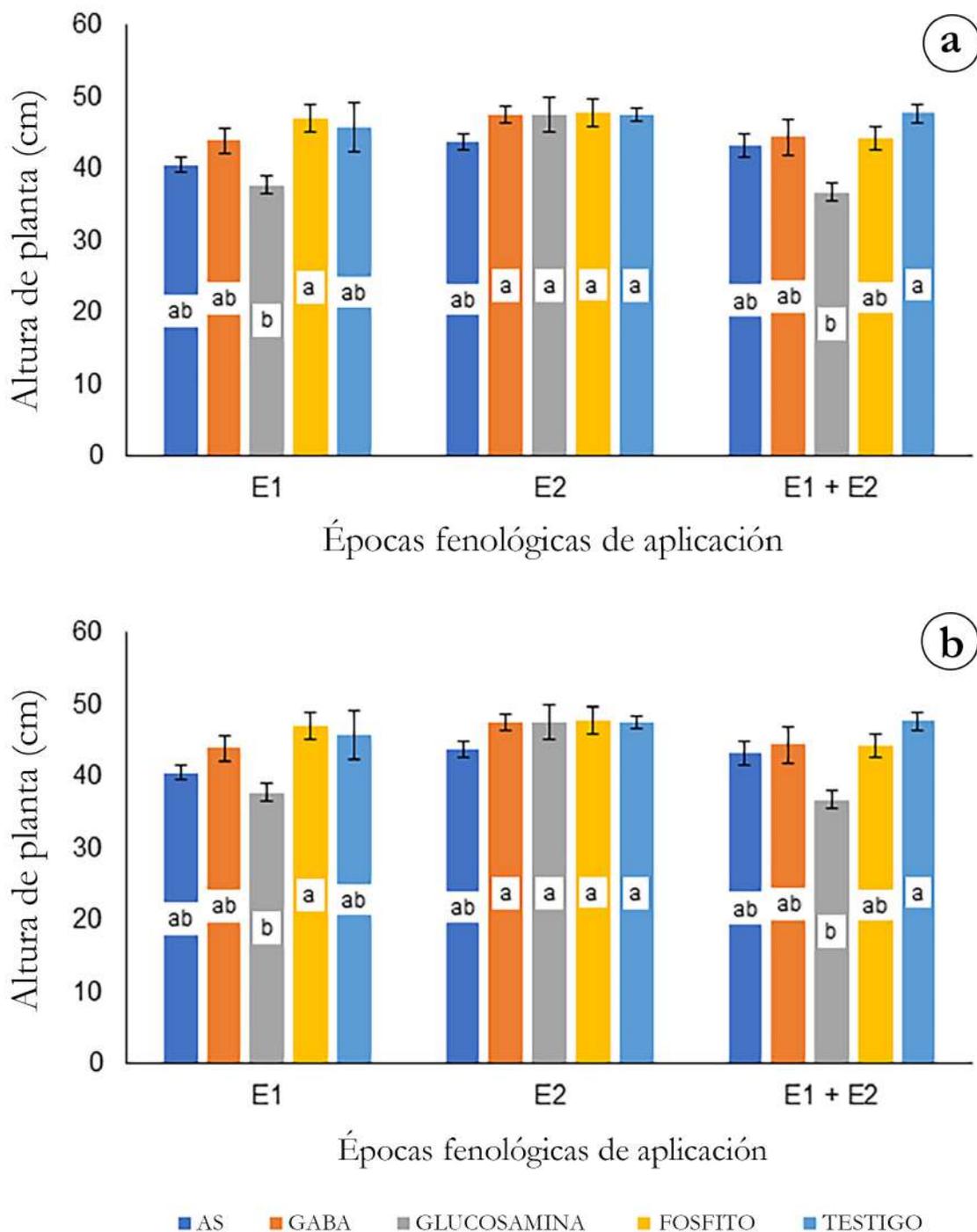


Figura 1. Altura de la planta de papa. a. 80 dds; b. 100 dds. AS: Ácido salicílico; GABA: Ácido γ -aminobutírico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

A los 100 dds, se presentaron diferencias significativas en la interacción entre tratamientos y épocas, en donde las plantas con mayor número de folíolos fueron las del tratamiento testigo en las tres épocas, con un promedio de 193 y las plantas con menor número de folíolos fueron las que recibieron la aplicación de glucosamina, con 175 y 170 folíolos, en la E2 y E3, respectivamente. Es posible que la glucosamina en las plantas cree barreras físicas para la protección de la planta (Riveros, 2010), debido a que la glucosamina proviene

de la ruta del ácido shikímico, que es el precursor de la fenilalanina y los fenil propanoides, los cuales, sintetizan la lignificación de tejidos, flavonoides y estilbenos, tanino suberinas y cutinas, además de la producción de fitoalexinas (Barber *et al.* 1999); Albersheim & Valent (1978) demostraron que oligómeros de glucanos de las paredes celulares son inductores activos de fitoalexinas, por ende, disminuye la producción de folíolos, ya que el gasto energético va dirigido a estos procesos metabólicos.

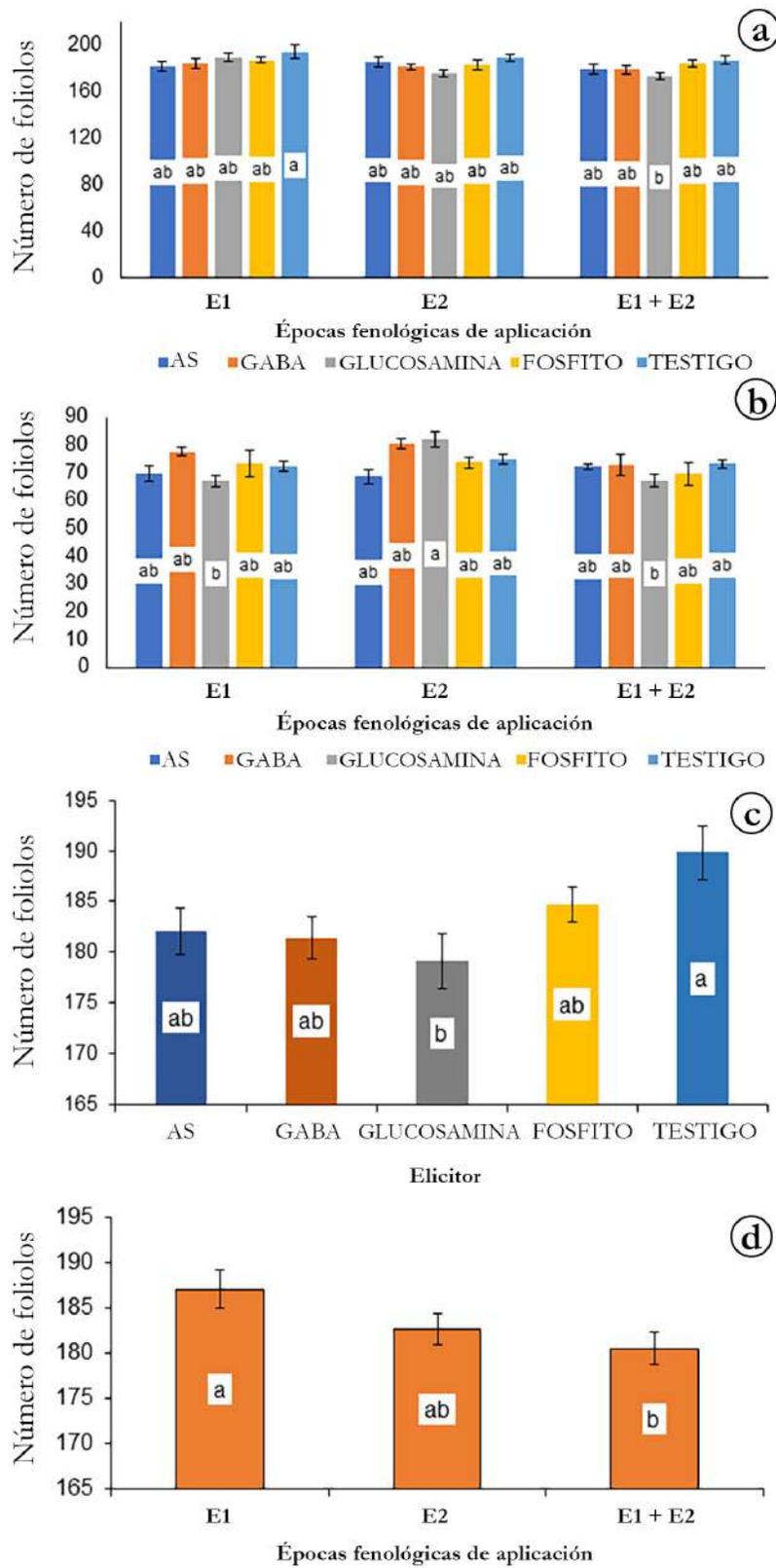


Figura 2. Número de folíolos por planta de papa. a. 80 dds; b. 100 dds; c. Clasificados por elicitores; d. Clasificados por épocas fenológicas de aplicación; BBCH E1: Formación de tallos secundarios, BBCH E2: Floración y BBCH E1 + BBCH E2: en formación de tallos secundarios y en floración. AS: Ácido salicílico; GABA: Ácido γ -aminobutírico. Letras diferentes indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

En un estudio de la interacción en tomate y la pudrición de corona de la raíz por patógeno *F. oxysporum* f. sp., Benhamou & Theriault (1992) demostraron que la aplicación de glucosamina foliar, para tratamiento de una infección de las raíces, aumentó, en gran medida, la formación de barreras físicas en los tejidos de la raíz; de hecho, el quitosano se ha utilizado para proteger una gama de huéspedes contra patógenos importantes, incluidos, los tubérculos de papa contra *Erwinia carotovora* y *Rhizoctonia solani* (Linden *et al.* 2000). La baja en el número de foliolos también se puede atribuir a que la aplicación de glucosamina genera un aumento de calcio citosólico libre y formación de H₂O₂, seguida de la expresión de genes, que codifican enzimas clave de la ruta de los fenilpropanoides y de PR (Aziz *et al.* 2007).

Clorofilas totales. No se presentaron diferencias significativas para las épocas de aplicación en ninguna de las evaluaciones, ya que los valores oscilaron entre 53 y 58 unidades SPAD, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Africano & Pinzón (2014), quienes mencionan que es probable que no se afecten los fotosistemas, en especial, porque la relación fuente vertedero se ha mantenido y no ha comenzado a traslocar fotoasimilados.

Para la interacción tratamiento por época a los 60 y 80 dds, no se presentaron diferencias significativas, con valores promedio de 53 y 52 unidades SPAD, respectivamente, lo que indica que, posiblemente, no se han provocado daños en membranas de cloroplastos o degradación de las clorofilas, por la etapa fenológica en la que se encuentran o que no ha comenzado la traslocación a los tubérculos y la clorofila, aún se está distribuyendo equitativamente entre las nuevas hojas, acorde con lo encontrado por Argente *et al.* (2009), quienes mencionan que el contenido de clorofilas totales disminuyó a medida que la planta entra en fase reproductiva.

A los 100 dds (Figura 3) hubo diferencias significativas, en donde el menor número de clorofilas totales se presentó en las plantas que recibieron la aplicación de fosfito de potasio en la E2, con un promedio de 47 unidades SPAD, lo que, posiblemente, puede indicar que, debido a la competencia ejercida entre fosfitos y fosfatos por canales de entrada intracelulares, se produce una deficiencia de fosfato, con poco adenosin trifosfato (ATP), para desarrollar síntesis de clorofilas a partir del ácido glutámico, similar a lo reportado por Wu *et al.* (2011), quienes mencionan que, probablemente, la liberación de ATP fue bloqueada por los canales de aniones de la membrana, pero no por un canal específico de cloro.

Eficiencia fotosintética (EF). No se presentaron diferencias significativas a los 60 dds, mientras que a los 80 dds, sí se observaron entre épocas. A los 100 dds hubo diferencias entre tratamientos y en la interacción tratamiento por época en la eficiencia fotosintética de las plantas de papa; sin embargo, la EF mostró una tendencia a disminuir hacia los 100 dds, con valores que oscilaron entre 0,78 y 0,75. En la época 2, la EF, a los 80 dds, tuvo un valor promedio para todas las aplicaciones, de 0,81, superior a los 0,77, registrados en la E3 (Figura 4a). Cabe mencionar que la fotosíntesis consta de dos fases principales, la fase fotoquímica y el ciclo de Calvin, por lo

que cualquier factor que altere el normal funcionamiento de alguna de estas fases es causal del descenso de la EF; adicionalmente, los elicitores son reconocidos como reguladores endógenos en las plantas, al estar involucrados en muchos procesos fisiológicos de las plantas (Mishra *et al.* 2012).

El tratamiento con aplicación de ácido salicílico mostró una tendencia ascendente en la EF de las plantas de papa en las dos primeras mediciones y presentó a los 100 dds valores ligeramente menores, a los exhibidos por las plantas del tratamiento testigo (Figura 4b). De igual forma, se aprecia que la aplicación de fosfito y glucosamina en las dos etapas, influye de forma negativa en la EF, ya que disminuye en un 7 y 5 %, respectivamente, en relación con la aplicación de estos elicitores en una sola etapa.

Las plantas que recibieron AS, tanto en la E1 como en la E2, presentaron valores similares al testigo; sin embargo, cuando se aplicó AS en las dos etapas, la EF se redujo en 2,6 %, debido a la doble aplicación de AS, la cual, probablemente, pudo haber generado estrés en las plantas de papa; lo anterior es similar a lo encontrado en semillas de arroz, por Le Thanh *et al.* (2017), quienes al evaluar la aplicación de AS obtuvieron un 28 % más de producción de especies reactivas de oxígeno, frente al testigo, lo que es un indicativo de la situación de estrés en las plantas que origina el AS.

Biomasa seca. La medición de la masa seca mostró diferencias significativas en la interacción entre épocas y tratamientos. La masa seca del tratamiento testigo fue superior en un 20,8, 16,2, 24,1 y 11,7 % a los tratamientos, cuyas plantas recibieron las aplicaciones de AS, GABA, glucosamina y fosfito, respectivamente, en donde la presencia de órganos de la planta, con una demanda neta por asimilados, es probable que altere, de gran manera, los patrones de producción y de distribución de la biomasa seca en los diferentes órganos de la planta (Dietrich *et al.* 2005).

El tratamiento con glucosamina presentó los valores más bajos para la producción de masa seca (Figura 5a). Al respecto, es probable que las plantas que fueron inducidas con glucosamina, posiblemente, gastaron mayor energía en la defensa que en la producción de biomasa seca, ya que este polímero ha sido extensamente evaluado, para determinar la capacidad de inducir respuestas de defensa natural en la planta, presentando cambios fisiológicos y bioquímicos que ocurren dentro de la planta, debido a la inducción por quitosano (Rodríguez-Pedroso *et al.* 2009).

Del mismo modo, el AS también afectó, de forma significativa, la acumulación de masa seca de las plantas. Al respecto, es probable que la aplicación de AS actúe como un regulador sobre el balance óxido/reducción de las células vegetales; además, induce respuestas adaptativas, fisiológicas y morfológicas en las plantas, que incluyen el incremento en la producción de lípidos (Le Thanh *et al.* 2017), el aumento de la actividad enzimática de la peroxidasa y la polifenol oxidasa, así como el aumento en la producción de fitoalexinas, orizalexinas y de la actividad antioxidante (Li *et al.* 2012), lo cual, implica un desgaste de la planta y explica la menor generación de biomasa seca.

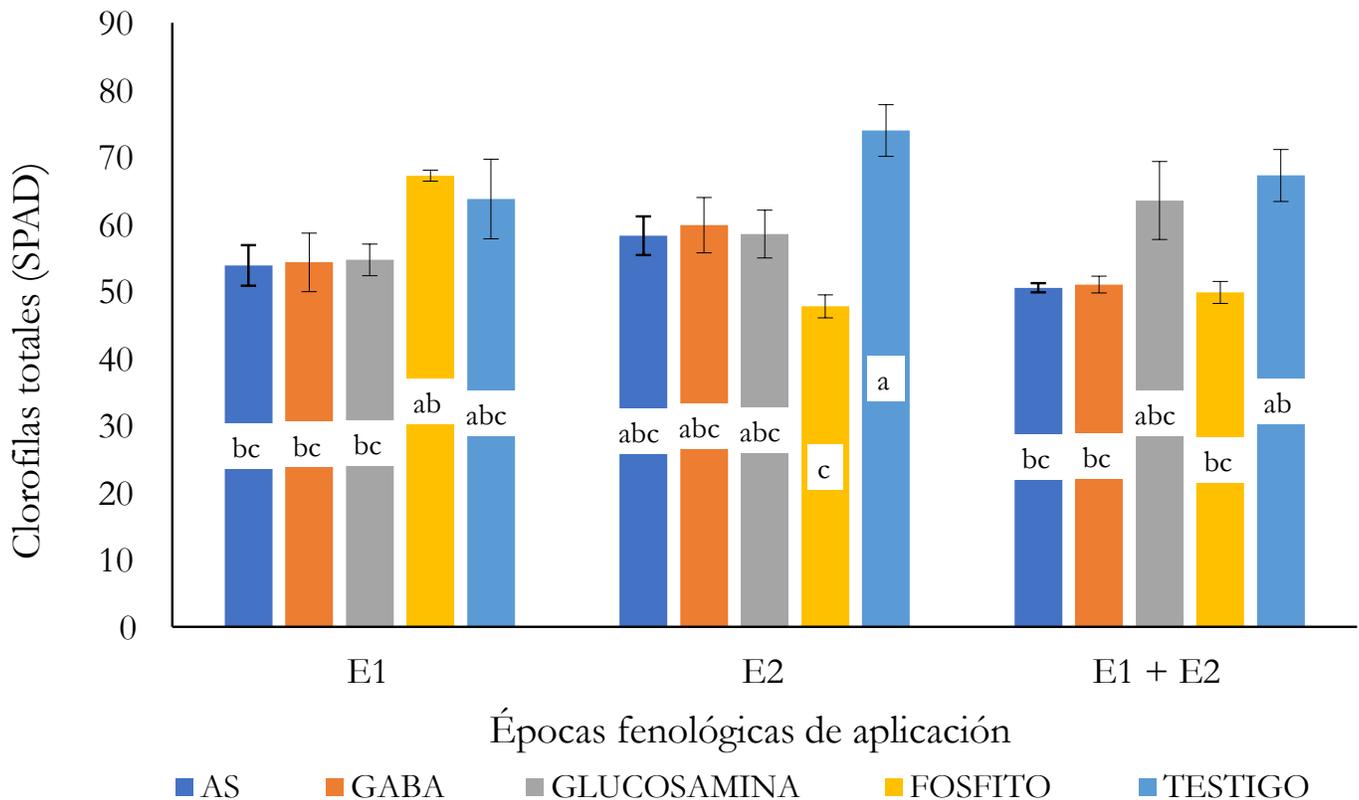


Figura 3. Clorofilas totales en plantas de papa a los 100 dds. BBCH E1: etapa 1, formación de tallos secundarios; BBCH E2: etapa 2, floración. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

Producción total. Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El testigo mostró la producción total más alta (Figura 5b), lo que implica que la aplicación de elicitors afecta la producción del cultivo. Las plantas de papa que recibieron la aplicación de AS y glucosamina fueron las de más baja producción (28,6 y 15,8 % menos que el testigo, respectivamente), lo cual, puede ser atribuido a que estos dos elicitors promueven una mayor asignación de recursos a la defensa de la planta que a la generación de apios de arracacha.

De forma similar, Walters *et al.* (2005) afirman que los elicitors pueden facilitar la desviación de metabolitos y de energía del crecimiento y otros procesos hacia la defensa de la planta; también se menciona, que sistemas, como el de la producción de semillas, se puede ver afectado, debido a la variación en los costos de asignación, que provocan los elicitors (Thakur & Sohal, 2013; Dietrich *et al.* 2005). Otros efectos negativos que pueden causar los elicitors son el efecto autotóxico, ya que algunos de estos rasgos de resistencia son tóxicos para la planta y su expresión constitutiva puede imponer una carga metabólica adicional (Ghimire *et al.* 2019).

Las épocas de aplicación de los elicitors no revelaron diferencias significativas en la producción total de tubérculos de papa; no obstante, cuando se aplicaron los elicitors en la E1 (63,8 t ha⁻¹),

los valores fueron 9,17 y 11,7 %, mayores que la producción de las plantas tratadas en la E2 (57,9 t ha⁻¹) y en la E3 (56,33 t ha⁻¹), respectivamente.

Número de tubérculos de calidad primera (entre 4 y 9 cm de diámetro).

Los tubérculos de calidad primera mostraron diferencias en la interacción entre tratamientos y épocas (Figura 6), en donde la aplicación de fosfito de potasio generó la mayor producción en las tres épocas de aplicación, seguida por el tratamiento que recibió la aplicación de glucosamidas, que fue un 11,3, 3,48 y 4,22 % inferior, para la E1, E2 y E3, respectivamente, lo que permite afirmar que la producción de la calidad primera se ve beneficiada por la aplicación del ión potasio, similar a Lobato *et al.* (2008), quienes mencionan que las plantas presentan un mayor verdor en la madurez del cultivo y, finalmente, la obtención de un mayor rendimiento de tubérculos (mayor tamaño y número de tubérculos).

Cabe resaltar, que, al aplicar los tratamientos en la E2, el porcentaje de tubérculos de papa, en promedio, disminuyó frente a las demás épocas de aplicación, lo que permite inferir, que esta etapa de desarrollo del cultivo es más sensible a los elicitors aplicados. Estos resultados son similares a los encontrados en un estudio diseñado

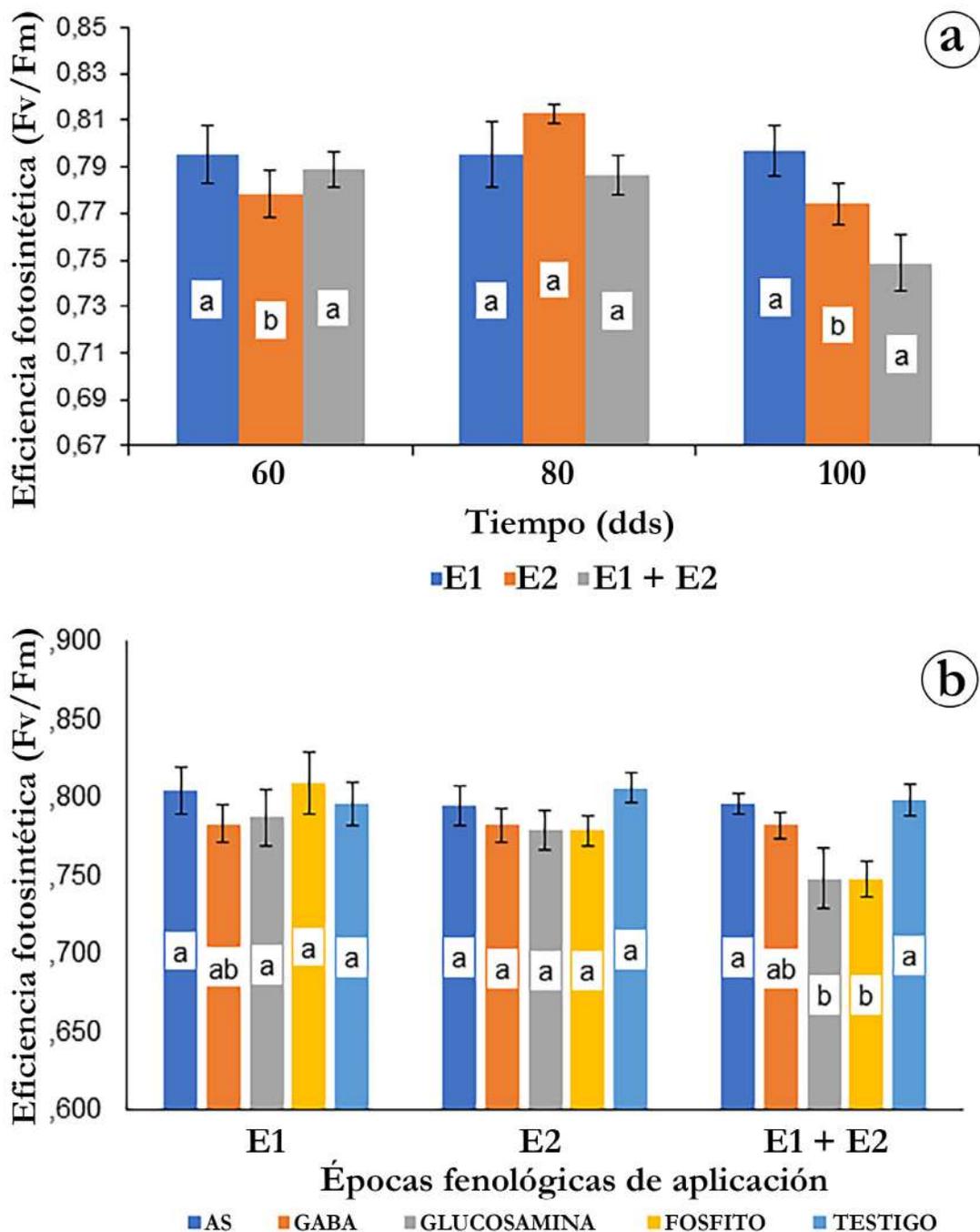


Figura 4. Eficiencia fotosintética de plantas de papa. a. Clasificadas por días de medición; b. Clasificadas por épocas de aplicación de diferentes elicitores; BBCH E1: etapa 1, formación de tallos secundarios; BBCH E2: etapa 2, floración. Letras diferentes indican diferencias significativas entre el tiempo de medición, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

específicamente para cuantificar los costos de asignación de SAR, en el cual, plantas de trigo tratadas con BTH, bajo condiciones libres de patógenos, mostraron una reducción significativa en la biomasa y la producción de semilla (Heil *et al.* 2000).

Se puede concluir que los elicitores afectan significativamente el crecimiento y el desarrollo del cultivo de papa variedad Diacol Capiro, en especial, cuando son adicionados a la planta, en dos aplicaciones en la E3, mientras que, si se realiza una sola aplicación

de cualquier elicitore en la época 1, el crecimiento y el desarrollo del cultivo no se ve afectado. En cuanto a los parámetros fisiológicos del cultivo, el elicitore que menor repercusión tiene sobre el crecimiento y el desarrollo es el ácido salicílico, ya que tiene un comportamiento muy parecido al del testigo.

La etapa de floración es la más sensible a los elicitores, debido a que estos redujeron el porcentaje de tubérculos de papa. En general, la aplicación de elicitores disminuyó la producción de papa.

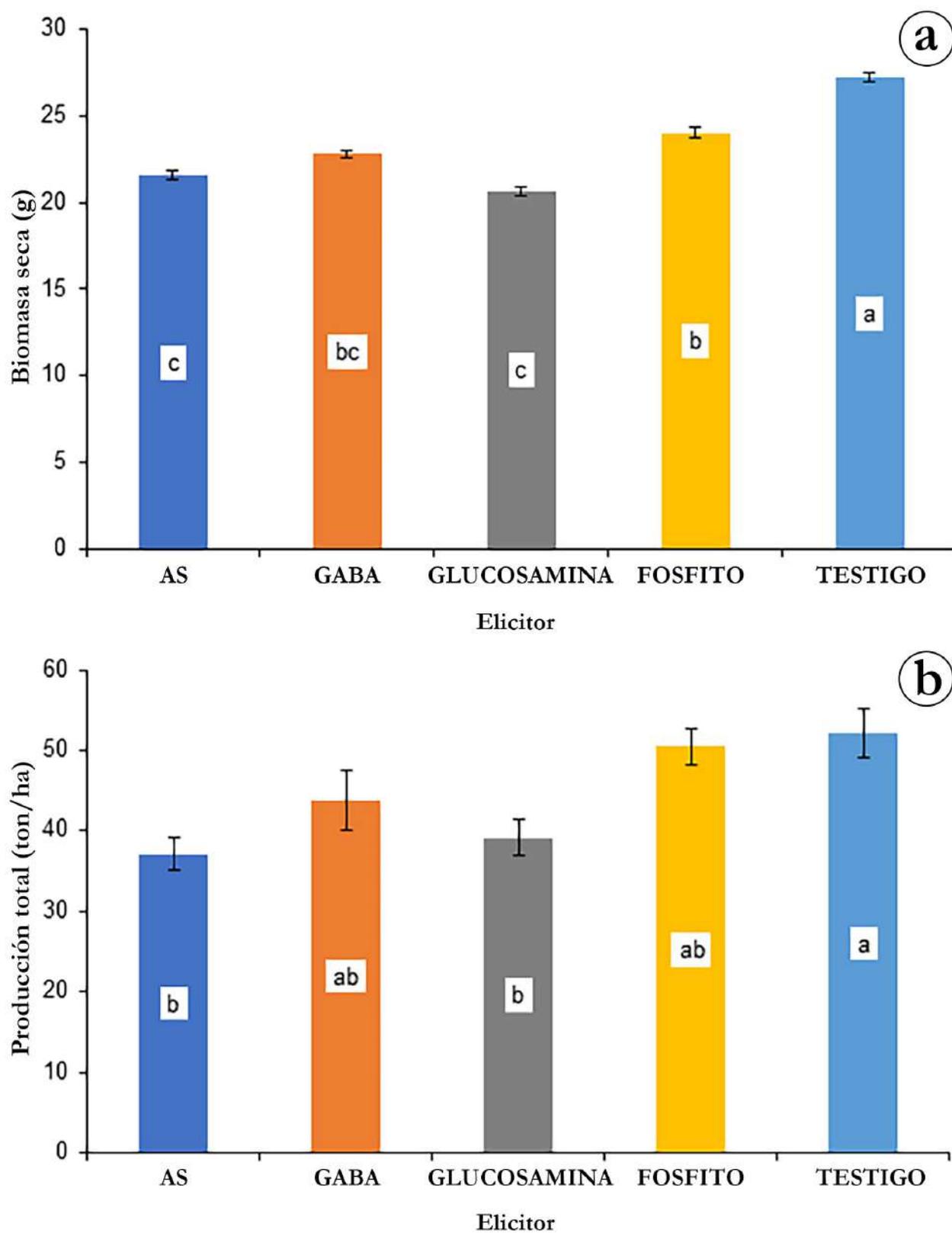


Figura 5. a. Biomasa de plantas de papa; b. Producción total de plantas de papa sometidas a la aplicación de diferentes elicitores. Letras diferentes indican diferencias significativas entre elicitores aplicados, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=12$).

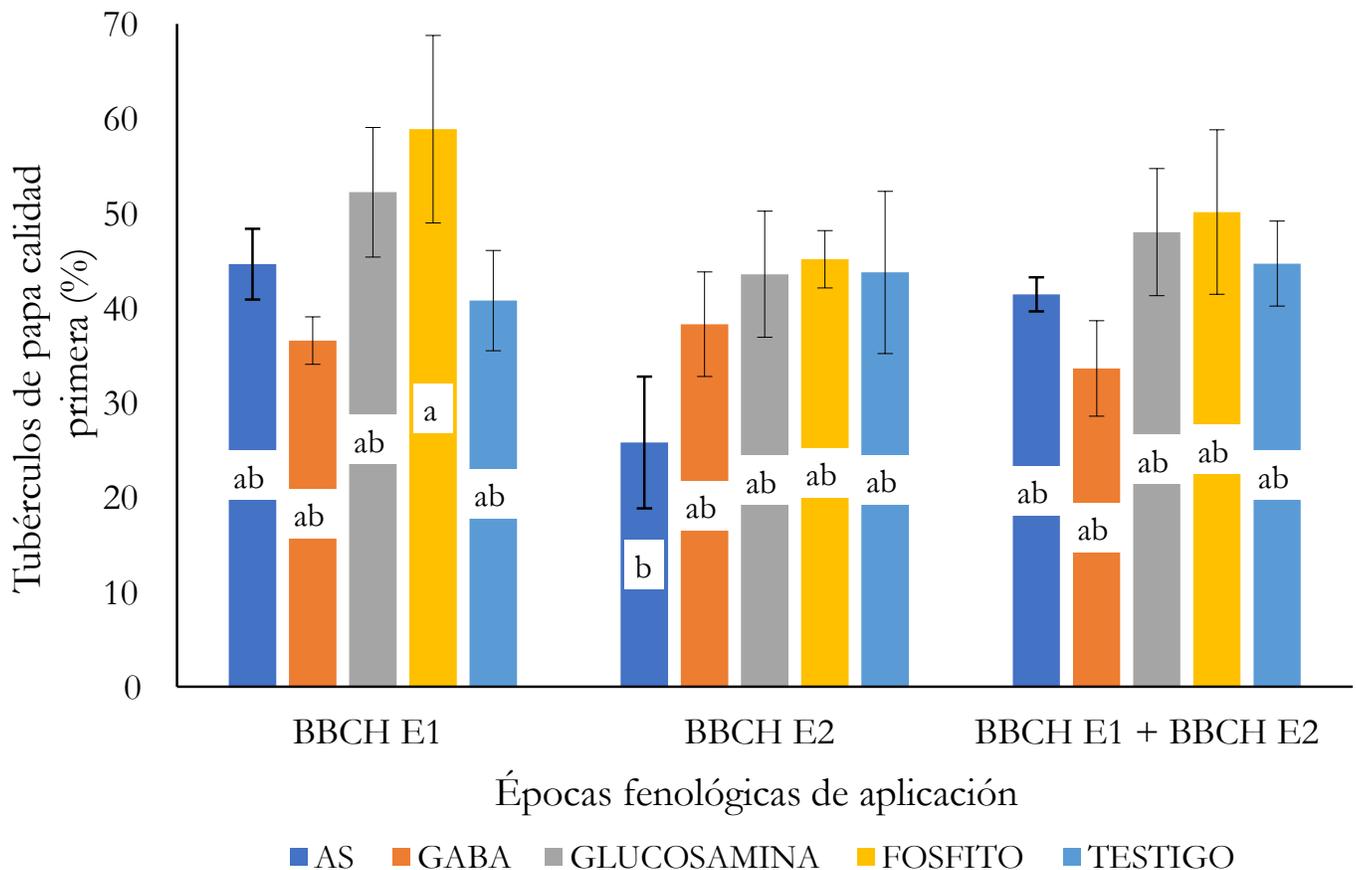


Figura 6. Porcentaje de tubérculos de papa de calidad primera (entre 4 y 9 cm). BBCH E1: etapa 1, formación de tallos secundarios; BBCH E2: etapa 2, floración. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras indican el error estándar ($n=4$).

Agradecimientos. Esta investigación, se realizó gracias al apoyo económico de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a través del proyecto SGI 1917, “Estimación de los costos de asignación de carbohidratos en función de la aplicación de elicitores en papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Diacol Capiro en Tutazá-boyacá”. **Conflicto de interés:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. AFRICANO, K.; PINZÓN, E. 2014. Comportamiento fisiológico de plantas de rábano (*Raphanus sativus* L.), sometidas a estrés por salinidad. *Conex. Agro.* 3(2):13-24.
2. AGRAWAL, A. 1999. Induced responses to herbivory in wild radish: effects on several herbivores and plant fitness. *Ecology.* 80(5):1713-1723. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1713:IRTHIW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1713:IRTHIW]2.0.CO;2)
3. ALBERSHEIM, P.; VALENT, B. 1978. Host-pathogen interactions in plants. Plants when exposed to oligosaccharides of fungal origin defend themselves by accumulating antibiotics. *J. Cell Biol.* 78(3):627-643. <https://doi.org/10.1083/jcb.78.3.627>
4. ARGENTEL, L.; LÓPEZ, D.; GONZÁLEZ, L.; LÓPEZ, R.; GÓMEZ, C.; GIRÓN, R. 2009. Contenido de clorofila e iones en la variedad de trigo harinero cuba-c-204 en condiciones de estrés salino. *Cultivos Tropicales.* 30(4):32-37.
5. AUBEL VAN, G.; CAMBIER, P.; DIEU, M.; CUTSEM, P. 2016. Plant immunity induced by COS-OGA elicitor is a cumulative process that involves salicylic acid. *Plant Sci.* 247:60-70. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.03.005>
6. AZIZ, A.; GAUTHIER, A.; BÉZIER, A.; POINSSOT, B.; JOUBERT, J.; PUGIN, A. 2007. Elicitor and resistance-inducing activities of β -1,4 celloextrins in grapevine, comparison with β -1,3 glucans and α -1,4 oligogalacturonides. *J. Exp. Bot.* 58(6):1463-1472. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm008>

7. BARBER, M.; BERTRAM, R.; RIDE, J. 1999. Chitin oligosaccharides elicit lignification in wounded leaves. *Physiol. Mol. Plant P.* 34(1):3-12.
[https://doi.org/10.1016/0885-5765\(89\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0885-5765(89)90012-X)
8. BENHAMOU, N.; THERIAULT, G. 1992. Treatment with chitosan enhances resistance of tomato plants to the crown and root rot pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Physiol. Mol. Plant P.* 41(1):33-52.
[https://doi.org/10.1016/0885-5765\(92\)90047-Y](https://doi.org/10.1016/0885-5765(92)90047-Y)
9. BRUCE, T. 2014. Variation in plant responsiveness to defense elicitors caused by genotype and environment. *Front Plant Sci.* 5(349):1-4.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00349>
10. CHEN, Z.; ZHENG, Z.; HUANG, J.; LAI, Z.; FAN, B. 2009. Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signal. Behav.* 4(6):493-496.
<https://doi.org/10.4161/psb.4.6.8392>
11. COHEN, Y. 2002. β -Aminobutyric acid-induced resistance against pathogens. *Plant Dis.* 86(5):448-457.
<https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.5.448>
12. DESPRÉS, L.; DAVID, J.P.; GALLET, C. 2007. The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. *Trends Ecol. Evol.* 22(6):298-307.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.02.010>
13. DIETRICH, R.; PLOSS, K.; HEIL, M. 2005. Growth responses and fitness costs after induction of pathogen resistance depend on environmental conditions. *Plant Cell Environ.* 28(2):211-222.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01265.x>
14. FALCÓN, A.; CABRERA, J.; COSTALES, D.; RAMÍREZ, M.; CABRERA, G.; TOLEDO, V. 2008. The effect of size and acetylation degree of chitosan derivatives on tobacco plant protection against *Phytophthora parasitica nicotianae*. *World J. Microb. Biot.* 24:103-112.
<https://doi.org/10.1007/s11274-007-9445-0>
15. FEDEPAPA. 2019. Revista papa No. 47 abril. Fedepapa, Fondo Nacional de fomento de la papa. 62p.
16. GHIMIRE, B.K.; GHIMIRE, B.; YU, C.Y.; CHUNG, I. 2019. Allelopathic and autotoxic effects of *Medicago sativa*-derived allelochemicals. *Plants.* 8(7):233.
<https://doi.org/10.3390/plants8070233>
17. GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. 2019. Manual técnico del cultivo de papa bajo buenas prácticas agrícolas. Gobernación de Antioquia - Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible desde Internet en:
https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20PAPA_0.pdf (con acceso 07/09/2019).
18. GÓMEZ-MERINO, F.; TREJO-TÉLLEZ, L. 2015. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Sci. Hortic.* 196:82-90.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.035>
19. HEIL, M. 1999. Systemic acquired resistance: available information and open ecological questions. *J. Ecol.* 87(2):341-346.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00359.x>
20. HEIL, M.; HILPERT, A.; KAISER, W.; LINSENMAIR, K.E. 2000. Reduced growth and seed set following chemical induction of pathogen defence: does systemic acquired resistance (SAR) incur allocation costs? *J. Ecol.* 88(4):645-654.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00479.x>
21. LATTRE-GASQUET, M.; Le MOUËL, C.; MORA, O. 2018. The 'land use and food security' system. En: Le Mouël, C.; Lattre-Gasquet, M.; Mora, O. (eds.) *Land use and food security in 2050: a narrow road*. Ed. Quæ (Versailles Cedex, France). p.11-19.
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2880-5>
22. LE THANH, T.; THUMANU, K.; WONGKAEW, S.; BOONKERD, N.; TEAUMROONG, N.; PHANSAK, P.; BUENSANTEAI, N. 2017. Salicylic acid-induced accumulation of biochemical components associated with resistance against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in rice. *J. Plant Interact.* 12(1):108-120.
<https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1291859>
23. LI, Y.; ZHANG, Z.; NIE, Y.; ZHANG, L.; WANG, Z. 2012. Proteomic analysis of salicylic acid-induced resistance to *Magnaporthe oryzae* in susceptible and resistant rice. *Proteomics* 12(14):2340-2354.
<https://doi.org/10.1002/pmic.201200054>
24. LINDEN, J.; STONER, R.; KNUTSON, K.; GARDNER-HUGHES, C. 2000. Organic disease control elicitors. *Agro Food Industry Hi-Tech.* 11(5):32-34.
25. LOBATO, M.C.; OLIVIERI, F.P.; GONZÁLEZ-ALTAMIRANDA, E.A.; WOLSKI, E.A.; DALEO, G.R.; CALDIZ, D.O.; ANDREU, A.B. 2008. Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *Eur. J. Plant Pathol.* 122:349-358.
<https://doi.org/10.1007/s10658-008-9299-9>
26. MISHRA, A.K.; SHARMA, K.; MISRA, K. 2012. Elicitor recognition, signal, transduction and induced resistance in plants. *J. Plant Interact.* 7(2):95-120.
<https://doi.org/10.1080/17429145.2011.597517>

27. NAVARRE, D.J.; THOMAS, P.; BROWN, C. 2003. Systemic Acquired resistance in potato. *Acta Hort.* 619:177-181. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2003.619.19>
28. ORTIZ, A.; ZAPATA, J. 2011. Efecto de inductores de resistencia en plántulas de plátano dominico hartón (*Musa balbisiana* AAB) contra *Mycosphaerella* spp. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat.* 35(137):463-471.
29. PIETERSE, C.; VAN DER DOES, D.; ZAMIOUDIS, C.; LEÓN-REYES, A.; VAN WEES, S. 2012. Hormonal modulation of plant immunity. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 28:489-521. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>
30. RIVEROS, A. 2010. Inducción de resistencia en plantas, Interacción: planta-patógeno. San José, C.R; IICA. AGRIS. p.185-188.
31. RODRÍGUEZ-PEDROSO, A.T.; RAMÍREZ-ARREBATO, M.A.; RIVERO-GONZÁLEZ, D.; BOSQUEZ-MOLINA, E.; BARRERA-NECHA, L.L.; BAUTISTA-BAÑOS, S. 2009. Propiedades químico-estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15(3):307-317.
32. ROSE, S.; PARKER, M.; PUNJA, Z. 2003. Efficacy of biological and chemical treatments for control of *Fusarium* root and stem rot on greenhouse cucumber. *Plant Dis.* 87(12):1462-1470. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.12.1462>
33. ROSSALL, S.; QING, C.; PANERI, M.; SWARUP, R. 2016. A 'growing' role for phosphites in promoting plant growth and development. *Acta Hort.* 1148:61-67. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1148.7>
34. SOBHY, I.S.; ERB, M.; TURLINGS, T.C.J. 2015. Plant strengtheners enhance parasitoid attraction to herbivore-damaged cotton via qualitative and quantitative changes in induced volatiles. *Pest Manag Sci.* 71:686-693. <https://doi.org/10.1002/ps.3821>
35. THAKUR, M.; SOHAL, B.S. 2013. Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: A review. *ISRN Biochem.* 2013:1-10. <https://doi.org/10.1155/2013/762412>
36. VALBUENA, R.; ROVEDA, G.; BOLAÑOS, A.; ZAPATA, J.; MEDINA, C.; ALMANZA, P.; PORRAS, P. 2009. Escalas fenológicas de las variedades de papa parda pastusa, diacol capiro y criolla "yema de huevo" en las zonas productoras de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia. Fedepapa. Mosquera, Colombia. 34p.
37. WALTERS, D.; WALSH, D.; NEWTON, A.; LYON, G. 2005. Induced resistance for plant disease control: maximizing the efficacy of resistance elicitors. *Phytopathology.* 95(12):1368-1373. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-1368>
38. WHITE, C.; ROGERS, A.; REES, M.; OSBORNE, C. 2015. How can we make plants grow faster? A source-sink perspective on growth rate. *J. Exp. Bot.* 67:31-45. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv447>
39. WU, S.; SIU, K.; WU, J. 2011. Involvement of anion channels in mediating elicitor-induced ATP efflux in *Salvia miltiorrhiza* hairy roots. *J. Plant Physiol.* 169:128-132. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.07.015>



Efectos de espaciamientos sobre el crecimiento y rendimiento del fríjol caupí cultivar Caupicor 50

Effects of spacings on the growth and yield of cowpea beans cultivar Caupicor 50

Carlos E. Cardona-Ayala^{1*}; Félix Pastrana-Atencia²; Hermes Araméndiz-Tatis³; Miguel Espitia-Camacho⁴; Carlos E. Cardona-Villadiego⁵

¹Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas. Montería - Córdoba, Colombia; email: cecardona@correo.unicordoba.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0002-9607-3858>

²Ing. Agrícola, M.Sc. Universidad de Sucre - Sincelejo, Colombia; email: felixpastra22@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3302-8440>

³Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas. Montería - Córdoba, Colombia; email: haramendiz@correo.unicordoba.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0002-2585-6273>

⁴Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas. Montería - Córdoba, Colombia; email: mmespitia@correo.unicordoba.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0001-7382-9643>

⁵Ing. Agrónomo, M.Sc., Investigador particular. Montería - Córdoba, Colombia; email: carloscardona2993@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6466-6923>

*autor para correspondencia: cecardona@correo.unicordoba.edu.co

Cómo citar: Cardona-Ayala, C.E.; Pastrana-Atencia, F.; Araméndiz-Tatis, H.; Espitia-Camacho, M.; Cardona-Villadiego, C.E. 2021. Efectos de espaciamientos sobre el crecimiento y rendimiento del fríjol caupí Caupicor 50 Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e2139. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2139>

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: junio 19 de 2020

Aceptado: noviembre 3 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El fríjol caupí es una leguminosa importante en la región Caribe de Colombia, por su contribución a la dieta de sus pobladores y por ser una alternativa de ingresos para pequeños productores; sin embargo, los rendimientos obtenidos no superan los 600 kg ha⁻¹, debido al desconocimiento del efecto de las prácticas culturales en la especie, como en los diversos cultivares. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes espaciamientos e hidrogel sobre características vegetativas y reproductivas del fríjol caupí cultivar Caupicor 50, en el departamento de Sucre, del Caribe colombiano. Se utilizó el diseño experimental parcelas sub-subdivididas, con tres repeticiones (bloques). Se combinaron dos distancias entre hileras: 60 y 80 cm en la parcela principal, tres distancias entre plantas: 20, 30 y 40 cm en la subparcela e hidrogel: 0 y 5 g/planta en la

sub-subparcela. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, área foliar, índice de área foliar, tasa de crecimiento del cultivo, número de vainas/planta, longitud de vaina, número de semillas/vaina, peso de cien semillas y rendimiento de semillas/ha. El mayor rendimiento, se estimó con 20 cm entre plantas y 60 cm entre hileras (83.333 plantas ha⁻¹), con un rendimiento de 2.027 kg ha⁻¹, asociado a mayor área foliar, índice de área foliar y tasa de crecimiento del cultivo y, a menor número de vainas por planta, longitud de vaina y peso de cien semillas.

Palabras clave: Competencia entre plantas; Densidad de plantas; Seguridad alimentaria; Sequía; *Vigna unguiculata*.

ABSTRACT

Cowpea bean is an important legume in the Caribbean region of Colombia, for its contribution to the diet of its habitants and being an alternative income for small producers. Nevertheless, the yields obtained do not exceed 600 kg ha^{-1} , due to the unknown of the effect of cultural methods on the species, as in the different cultivars. The purpose of the study was to evaluate the effect of different spacing and hydrogel on vegetative and reproductive characteristics of cowpea beans, cultivar Caupicor 50 in the department of Sucre of the Caribbean region of Colombia. A split-plot design was used, with three replications (blocks). Two distances between rows: 60 and 80 cm in the main plot, three spaces between plants: 20, 30, and 40 cm in the subplot, and hydrogel: 0 and 5 g / plant in the sub-sub plot were combined. The variables evaluated were: plant height, leaf area, leaf area index, crop growth rate, number of pods per plant, pod length, number of seeds per pod, the weight of one hundred seed, and seed yield/ha. The highest yield, $2,027 \text{ kg ha}^{-1}$, was estimated with 20 cm between plants and 60 cm between rows ($83,333 \text{ plants ha}^{-1}$) and was associated with greater leaf area, leaf area index and crop growth rate, and a lower number of pods per plant, pod length and weight of one hundred seeds.

Keywords: *Vigna unguiculata*; Food safety; Drought; Plant density; Competition between plants.

INTRODUCCIÓN

El frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) es una leguminosa adaptada a las zonas semiáridas tropicales y subtropicales (Huynh *et al.* 2013), cultivada en suelos de sabanas, con cultivares tradicionales de baja capacidad productiva, inadecuados sistemas de siembra y sin insumos agrícolas (Kamara *et al.* 2018). Esta especie, se destaca por su contribución a la seguridad alimentaria y nutricional en las poblaciones vulnerables, de países en vía de desarrollo, ya que posee alto contenido de proteína y micronutrientes, como hierro y zinc (Kuruma *et al.* 2019) y bajos costos de producción (Costa Junior *et al.* 2017), pero sus rendimientos no superan los 600 kg ha^{-1} .

En la agricultura, el déficit de agua en el suelo afecta, principalmente, las áreas tropicales, por ser las lluvias deficientes, en algunos casos y su distribución errática, circunstancia que incide en el desarrollo de la planta, generando modificaciones anatómicas, morfológicas, fisiológicas y bioquímicas, causando pérdidas directamente relacionadas con su duración, severidad y etapa de desarrollo del cultivo (Alves Bastos *et al.* 2011). En el frijol caupí, la sequía, afecta varias características, como el diámetro del tallo, el área foliar, el número de hojas, el número de vainas por plantas, el peso de vainas, el peso de semillas y el rendimiento (De Sousa Monteiro *et al.* 2017).

Los cultivares modernos ameritan tecnologías que permitan expresar su potencial de rendimiento, requieren de la cantidad de agua adecuada y densidad de población óptima, que son determinantes en el manejo agronómico del cultivo. En este sentido, la densidad de plantas tiene como objetivo aumentar la eficiencia del dosel en interceptar la radiación. De Sousa Mendes *et al.* (2005)

reportaron aumentos que en el porcentaje de luz interceptada e índice de área foliar de caupí entre 50 y $206,5 \%$, respectivamente, cuando la densidad de plantas se incrementó de 41.666 a $166.666 \text{ plantas ha}^{-1}$.

El uso de polímeros hidrófilos, conocidos como hidrogeles, es una alternativa que se usa en cultivos perennes leñosos y en cultivos agrícolas, para contrarrestar el déficit hídrico en los suelos (Souza Lopes *et al.* 2017), puesto que pueden aumentar el contenido y la disponibilidad de agua para las plantas (Pedroza-Sandoval *et al.* 2015). En este sentido, el frijol caupí, a pesar de ser tolerante a la sequía, los prolongados períodos sin precipitaciones afectan los rendimientos, especialmente, por la disminución del número de vainas por aborto de flores. El uso de hidrogeles se viene incrementando, porque facilita la retención de agua y porque permite incrementar la producción; por ejemplo, Souza Pereira *et al.* (2018) reportaron un aumento en la producción de granos de frijol caupí hasta del $46,05\%$, con el uso del hidrogel.

El mejoramiento de los rendimientos es deseable en cualquier sistema de producción y para lograrlo hay que desarrollar tecnologías que contribuyan a tal fin. En Colombia son pocos los estudios sobre densidad de población y uso de hidrogeles, como tecnología para mitigar los efectos negativos de la sequía en frijol caupí y, en especial, en los diferentes cultivares. Por tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes espaciamientos e hidrogel sobre las características vegetativas y reproductivas del frijol caupí cultivar Caupicor 50, en el departamento de Sucre, del Caribe colombiano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio, se realizó entre febrero a mayo de 2017, en el corregimiento de La Arena, municipio de Sincelejo, departamento de Sucre, Colombia, situado a $9^{\circ}18'$ de latitud Norte y $75^{\circ}23'$ de longitud Oeste; con clima tropical seco o de sabana (Aw), según la clasificación climática de Köppen; con temperatura media anual de $27,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$; altura promedio de 213 m s.n.m. ; humedad relativa media anual del 80% y precipitación media anual de 1.192 mm (IDEAM, 2014).

Condiciones edafoclimatológicas. Durante el experimento, se registraron 324 mm de precipitación y una temperatura media de $29 \text{ }^{\circ}\text{C}$. El suelo, donde se realizó el experimento, corresponde a un vertisol, con pH $7,74$, $2,87 \%$, de materia orgánica y una CIC, de $77,2 \text{ cmol kg}^{-1}$.

Material vegetal y manejo agronómico. Se utilizó la variedad comercial Caupicor 50, cultivar desarrollado por la Universidad de Córdoba, de hábito semiprostrado, ciclo de 60 días y tolerante a sequía. Asimismo, semilla de excelente calidad fitosanitaria, pureza genética, calidad física y porcentaje de germinación superior al 95% . El manejo agronómico, se realizó de acuerdo con las recomendaciones de la cartilla Manejo Agronómico del frijol caupí en el Caribe colombiano (Araméndiz-Tatis *et al.* 2019).

Diseño experimental. Se utilizó el diseño parcelas subdivididas con tres repeticiones constituidas por bloques. Se evaluaron dos distancias entre hileras: 60 y 80 cm, en las parcelas principales, tres distancias entre plantas: 20, 30 y 40 cm en las subparcelas e hidrogel biodegradable al suelo: 0 y 5 g/planta en las sub-subparcelas, para un arreglo factorial 2x3x2. Las combinaciones entre los niveles de los factores distancia entre hileras (DH) y entre plantas (DP) equivalen a densidades de plantación de 83.333, 55.555, 41.666, 62.500, 41.666 y 31.250 plantas ha⁻¹, respectivamente. Las parcelas principales, se trazaron con las dimensiones de 6 x 8 m, para un área de 48,0m². El factor hidrogel biodegradable (H) utilizado, también conocido como hidrorretenedor (Souza Pereira *et al.* 2018), es derivado de almidón de yuca y fue producido en el laboratorio de Aguas y suelos Agrícolas de la Universidad del Valle; se aplicó alrededor de cada plántula, en un radio de 15 cm e incorporado a 10 cm de profundidad, tres días después de la siembra, coincidiendo con el inicio de la emergencia de las plántulas.

Caracterización del crecimiento y la Producción. Las variables de respuesta fueron descritas, de acuerdo con los trabajos de Souza Pereira *et al.* (2018) y Soares de Melo *et al.* (2018).

Fase vegetativa. Las variables de esta fase fueron medidas a los 35 días después de la emergencia, coincidiendo con la plena floración y comienzo de formación de vainas y sus semillas. Altura de planta (AP): medida desde el cuello de la raíz hasta el último nudo del tallo principal de tres plantas de los surcos centrales en plena competencia. Área foliar (AF): mediante muestreos destructivos en tres plantas, con el método de relación peso/área; se expresó en cm². Índice de área foliar (IAF): se utilizó la relación entre el área foliar y el área de suelo sobre las tres plantas de las líneas centrales de cada unidad experimental. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC): ganancia de biomasa en el área ocupada por la planta, a partir del promedio de tres plantas por cada unidad experimental. Las muestras, se llevaron a estufa de secado a 70 °C, hasta alcanzar peso constante.

Fase reproductiva. Las variables de esta fase, se midieron a los 65 días al momento de la cosecha. Longitud de la vaina (LV): longitud promedio de 10 vainas maduras, tomadas al azar, de la población de plantas de cada parcela, en cm. Número de vainas por planta (NVP): promedio de cinco plantas, tomadas al azar, en competencia, en cada parcela. Número de semillas por vaina (NSV): número promedio de semillas de 10 vainas maduras, tomadas de cinco plantas, seleccionadas al azar, en competencia, en cada parcela. Peso de cien semillas (PCS): peso de 100 semillas, en gramos, seleccionadas al azar, en 20 vainas, de cada unidad experimental. Rendimiento de semillas (REND): peso de las semillas de la parcela útil expresado en kg ha⁻¹, con humedad ajustada a 14 %.

Análisis de datos. Para AP, AF, IAF y TCC, se realizaron análisis de varianza, de acuerdo con el modelo lineal aditivo del diseño en parcelas subdivididas; se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, de homogeneidad de varianzas, de aditividad e independencia de los errores. Las pruebas de comparación de medias, se hicieron para las variables que resultaron significativas. Adicionalmente, se estimaron modelos de regresión para las variables de la fase reproductiva, que resaltaron significativas en el análisis de varianza: LV, NVP, PCS y REND, cumpliendo los supuestos de la estadística paramétrica e, igualmente, análisis de correlación para todas las variables. Los análisis estadísticos, se realizaron con el software SAS versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de crecimiento. El análisis de varianza para las interacciones de primer y segundo orden (Tabla 1), registró ausencia de significancia ($p \geq 0,05$), lo que indica que los efectos de los factores estudiados sobre las variables de respuesta son independientes, por lo cual, tienen importancia los efectos principales de cada factor estudiado, que se evalúan mediante pruebas de comparación de medias, como lo sostienen Da Camara *et al.* (2018) y concuerda con los estudios de De Carvalho Bezerra *et al.* (2009) y Barrera *et al.* (2021).

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables altura de la planta (AP), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC), a los 35 días después de la emergencia del fríjol caupí cultivar Caupicor 50, a diferentes espaciamientos.

FV	AP	AF	IAF	TCC
DH	15,38	1055718,58	10,95*	29,36*
Error a	3,69	1152109,74	0,45	0,58
DP	798,41*	46844993,14**	4,85**	22,07**
DP x DH	193,32	283216,54	0,24	2,13
Error b	122,37	346447,39	0,12	0,71
HG	1,36	156173,82	0,02	0,41
DH x HG	18,39	90087,02	0,02	0,33
DP x HG	46,18	61426,65	0,01	0,33
DH x DP x HG	14,77	23185,12	0,01	0,34
Error c	50,69	584083,40	0,32	0,84
Media	111,38	8852,54	4,42	8,64
CV (%)	6,39	8,63	12,73	10,62

DH: Efecto principal del factor distancia entre hileras; DP: Efecto principal del factor distancia entre plantas; HG: Efecto principal del factor Hidrogel; DH x DP, DH x HG; DP x HG y DH x DP x HG: efectos de las interacciones de primer y segundo orden; CV: coeficiente de variación. *efecto significativo al 5 %; **efecto significativo al 1 %.

Se estimaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para IAF y TCC, en el factor DH, mientras que para DP, hubo diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), en sus efectos sobre AP, AF, IAF y TCC. El factor hidrogel (H) no influyó en las variables estudiadas, posiblemente, porque durante el desarrollo de la investigación, la precipitación acumulada fue de 340 mm, por encima de la evapotranspiración del cultivo, estimada por Apáez Barrios *et al.* (2016) y acorde con las necesidades del cultivo, de acuerdo con lo reportado por Alves Bastos *et al.* (2012). Esta precipitación en la estación seca del año es considerada anormal y es consecuencia del cambio climático, que genera precipitaciones erráticas, en muchas partes del mundo.

Las DH de 60 y 80 cm no influyeron significativamente en la AP y AF total de la planta, en contraste con el IAF y la TCC, que fueron mayores en la distancia de 60 cm (Tabla 2), debido, en parte, a que el AF cubre una menor área de suelo. El AF de mayor magnitud, se presentó en el espaciamiento de 40 cm entre plantas, siendo 22,5 y 36,0 % más alta que en las distancias de 30 y 20 cm, respectivamente. Es evidente que, las plantas al disponer de mayor espacio dentro de la hilera, desarrollaron mayor AF, pero, a su vez, menor IAF, que fue un poco más del 20 % más alto en los distanciamientos de 20 y 30 cm, dentro de la hilera.

Tabla 2. Valores medios de las variables de crecimiento altura de la planta (AP), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC) del fríjol caupí cultivar Caupicor 50, a diferentes espaciamientos.

Distancias (m)		Variables de crecimiento			
		AP (cm)	AF (cm ²)	IAF	TCC (g cm ⁻² d ⁻¹)
DH	0,60	112,03 a	9023,8 a	4,97 a	9,54 a
	0,80	110,73 a	8681,3 a	3,87 b	7,73 b
DP	0,20	103,19 b	7072,40 c	5,15 a	10,20 a
	0,30	111,45 ab	8506,90 b	4,11 b	7,90 b
	0,40	119,50 a	10978,40 a	4,00 b	7,81 b

Medias con las mismas letras no difieren significativamente, según la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. DH: distancia entre hileras; DP: distancia entre plantas.

et al. 2016). Por otra parte, un mayor distanciamiento implica una menor competencia por luz y la posibilidad de formación de mayor número de ramas y hojas. El AF presentó correlación positiva con TCC y negativa, con REND (Tabla 5).

El IAF registró incrementos con la disminución de la DH y DP, es decir, con el aumento de la densidad de población. El mayor IAF, se presentó en DP, de 20 cm entre plantas y fue 20,2 y 22,3 % más alto que en las distancias de 30 y 40 cm, respectivamente, mientras que para DH, el IAF, en el espaciamiento de 0,60 m, fue un 22,1 % más alto que en el espaciamiento de 80 cm (Tabla 2). Resultado similar fue encontrado por Kamara *et al.* (2018), con cultivares mejorados precoces y tardíos de origen africano, con densidades de 133.333, 266.666 y 400.000 plantas ha⁻¹; para estos investigadores existe un IAF óptimo, para capitalizar una alta tasa de fotosíntesis y rendimiento; densidades superiores a la óptima, generan sombreado y afectan los componentes del rendimiento, independiente del hábito de crecimiento del cultivar, como consecuencia de la competencia intraespecífica. Asimismo,

La AP está asociada con la producción de nudos, hojas y ramas y alcanza incrementos importantes al iniciar la floración (Hissene *et al.* 2016), para, posteriormente, desviar los fotoasimilados a las estructuras reproductivas (Gonçalves *et al.* 2017). En materiales semiprostrados, como el del presente estudio, el incremento en AP observado en el tallo principal, continúa en la medida en que la planta sigue floreciendo, para producir más vainas y generar una segunda y tercera cosecha. La mayor AP, se presentó en DP de 40 cm, la cual, fue 6,7 y 13,6 % más alta que en las distancias de 30 y 20 cm, respectivamente (Tabla 2). La AP presentó correlación positiva con AF, NVP y PCS y negativa, con IAF y TCC (Tabla 5).

El AF es un parámetro importante en la determinación del nivel óptimo, con el cual, se puede maximizar la mayor intercepción de radiación solar y lograr una mayor productividad de un cultivo. El caupí posee dos etapas: una, en la cual, el número de hojas de la planta aumenta a un ritmo más lento y, la otra, con una tasa más alta de producción de hojas por planta, que se relaciona con la aparición de ramas primarias y secundarias. La existencia de diferencias significativas en el AF entre los niveles de DP, de 20, 30 y 40 cm (Tabla 2), posiblemente, obedezca a diferencias en el filocrono, que podría ser más alto en el mayor distanciamiento entre plantas, es decir, en la densidad de plantas más baja (Hissene

la afectación del rendimiento puede ser mucho más negativa, si el ciclo concuerda con un déficit hídrico en la floración y llenado de granos (Cardoso *et al.* 2018). El IAF presentó correlación positiva con TCC y REND y negativa, con AP, NVP y PCS (Tabla 5).

La TCC fue más alta en los menores DH y DP, junto con el IAF (Tabla 2). Esto indica que, en las densidades de plantas más altas, se produjo mayor cantidad de masa seca por unidad de superficie por día, lo cual, concuerda con De Carvalho Bezerra *et al.* (2017), quienes ajustaron un modelo de TCC en función de cinco densidades de plantas crecientes, desde 100.000 hasta 500.000 plantas ha⁻¹. Esta variable presentó correlación positiva con IAF y REND y negativa, con AP, NVP y PCS (Tabla 5).

Características de producción. El análisis de varianza registró diferencias significativas ($p < 0,05$) en el factor DH, para las variables NVP y REND, mientras que, para DP, se estimaron diferencias significativas ($p < 0,05$), en LV, NVP, PCS y REND (Tabla 3).

La ausencia de significancia de las interacciones sugiere que el cultivar de frijol Caupicor 50 responde de manera independiente a DH y DP y el análisis se circunscribe a cada factor de manera independiente. Da Camara *et al.* (2018) reportaron resultados similares en Brasil, con el cultivar manteiga.

El NSV, se mantuvo constante en DH y DP (Tabla 4), lo cual, indica que esta característica es poco afectada por el ambiente y tiene baja plasticidad fenotípica. Resultados similares fueron obtenidos por

Jakusko *et al.* (2013) y por El Naim *et al.* (2010), con los cultivares IT89KD-288, IT89KD391, IT97K-499-35, Buff, Haydoob y Eien Elgazal, respectivamente; no obstante, Wubetu (2018), en frijol mungo (*Vigna radiata* L.), encontraron efectos independientes significativos de los dos factores, con mayor NSV, en DH y DP de 25 y 5 cm, respectivamente. Por lo tanto, esta respuesta podría estar más relacionada con la especie o cultivar.

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables número de semillas por vaina (NSV), longitud de vainas (LV), número de vainas por planta (VP), peso de cien semillas (PCS) y rendimiento de semillas (REND) de frijol caupí cultivar Caupicor 50, a diferentes espaciamientos.

FV	NSV	LV	NVP	PCS	REND
DH	0,001	16,40	121,40*	4,28	335113,63*
Error a	2,53	3,06	4,67	0,25	10013,21
DP	2,99	25,44*	40,02*	9,88**	884017,80**
DH x DP	0,09	7,68	2,11	3,39	70700,58
Error b	1,14	4,56	6,83	0,83	1858,00
HG	0,04	2,61	2,15	0,22	15297,57
DH x HG	0,30	1,56	0,96	0,24	11289,06
DP x HG	0,17	1,02	2,01	2,12	4258,55
DH x DP x HG	0,06	2,19	0,95	0,01	642,65
Error c	0,63	1,67	7,19	0,77	10949,59
Media	13,61	15,6	16,66	15,80	1719,05
CV (%)	5,82	8,27	16,09	5,57	6,09

DH: Efecto principal del factor distancia entre hileras; DP: Efecto principal del factor distancia entre plantas; HG: Efecto principal del factor Hidrogel; DH x DP, DH x HG; DP x HG y DH x DP x HG: efectos de las interacciones de primer y segundo orden; CV: coeficiente de variación. *efecto significativo al 5 %; **efecto significativo al 1 %.

La LV estuvo influenciada por el factor DP, pero fue similar en DH (Tabla 4). La mayor magnitud de esta variable, se expresó en DP de 40 cm, en la que se produjeron vainas más largas, en mayor número y con semillas más pesadas, pero disminuyó el rendimiento de semillas y presentó correlación negativa con la TCC (Tabla 5). La diferencia en LV entre la DP más alta, 40 cm y la más baja, 20 cm fue de 17,5 %. Resultados previos fueron reportados por De Sousa Monteiro *et al.* (2017) y Cardoso *et al.* (2018), atribuido al efecto de la competencia intraespecífica por los fotoasimilados y es válido para cualquier tipo de cultivar de frijol caupí, independiente de su hábito de crecimiento.

Jiménez-Galindo & Acosta-Gallegos (2013) indican que la LV es mayor cuando hay mayor espacio entre las plantas, capaces de producir órganos morfológicos de mayor tamaño y peso. Adicionalmente, Makoi *et al.* (2010) reportaron que, en situaciones de alta densidad de plantas, los minerales, probablemente, se convierten en limitantes en la competencia de planta a planta, ya que las concentraciones de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B son más bajas en la rizosfera de plantas establecidas bajo alta densidad.

Tabla 4. Valores medios de las variables de producción número de semillas por vaina (NSV), longitud de vainas (LV), número de vainas por planta (VP), peso de cien semillas (PCS) y rendimiento de semillas (REND) de frijol caupí cultivar Caupicor 50, a diferentes espaciamientos.

DISTANCIAS (m)		VARIABLES DE CRECIMIENTO				REND
		NSV	LV (cm)	NVP	PCS (g)	(kg/ha)
DH	0,60	13,61 a	16,28 a	14,83 b	15,46 b	1815,5 a
	0,80	13,60 a	14,93 a	18,50 a	16,15 a	1622,6 b
DP	0,20	13,09 a	14,06 b	14,89 b	14,76 b	2027,2 a
	0,30	13,66 a	15,80 ab	16,56 ab	16,22 a	1614,3 b
	0,40	14,08 a	16,95 a	18,54 a	16,43 a	1515,6 b

Medias con las mismas letras no difieren significativamente, según la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad, comparación vertical. DH: distancia entre hileras; DP: distancia entre plantas.

Tabla 5. Matriz de correlación y significancia estadística de rendimiento de semillas por hectárea (REND), altura de planta (AP), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), longitud de la vaina (LV), número de vainas por planta (NVP) y peso de cien semillas (PCS) de frijol caupí cultivar Caupicor 50, a diferentes espaciamientos.planta (VP), peso de cien semillas (PCS) y rendimiento de semillas (REND) de frijol caupí cultivar Caupicor 50, a diferentes espaciamientos.

Variabes	REND	AP	AF	IAF	TCC	LV	NVP
AP	-0,523**						
AF	-0,536**	0,506**					
IAF	0,480**	-0,524**	0,020 ^{ns}				
TCC	0,306*	-0,489**	-0,253 ^{ns}	0,718**			
LV	-0,052 ^{ns}	0,299 ^{ns}	0,275 ^{ns}	-0,224 ^{ns}	-0,448**		
NVP	-0,622**	0,610**	0,521**	-0,375*	-0,345*	0,116 ^{ns}	
PCS	-0,354*	0,517**	0,155 ^{ns}	-0,665**	-0,755**	0,295 ^{ns}	0,402*

Significancia estadística de la correlación: ns: $p \geq 0,05$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

La LV aumentó en la medida en que la DP se hizo más amplio. El modelo cuadrático ajustado $Y = -0,0071X^2 + 0,635X + 3,4378$, $R^2 = 0,79$, el cual, es similar al reportado por Soares de Melo *et al.* (2018), permite estimar un incremento lineal de 0,635 cm en la LV por cada cm que se aumente la DP y una desviación de la linealidad de -0,0071 cm por cada cm.

El NVP varió, según DH y DP, con mayores valores en los espaciamientos mayores, esto es en 80 cm entre hileras y 40 cm entre plantas, lo que equivale a la DP más baja, 31.250 plantas ha^{-1} (Tabla 4). Da Camara *et al.* (2018), también reportaron diferencias significativas en el NVP en la distancia entre hileras. La diferencia en el NVP entre la distancia entre plantas más alta, 40 cm y la más baja, 20 cm, fue de 17,5 %. Esta diferencia para la distancia entre hileras fue de 19,8 %. NVP presentó correlación positiva con AP y AF y negativa, con IAF, TCC y REND (Tabla 5).

Por otro lado, Cardoso *et al.* (2018) reportaron un decrecimiento lineal del número de vainas por plantas al aumentar la población de plantas por hectárea, variando DH y DP, señalando que el número de vainas por planta máximo por m^2 fue de 70,12, con 19,6 plantas/ m^2 , en cultivares de hábito erecto; 65,6 vainas por m^2 con 19,4 plantas/ m^2 , en cultivares semipostrados y 59,22 vainas por m^2 con 15,6 plantas/ m^2 , en cultivares postrados

Para el NVP, se ajustó el modelo exponencial $Y = 9,469e0,019X$, $R^2 = 0,5532$, en el que el NVP se incrementa con una tasa de proporcionalidad es 0,019, por cada cm de aumento de DP.

El PCS resultó 4,3 % menor en DH de 60 cm y 10,2 % menor en la DP de 20 cm con respecto a la DP, de 40 cm (Tabla 4); en términos de densidad de plantas por hectárea, equivale a pasar de 31.250 a 83.333 plantas ha^{-1} y estuvo correlacionada positivamente con AP y NVP y, negativamente, con IAF, TCC y REND (Tabla 5). Resultados similares fueron encontrados por Kamara *et al.* (2018), quienes reportaron que el peso de las semillas se redujo en un 5 y 9 %, cuando se pasó de 133.000 a 400.000 plantas ha^{-1} , situación que, según estos autores, obedece a un mejor aprovechamiento de

los nutrientes, agua, luz y distribución de los fotoasimilados bajo menores densidades de plantas, por unidad de superficie.

Para el PCS, se ajustó el modelo cuadrático $Y = -0,0086 X^2 + 0,6219 X + 5,4715$, $R^2 = 0,62$. Según este modelo, el PCS se incrementa en 0,6219 g por cada cm de aumento de DP, con un desvío de la linealidad de -0,0086 g, por cada cm.

El REND aumentó con la disminución de DH y DP, es decir, conforme aumentó la densidad de plantas y estuvo correlacionado positivamente con el IAF y, negativamente, con NVP, PCS, AP y AF (Tabla 5). El aumento de la población de plantas/ ha^{-1} generó disminuciones en el número y tamaño de los órganos reproductivos, pero aumentó el IAF y el REND, en esta especie.

La correlación negativa del REND con NVP y PCS obedece a que con las mayores densidades de plantas se produce una competencia, principalmente por luz, cuyo efecto es de naturaleza individual y en un bajo porcentaje, por lo que las altas densidades de plantas son compensadas por la sumatoria de la producción de una mayor cantidad de plantas por unidad de superficie (Cardoso *et al.* 2018). Resultado similar fue reportado por De Sousa Monteiro *et al.* (2017), Kamara *et al.* (2018) y Da Camara *et al.* (2018), cuando incrementaron las densidades de población en estudios realizados con cultivares mejorados y criollos, tanto en Brasil como en Nigeria.

En el presente estudio, se obtuvo mayor REND con DP de 20 cm, superior en 25,2 % al obtenido con DP, de 40 cm. Asimismo, con DH de 60 cm, se obtuvo un REND 10,6 % mayor que con 80 cm. Es evidente que, con la mayor densidad de plantas, 83.333 plantas ha^{-1} , se alcanzó un mayor REND, con menor NVP y menor PCS, pero dentro de los rangos de comercialización de la semilla como grano, lo cual, representa, potencialmente, un ingreso mayor para el productor.

Mediante análisis de regresión, se ajustó el modelo cuadrático $Y = 1,5708 X^2 - 119,83 X + 3,795$, $R^2 = 0,66$, con el que se estima una disminución de 119,83 kg de REND, por cada cm de aumento de la

distancia entre plantas, con un desvío del efecto lineal equivalente a 1,57 kg.

Con DH de 60 cm y DP de 20 cm, se logró el mayor rendimiento de semillas por unidad de superficie, debido al incremento IAF y la TCC, a pesar de la disminución del NVP y el PCS.

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

REFERENCIAS

- ALVES BASTOS, E.A.; DO NASCIMENTO, S.P.; DA SILVA, E.M.; FREIRE FILHO, F.F.; GOMIDE, R.L. 2011. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agronômica (Brasil)*. 42(1):100-107. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000100013>
- ALVES BASTOS, E.A.; MOREIRA RAMOS, H.M.; SOARES DE ANDRADE JÚNIOR, A.; NUNES DO NASCIMENTO, F.; CARDOSO, M.J. 2012. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. *Water Resources and Irrigation Management (Brasil)*. 1(1):31-37.
- APÁEZ BARRIOS, P.; ESCALANTE ESTRADA, J.A.S.; SOSA MONTES, E.; APÁEZ BARRIOS, M.; RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, M.T.; RAYA MONTAÑO, Y.A. 2016. Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. *Rev. FCA UNCUIYO. (Argentina)*. 48(2):31-42.
- ARAMÉNDIZ-TATIS, H.; CARDONA-AYALA, C.; JARMA, A.; COMBATT, E.; JARABA, J.; MERCADO, T.; ESPITIA-CAMACHO, M.; DE PAULA, C.; PASTRANA, Y.; HERNÁNDEZ, J. 2019. Manejo agronómico del frijol caupí en el Caribe colombiano. Universidad de Córdoba. 22p.
- BARRERA, J.L.; CARTAGENA, J.R.; NANCLARES, O. 2021. Influence of high density planting and spatial arrangement on growth and development in Musa AAA Simmonds. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 24(1):e1312. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1312>
- CARDOSO, M.J.; DE BRITO MELO, F.; QUEIROZ RIBEIRO, V. 2018. Population density on cowpea cultivars with different growth habits in the matopiba region. *Rev. Caatinga. (Brasil)*. 31(1):235-239. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n127rc>
- COSTA JUNIOR, M.J.N.; ALVES BASTOS, E.; CARDOSO, M.J.; ANDRADE JUNIOR, A. 2017. Agronomic performance of the cowpea under different irrigation depths and row spacing. *Rev. Ciência Agronômica. (Brasil)*. 48(5 Especial):774-782. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170090>
- DA CAMARA, F.T.; DUARTE MOTA, A.M.; DE ARAÚJO NICOLAU, F.E.; ALVES PINTO, A.; FRANCIELE DA SILVA, J.M. 2018. Produtividade de feijão caupi crioulo em função do espaçamento entre linhas e número de plantas por cova. *Revista de Agricultura Neotropical. (Brasil)*. 5(2):19-24. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.2282>
- DE CARVALHO BEZERRA, A.A.; ALVES FERNANDES TÁVORA, F.J.; FREIRE FILHO, F.R.; QUEIROZ RIBEIRO, V. 2009. Características de dossel e de rendimento em feijão-caupi ereto em diferentes densidades populacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brasil)*. 44(10):1239-1245. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000005>
- DE CARVALHO BEZERRA, A.A.; CABRAL DAS NEVES, A.; DE MOURA ROCHA, M.; RODRIGUES DE BRITO, L.C. 2017. Morpho-physiological and productive biometry in semi-erect cultivars of the cowpea under different plant population. *Rev. Ciência Agronômica (Brasil)*. 48(4):625-630. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170072>
- DE SOUSA MENDES, R.M.; ALVES FERNANDES TÁVORA, F.J.; NUNES DE PINHO, J.L.; BOSCO PITOMBEIRA, J. 2005. Alterações na relação fonte-dreno em feijão-de corda submetido a diferentes densidades de plantas. *Revista Ciência Agronômica (Brasil)*. 36(1):82-90.
- DE SOUSA MONTEIRO, M.M.; ALVES BASTOS, E.; CARDOSO, M.J.; SOARES DE ANDRADE JÚNIOR, A.; QUEIROZ RIBEIRO, V. 2017. Effect of water regimes and plant densities on cowpea production. *Pesq. Agropec. Trop. (Brasil)*. 47(4):432-439. <https://doi.org/10.1590/1983-40632017v4747908>
- EL NAIM, A.M.; JABERELDAR, A.A. 2010. Effect of plant density and cultivar on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Australian J. Basic and Applied Sciences. (Australia)*. 4(8):3148-3153.
- GONÇALVES, I.S.; DA SILVA, R.R.; DE OLIVEIRA, G.M.; PINTO SANTIAGO, E.J.; ALVES DE OLIVEIRA, V.E. 2017. Características fisiológicas e componentes de produção de feijão caupi sob diferentes lâminas de irrigação. *J. Environmental Analysis and Progress (Brasil)*. 2(3):320-329. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1456.320-329>
- HISSENE, H.M.; VADEZ, V.; CLAVIJO MICHELANGELI, J.; HALILOU, O.; NDOYE, I.; SOLTANI, A.; SINCLAIR,

- T. 2016. Quantifying Leaf Area Development Parameters for Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walpers]. *Crop Science* (USA). 56(6):3209-3217.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2016.02.0132>
16. HUYNH, B.L.; CLOSE, T.J.; ROBERTS, P.A.; HU, Z.; WANAMAKER, S.; LUCAS, M.R.; CHIULELE, R.; CISSÉ, N.; ANTONIO, D.; HEARNE, S.; FATOKUN, C.; DIOP, N.N.; EHLERS, J.D. 2013. Gene pools and the genetic architecture of domesticated cowpea. *The plant genome* (USA). 6(3):1-8.
<https://doi.org/10.3835/plantgenome2013.03.0005>
17. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2014. Tiempo y Clima. Promedios Climatológicos 1981-2010. Disponible desde Internet en
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima> (con acceso el 18/06/2020).
18. JAKUSKO, B.B.; ANASUNDA, U.I.; MUSTAPHA, A.B. 2013. Effect of inter-row spacing on some selected Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) varieties in Yola, Adamawa State, Nigeria. *IOSR J Agric Vet Sci*. 2(1):30-35.
<https://doi.org/10.9790/2380-0233035>
19. JIMÉNEZ GALINDO, J.C.; ACOSTA GALLEGOS, J.A. 2013. Efecto de la densidad a simple y doble hilera en el rendimiento de frijol de temporal en Chihuahua, México. *Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas* (México). 4(3):393-407.
<http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v4i3.1201>
20. KAMARA, A.Y.; TOFA, A.I.; KYEI-BOAHEN, S.; SOLOMON, R.; AJEIGBE, H.A.; KAMAI, N. 2018. Effects of plant density on the performance of cowpea in Nigerian savannas. *Experimental Agriculture* (Inglaterra). 54(1):120-132.
<https://doi.org/10.1017/S0014479716000715>
21. KURUMA, R.W.; SHEUNDA, P.; KAHWAGA, C.M. 2019. Yield stability and farmer preference of cowpea (*Vigna unguiculata*) lines in semi-arid eastern Kenya. *Afrika Focus* (Bélgica). 32(2):65-82.
<https://doi.org/10.21825/af.v32i2.15768>
22. MAKOI, J.H.J.R.; CHIMPHANGO, S.B.M.; DAKORA, F.D. 2010. Photosynthesis, water-use efficiency and $\delta^{13}\text{C}$ of five cowpea genotypes grown in mixed culture and at different densities with sorghum. *Photosynthetica*. 48(1):143-155.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11099-010-0019-2>
23. PEDROZA-SANDOVAL, A.; YÁÑEZ-CHÁVEZ, L.G.; SÁNCHEZ-COHEN, I.; SAMANIEGO-GAXIOLA, J.A. 2015. Efecto del hidrogel y vermicomposta en la producción de maíz. *Revista fitotecnia mexicana* (México). 38(4):375-381.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2015.4.375>
24. SOARES DE MELO, A.S.; FERREIRA DA SILVA, A.R.; FILGUEIRAS DUTRA, A.; FILGUEIRAS DUTRA, W.; DA SILVA SÁ, F.V.; DE MOURA ROCHA, M. 2018. Crescimento e pigmentos cloroplásticos de genótipos de feijão vigna sob déficit hídrico. *Rev. Brasileira de Agricultura Irrigada*. 12(3):2579-2591.
<https://doi.org/10.7127/rbai.v12n300698>
25. SOUZA LOPES, M.B.; DE OLIVEIRA TAVARES, T.C.; ALVES VELOSO, D.; DA SILVA, N.C.; RIBEIRO FIDELIS, R. 2017. Cowpea bean production under water stress using hydrogels. *Pesq. Agropec. Trop.* (Brasil). 47(1):87-92.
<https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4743398>
26. SOUZA PEREIRA, J.S.; OLSZEWSKI, N.; CRUZ DA SILVA, J. 2018. Retenção de água e desenvolvimento do feijão caupi em função do uso de polímero hidrorretentor no solo. *Revista Engenharia na Agricultura* (Brasil). 26(6):582-591.
<https://doi.org/10.13083/reveng.v26i6.857>
27. WUBETU, A. 2018. Effects of Intra and Inter-Row Spacing on Yield and Yield Components of Mung Bean (*Vigna radiate* L.). *J. Biology, Agriculture and Healthcare* (India). 8(12):1-9.



Effect of organic fertilization and pruning on cacao yield in Cundinamarca, Colombia

Efecto de la fertilización orgánica y la poda sobre la producción de cacao en Cundinamarca, Colombia

Camilo Andrés Vega¹; Jaime Torres-Bazurto²; Juan Carlos Barrientos-Fuentes³; Stanislav Magnitskiy⁴; Helber Enrique Balaguera-López⁵

¹Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: caavegape@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9020-5517>

²Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Horticultura. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: jtorresb@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-4731-650X>

³Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: jcbarrientosf@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3782-6418>

⁴Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Horticultura. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: svmagnitskiy@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3715-1932>

⁵Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Horticultura. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: hebalagueral@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-3133-0355>

How to cite: Vega C.A.; Torres-Bazurto, J.; Barrientos-Fuentes, J.C.; Magnitskiy, S.; Balaguera-López, H.E. 2021. Effect of organic fertilization and pruning on cacao yield in Cundinamarca, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1818. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1818>

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

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

Received: February 1, 2021

Accepted: October 27, 2021

Edited by: Helber Adrian Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Cacao has high social importance in Colombia but requires cultivation techniques that improve its productivity, especially in the production of organic cacao. Pruning and organic fertilizers were assessed as treatments to increase the bean yield in an old cacao crop in Cundinamarca. The positive effects of organic fertilizer application and pruning on the pod morphometry and bean yield were established. The application of organic fertilizers with pruning, in general, increased the length and circumference of cacao pods. A negative correlation ($R=-0.618$) was found among the relative chlorophyll contents in leaves at the end of the harvest period and with the number of pods per tree. A positive correlation ($R=0.748$) was obtained between the fresh weight of pods and the dry weight of beans. No correlation was established

between the relative chlorophyll contents in leaves and the bean dry weight. Pruning plus organic fertilization increased the total dry weight of beans per tree at almost 15 %, which makes pruning with organic fertilizer application the best tool for increasing yield in organic cacao production in old plantations in Cundinamarca.

Keywords: Branch elimination; Chlorophylls; Compost; Perennial crops; *Theobroma cacao* L.

RESUMEN

El cultivo de cacao tiene una alta importancia social en Colombia, pero requiere la implementación de técnicas de cultivo que mejoren su productividad, principalmente, en la producción de cacao orgánico. La poda y los fertilizantes orgánicos fueron evaluados,

como los tratamientos para incrementar el rendimiento de cacao, en una plantación antigua en el departamento Cundinamarca. La aplicación de fertilizantes orgánicos y la poda tuvieron efectos positivos sobre la morfometría del fruto y el rendimiento del cacao. La aplicación de fertilizantes orgánicos con poda, en general, aumentó la longitud y el diámetro de frutos de cacao. Se encontró una correlación negativa ($R=-0,618$) entre el contenido relativo de clorofila en hojas al final del período de cosecha y el número de frutos por árbol. Se obtuvo una correlación positiva ($R=0,748$) entre el peso fresco de frutos y el peso seco de semillas. No se estableció correlación entre el contenido relativo de clorofila en hojas y el peso seco de semillas. La poda más fertilización orgánica aumentó el peso seco total de semillas por árbol, en casi un 15 %, lo que convierte la poda con aplicación de fertilizante orgánicos en una herramienta para aumentar el rendimiento de cacao orgánico en antiguas plantaciones, en el departamento Cundinamarca.

Palabras clave: Eliminación de ramas; Clorofilas; Compost; Cultivos perennes; *Theobroma cacao* L.

INTRODUCTION

Colombia is worldwide one of the cacao bean producers of the “fine flavor cacao” with high quality beans and linked to origin (CBI, 2020). More than 190,000 ha of land were dedicated to the cacao crop in 2018, of which 5,100 ha were cultivated in the department of Cundinamarca (Agronet, 2020). About 98 % of the cacao in the country is cultivated by small and medium growers of low income (Escobar *et al.* 2020): the cultivated private lots are small (1-5ha), the trees frequently require renovation and are lacking adequate agricultural practices results in low yields (Fedecacao, 2020). Nevertheless, this crop might have a significant impact on the national economy, considering that Colombia is the center of the genetic origin of cacao (Osorio-Guarín *et al.* 2017). Cacao has high social importance; it is one of the crops most important in the post-conflict period (Montañez *et al.* 2019). It is part of the “Cacao for peace” programs focused on the replacement of illicit crops and the generation of rural employment (Cely Torres, 2017).

Production of organic cacao is an emerging new trend in Colombia, focusing on the bean's export to international markets specialized in organic cacao. Associated with lesser yields (Florida *et al.* 2020), organic cacao cultivation does not allow the use of synthetic chemicals, involves sustainable management of natural resources, and may offer beans of superior quality. This aspect should be especially taken into account, since cadmium (Cd) can be absorbed by cacao plants in certain amounts (Rodríguez Albarracín *et al.* 2019) where soils contain Cd of natural origin. This limits the use of conventional mineral fertilizers in cacao, assuming that the application of mineral fertilizers further increases Cd accumulation in beans. According to the EU regulations such as Commission No. 488/2014, the maximum level of Cd should not exceed 0.8 mg kg⁻¹ and, in some cases even 0.1 mg kg⁻¹ (Diario Oficial de la Union Europea, 2014). Moreover, the high cost of mineral fertilizers for small growers is an additional challenge for using organic fertilizers in cacao.

In Colombia, small growers frequently receive little technical assistance and they use traditional artisanal practices of cacao cultivation (Cely Torres, 2017; Fedecacao, 2020) resulting in low production. At the same time, adequate fertilization and pruning (Vanhove *et al.* 2016; Niether *et al.* 2018; Riedel *et al.* 2019) are essential to achieve sustainable production in cacao. In the cultivation of organic cacao, pruning can be an efficient practice to prevent plant diseases because it allows more light to enter the tree canopy and prevents an increase in relative humidity (Babin, 2018), taking into account that numerous pathogens, including *Monillia* sp. and *Phytophthora* sp., affect cacao production in Cundinamarca (Fedecacao, 2020).

Practices for organic cacao cultivation are emerging in the country as compared with traditional crop management practices. In Colombia, few studies on the effects of organic fertilization on cacao growth and production are available (Álvarez-Carrillo *et al.* 2015). Thus, the effects of organic amendments and pruning as techniques of crop renovation, on crop yield, and on pod morphometry remain practically unstudied.

The objective of this study was to evaluate the effect of pruning and organic fertilization on cacao (*Theobroma cacao* L.) yield. These treatments were assessed as management alternatives that might improve cacao yield in old plantations (trees older than 20 years) lacking technical assistance. If found beneficial in terms of yield, the fertilization and pruning could serve as cheap, simple, and ecofriendly practical recommendations for small growers for increasing organic cacao yields.

MATERIALS AND METHODS

Experimental area and plant material. This research was done in Nilo municipality located in the alto Magdalena region (4°18'25"N, 74°37'12"W) of Cundinamarca, Colombia. The area corresponds to the tropical dry forest (bs-T) (Holdridge, 1967) with 26.5 °C average air temperature, 31.6 °C maximum temperature, 21.4 °C minimum temperature, 66 % relative air humidity, and mean annual precipitation of 1292 mm. The precipitation regime in the region has a bimodal distribution. During the experiment, the monthly precipitation in the municipality was 102.5-163.7 mm (February-May, a rainy period) and 78.4 mm (June, a dry period), with air temperatures varying within the mentioned baseline values.

The experiment was established in the Nápoles farm (4° 21'14.22"N, 74°32'33.75"W) of 5 ha extension, located at 336 m a.s.l. and focused on organic cacao production. This farm belongs to Proasoagro, an association of organic cacao producers in Cundinamarca (Proasoagro, 2020). The cacao trees planted in the area corresponded to CCN51, TSH565, and local hybrids of up to 24 years old. The planting density was 820 plants ha⁻¹. The crop did not have supplemental irrigation. The soil was Typic Eutrudepts-typic Udorthents, with pH 6.2, 5.6 % organic matter, 0.49 % N contents, and 20.7 and 5.3 meq/100g contents of Ca and Mg.

Experiment design and treatments. The following four treatments were evaluated in a completely randomized design:

- 1) Control without fertilization or pruning; 2) Pruning (P) treatment. This was established according to the recommendations of Fedecacao and consisted of elimination most parts of secondary and tertiary branches on the trees to minimize branch overlapping, and to reduce tree height to 3-3.5 m; 3) Organic fertilization (OF); 4) Pruning + organic fertilization (P+OF).

Each treatment had 3 spatial replicates (plots). Each of the 12 experimental units corresponded to a plot occupied with approximately 30 cacao plants. In each plot, 10 plants were marked with a plastic tape and assessed for chlorophyll contents, fruit morphology, and yield, of a total of 120 trees.

Pruning and fertilizer application were done three months before the first harvest. Doses of organic fertilizers were suggested based on soil analysis in the area and cacao crop requirements (ICA, 1992). The fertilizer sources were the products employed in organic cacao production according to the Proasoagro, approved by the association and that did not have restrictions for use. The following fertilizers were applied:

- 1) Compost, prepared by the producer according to the Proasoagro (Proasoagro, 2020), with organic topsoil, chicken manure, coffee husk, plantain pseudostem, legume biomass, all at equal weight, as a source of N, mainly N-NH₄⁺ form; 2) Patentkali, a source of potassium free of chlorine and composed of 100 % soluble potassium and magnesium sulfates, this fertilizer was obtained from mines through physical processes that allow its use in organic agriculture and contained 30 % K₂O, 10 % MgO, and 42.5 % water soluble sulphates; 3) EPSO Top, a magnesium sulfate used as a source of magnesium and sulphur and certified for use in organic agriculture; 4) Rock phosphate, a product obtained from the mine extraction and used as the main source of phosphorus for the plants; 4) Arbuscular mycorrhizae (Safer brand).

The organic fertilizers were applied at the following rates per plant: 1250 g compost, 30 g Patentkali, 17 g rock phosphate, 37 g mycorrhizas, and 18 g EPSO Top. To fertilize each tree, the litter was removed around each tree, leaving a circle of about 150 cm around the trunk. Subsequently, the fertilizers were applied to the soil and covered with a small amount of soil and litter.

Relative chlorophyll content in leaves. Assessed at the beginning (March 28, 2017) and at the end (June 18, 2017) of the harvest period, using the Spectrum chlorophyll meter Fieldscout CM 1000 (Spectrum Technologies, Inc., Aurora, IL, USA), which calculates the chlorophyll index. In each tree, the measurements were made on 4 fully expanded leaves located on the opposite side of the crown. From these 4 measurements on each sampling date, the chlorophyll meter generated a single value of the relative contents.

Pod morphology and bean yield. The harvest of ripe pods was carried out on 4 occasions in March, April, May, and June 2017.

The following variables were obtained per tree and pods: number, length, and middle circumference, determined with measuring tape (cm); total fresh weight (g); fresh weight and number of beans per pod (g); yield of dry beans (g DW).

The harvested beans were placed into plastic nets and fermented with mucilage according to local practices. For this, the beans were deposited in the wooden fermentation boxes, and the temperature was monitored, indicating the opportune moment to end the drying process when the beans reached 7 % humidity.

Statistical analysis. With the data obtained, tests of normality (Shapiro-Wilk) and homogeneity of variances (Levene's test) were performed. The variables that did not meet these assumptions were transformed by square root. Subsequently, an analysis of variance and an LSD test ($p < 0.05$) were carried out for the separation of means on each sampling date. SPSS V. 19 statistical software was used. Additionally, the correlations between the selected variables were assessed using nonparametric Spearman test.

RESULTS AND DISCUSSION

Relative chlorophyll content. No significant differences in the relative chlorophyll contents between the treatments were obtained in March (first harvest), but statistical differences were detected in June (last harvest) (Figure 1). In June, the highest chlorophyll content was observed in the treatment with organic fertilization (OF) and the lowest one with the pruning (P) treatment (Figure 1).

In cacao, the chlorophyll levels in leaves may or may not correlate with the yield (Zakariyya & Prawoto, 2015; Medauar *et al.* 2018). Establishing whether the chlorophyll content correlates with the yield has practical importance and would allow using chlorophyll contents to predict the yield or growth variables. Thus, Zakariyya & Prawoto (2015) found a positive correlation between the chlorophyll contents in leaves and pod yield. The contents of chlorophylls a, b, and total (a+b) were positively correlated with bean number and weight; at the same time, the contents of total (a+b) chlorophyll had high genetic variance and high phenotypic variance among the cacao genotypes (Anita-Sari *et al.* 2015). No relationship was evident between the relative chlorophyll contents in leaves and cacao yield in Brazil (Medauar *et al.* 2018).

In our study, the relative chlorophyll contents in leaves correlated positively with the number of pods per tree at the beginning of the harvest period ($R=0.625$), while at the end of the harvest period this correlation was negative ($R=-0.618$) (Table 1). In other studies, the negative correlation with cacao yield was found for foliar concentrations of N, P, and Cu, which was explained by the high nutritional demand for these nutrients in the productive phase of cacao (Marrocos *et al.* 2020). More than 50 % of leaf N could be a part of the chlorophyll molecule; therefore, a significant reduction in the chlorophyll contents in leaves could indicate a re-translocation of N from leaves to the growing fruits (Pilbeam, 2015), which could further result in a negative correlation between the fruit number/weight and the leaf chlorophyll contents.

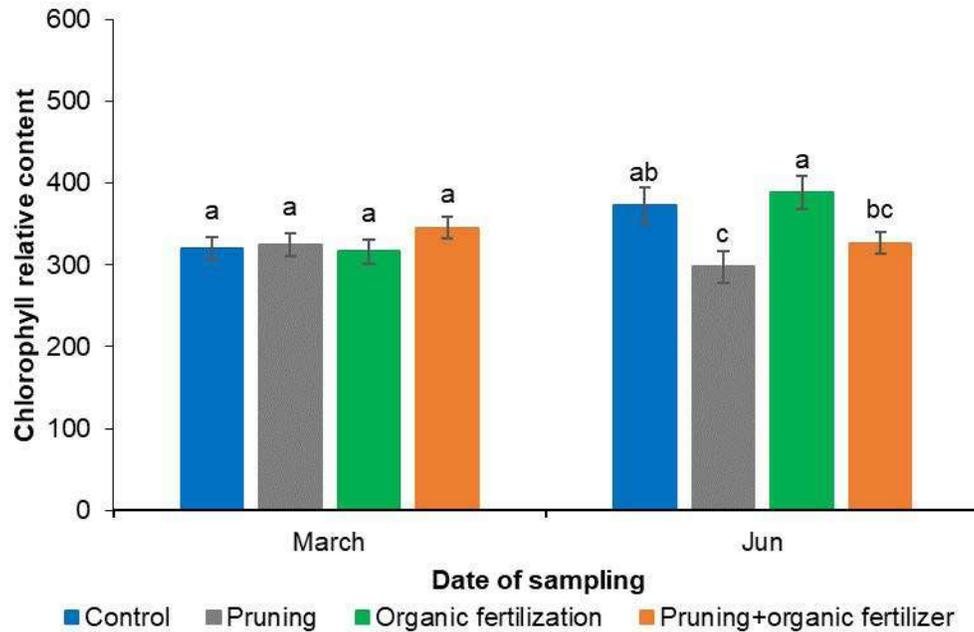


Figure 1. Effect of organic fertilization and pruning on the relative chlorophyll content in leaves of cacao plants in Nilo (Cundinamarca). Averages followed by different letters on each sampling date show statistical differences according to the LSD test ($p < 0.05$). Vertical bars indicate the standard error ($n=3$, where n is a plot of 10 plants).

Table 1. Spearman correlations between the relative content of chlorophyll (CHL) and the total number of pods, total fresh weight of pods and dry weight of cacao beans harvested from cacao plants in Nilo (Cundinamarca) during March-June of 2017.

	Number of pods per tree	Fresh weight of pods	Dry weight of beans per tree	CHL-March	CHL-June
Number of pods per tree	1	R=0.625 $p=0.03$	R=0.354 $p=0.258$	R=0.625 $p=0.03$	R=-0.618 $p=0.032$
Fresh weight of pods		1	R=0.748 $p=0.005$	R=0.497 $p=0.101$	R=-0.413 $p=0.183$
Dry weight of beans per tree			1	R=0.238 $p=0.457$	R=0.084 $p=0.795$
CHL-March				1	R=-0.315 $p=0.319$
CHL-June					1

In June, the effect of pruning on chlorophyll contents was more evident, with lower levels of chlorophyll obtained in the treatments with pruning (P and P+OF) (Figure 1). The low contents of chlorophyll at the end of the harvest period in pruned plants could be attributed to nutrient recycling from leaves to pods or to the intensive formation of new leaves (the sinks for N and C) after pruning. This tendency was not present in other treatments, which could be due to the lower nutrient demand in non-pruned plants (the control) or the additional nitrogen supply from the fertilizers (OF treatment). The reduction in chlorophyll level in leaves at the end of the harvest period (June), apparently, marked the reduction of the tree nutrient reserves at the end of the harvest, suggesting nutrient recycling to the fruits from senescing leaves (Figure 1).

Although tree shading is an important condition for increasing photosynthetic rates in cacao (Agudelo-Castañeda *et al.* 2018), pruning practices are essential for the renovation of old trees (Vanhove *et al.* 2016). The positive effect of pruning on yield, among others, could be due to reducing the incidence of the frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) (Riedel *et al.* 2019), a common disease of cacao in the Americas.

Pod number and morphometry. Statistical differences ($p < 0.05$) between the treatments in the number of pods per tree were observed in April, May, and June. The total number of recollected pods also varied according to the treatment (Figure 2). The pruning plus organic fertilization (P-OF) generated the highest number of

Pods by the end of the harvest period. In control plants, the total number of pods produced by one tree during 4 months was 9.5 pods, while, in the treatment P-OF, the total number of pods was 13.3 (Figure 2).

Pod length significantly varied between the treatments in March and June (Figure 3A). In March, the longest pods (24.8 cm) were obtained in the P treatment. In June, all pruned or/and fertilized trees produced pods that were significantly longer than the control pods (Figure 3A).

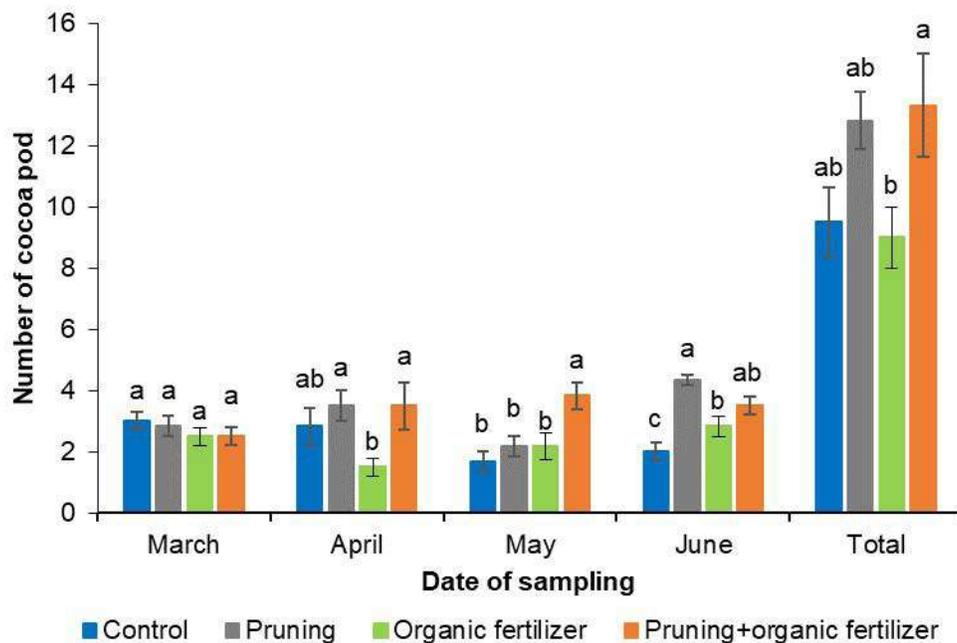


Figure 2. Effect of organic fertilization and pruning on the number of pods per tree in cacao plants in Nilo (Cundinamarca). Averages followed by different letters on each sampling date show statistical differences according to the LSD test ($p < 0.05$). Vertical bars indicate the standard error ($n=3$, where n is a plot of 10 plants).

For pod circumference, statistical differences ($p < 0.05$) between the treatments were found in March and June (Figure 3B). In the case of the first harvested pods (March), the largest circumference (32.33 ± 0.44 cm) was obtained with the P treatment. For June, this same treatment alone or in combination with organic fertilization (P + OF) generated the largest circumference of pods. The control plants, produced at the end of the 4-month harvest period pods of the smallest circumference (Figure 3B) and smallest length (Figure 3A).

For fresh weight of pods, a significant effect of the treatments was observed in April, May, and June (Figure 4A). At these harvest dates, the pruning and organic fertilization treatment (P+ OF) generated the most favorable response in terms of fruit weight. However, the total fresh weight of pods, accumulated after 4 months of harvest did not differ significantly between the treatments.

In March, the pruning treatment resulted in 47 grains per pod, which was the highest number among the treatments (Figure 4B). In April and May, no statistical differences were observed for this variable; however, the highest number of grains per pod (46.5) was obtained with organic fertilization. In control plants, the pods had the highest number of grains (45.3) at the beginning of the harvest period (March), while the lowest number of grains (33.5) was observed at the final harvest (June) (Figure 4B).

Application of organic fertilizers could benefit the early stages of cacao growth (Acheampong *et al.* 2015; Fernández Lizarazo *et al.* 2016; Arthur *et al.* 2019). The application of cow manure, cacao pod husk compost, and sugar cane filter cake increased the soil contents of C, N, exchangeable Ca, and available P and Fe in soil under the cacao crop (Sugiyanto *et al.* 2008). Likewise, organic amendments in young cacao plants increased plant height, stem diameter, number of leaves, number of branches, and the mycorrhiza population (number of spores) (Adejobi *et al.* 2017). In adult cacao plants, applications of organic fertilizers increased the pod number per plant (Adejobi *et al.* 2019). In our study, organic fertilizers, especially when combined with pruning, in general had a positive effect on the number of pods per tree, pod circumference, length and weight, and bean yield (Figures 2-5).

Dry weight of cacao beans. For dry weight of beans, the differences between the treatments were observed at all sampling moments, except in March (Figure 5). From April to June and for the total bean weight, the treatments OF and P + OF produced the most favorable effect on the increment of seed yield. At the end of the experiment, the P+OF trees yielded almost 15 % more of the total dry bean weight as compared to the control.

For several variables, such as pod numbers per tree (Figure 2), pod fresh weight (Figure 4A), and dry weight of beans (Figure 5),

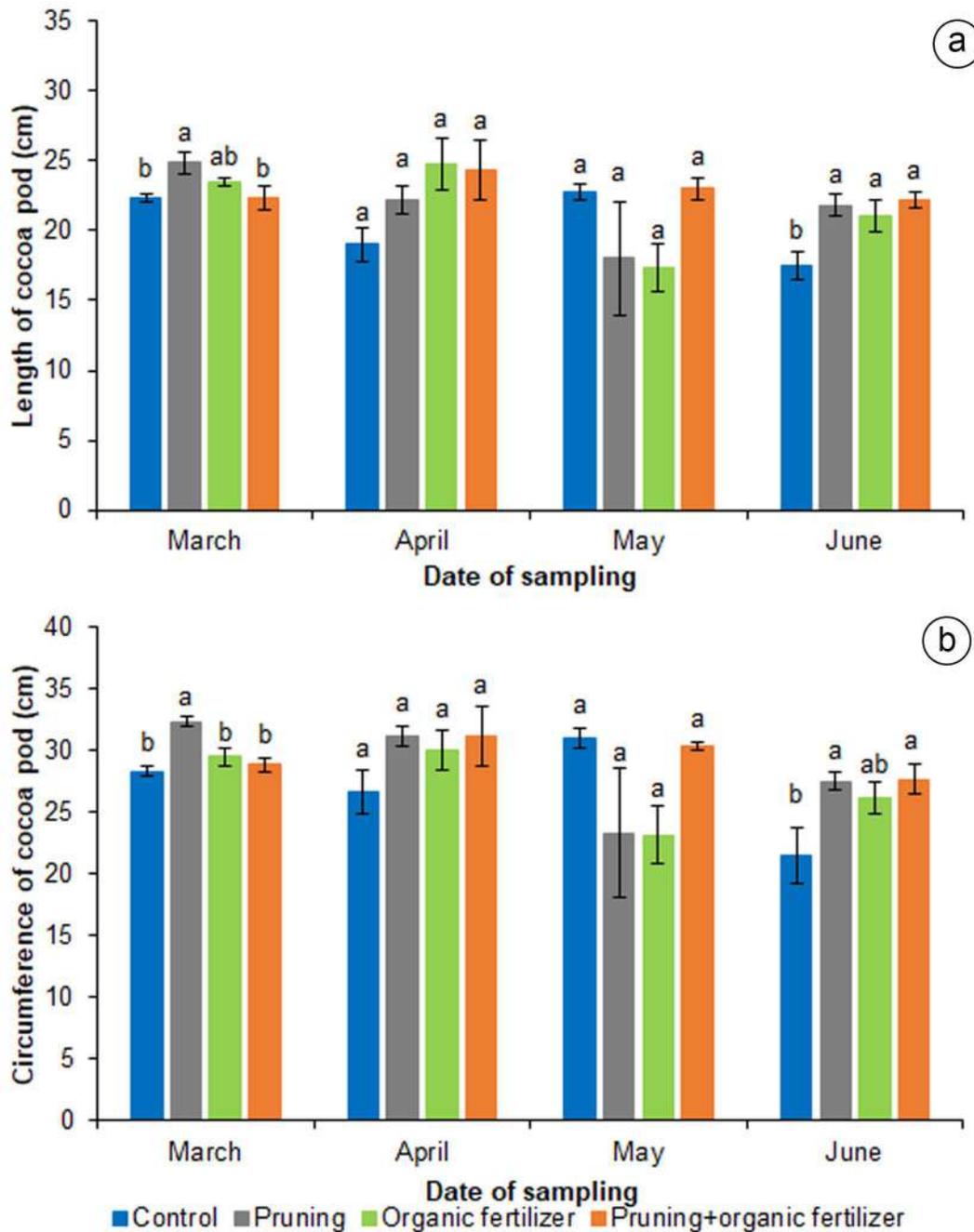


Figure 3. Effect of organic fertilization and pruning in cacao plants in Nilo (Cundinamarca). a. pod length; b. circumference of pods. Averages followed by different letters on each sampling date show statistical differences according to the LSD test ($p < 0.05$). Vertical bars indicate the standard error ($n=3$, where n is a plot of 10 plants).

no differences were found between the treatments with fertilizer applications for the first month of harvest (March). This could be due to the insufficient time for organic fertilizer mineralization, which resulted in no differences for the initial period of harvest. For total bean harvest, depletion of nutrient reserves in trunks, leaves and/or roots might be the reason for low bean weight in the pruning treatment P and control, while the application of organic fertilizers increased the total bean yield with or without pruning (Figure 5).

The positive effect of mycorrhizas on cacao growth and yield was also shown previously, making organic fertilizers and mycorrhizas an important amendment in the cultivation of organic cacao (Tuesta-Pinedo *et al.* 2017). In the Philippines, the joint application of biochar and arbuscular mycorrhizas improved height, stem diameter, leaf dry weight, and accumulation of N and P in 15-month-old cacao plants (Aggangan *et al.* 2019)

The treatments positively affected pod morphometry, as compared to control plants, which produced the smallest pods of the lowest

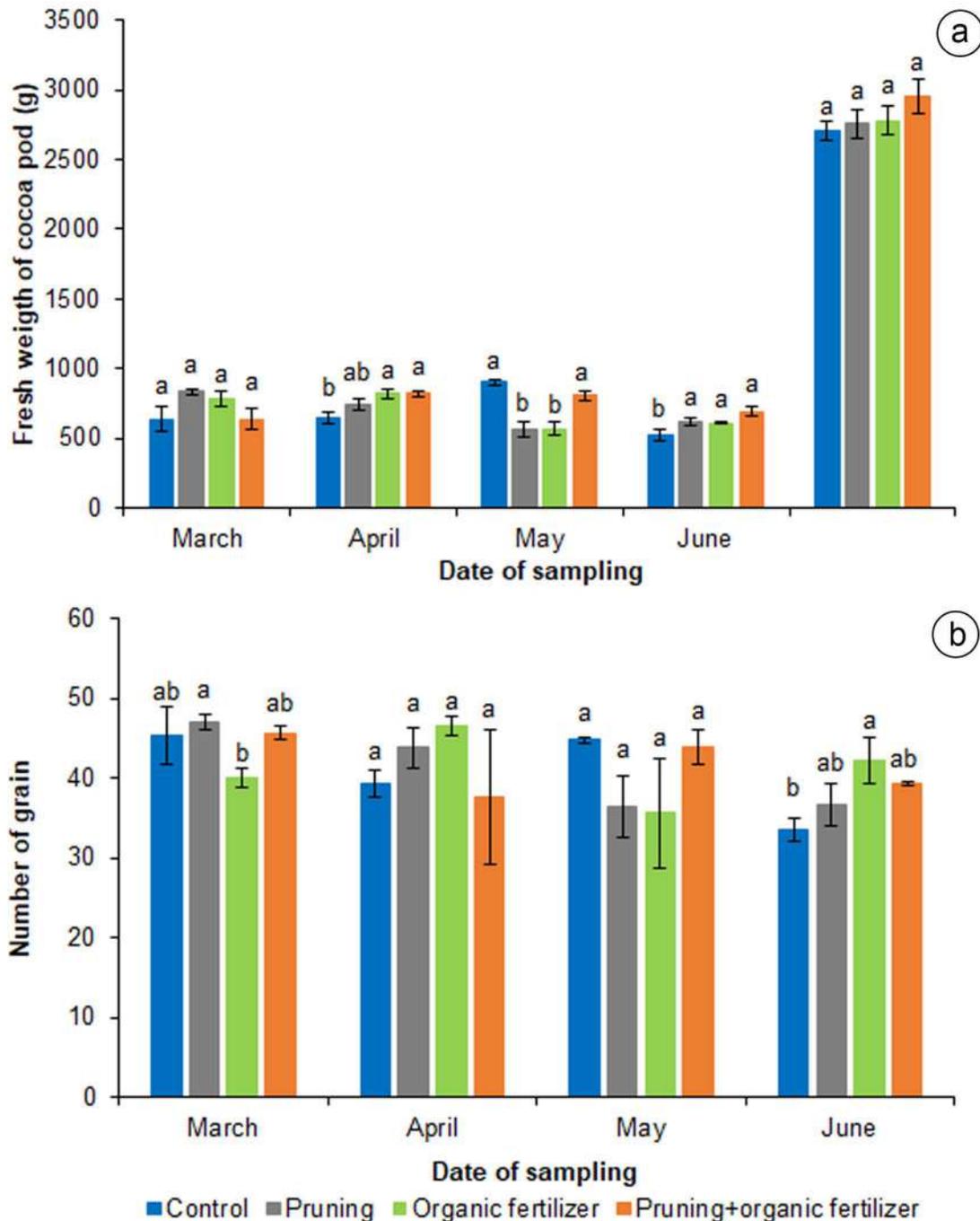


Figure 4. Effect of organic fertilization and pruning in cacao plants in Nilo (Cundinamarca). a. fresh weight of a cacao pod; b. the number of grains per pod. Averages followed by different letters on each sampling date show statistical differences according to the LSD test ($p < 0.05$). Vertical bars indicate the standard error ($n=3$, where n is a plot of 10 plants).

weight, except in May (Figures 3 and 4A). The correlation between the pod volume and fresh weight is well established in cacao, with heavier pods having the larger volume (Thondaiman & Rajamani, 2014).

In cacao, the number of grains per pod has very high heritability; and, thus, it depends on the genotype (Cilas *et al.* 2010). At the same time, this trait varies depending on external factors, including temperature (Daymond & Hadley, 2008), pollination rate (Cilas

et al. 2010), and availability of mineral nutrients (Loureiro *et al.* 2016). According to Daymond & Hadley (2008), the assimilation of nutrients and bean number are the determinants of final pod size in cacao. Inadequate mineral nutrition of cacao, such as deficiencies of nitrogen (Da Silva Almeida *et al.* 2014) and boron (Lachenaud, 1995), frequently results in a smaller number of grains per pod. Therefore, in our study, without an additional N supply from the compost, the number of grains could be lower because ovule fertilization was deficient and fewer grains were formed,

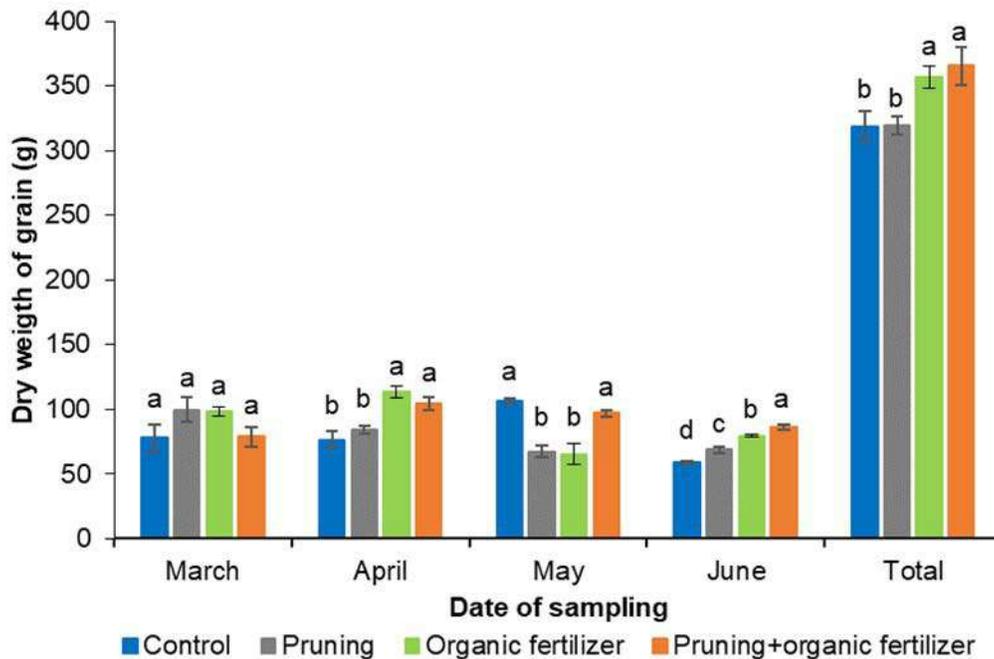


Figure 5. Effect of organic fertilization and pruning on the dry weight of cacao beans in Nilo (Cundinamarca). Averages followed by different letters on each sampling date show statistical differences according to the LSD test ($p < 0.05$). Vertical bars indicate the standard error ($n=3$, where n is a plot of 10 plants).

such as was observed in June (Figure 4B). As consequence of a lower number of grains per pod, the pods would have slower growth, resulting in smaller length, circumference, and fresh weight of pods (Figures 2-4).

The number of grains directly influence the pod size in cacao, with pods becoming bigger with a high number of grains (Daymond & Hadley, 2008). The grains are strong sinks attracting high amounts of sucrose from the mother plant and, as consequence, the fruit husk receives more nutrients, and the fruit becomes larger (Van der Knaap & Østergaard, 2018). In addition, the seeds emit auxins into the fruit tissues, so with greater number of seeds, a fruit becomes larger and heavier (Balaguera-López *et al.* 2020). Although this trait depends on the genotype, the larger bean weight could also be associated with heavier pods in cacao (Santos *et al.* 2012). This was observed in the present study, with a positive correlation ($R=0.748$) established between the pod weight and the seed weight (Table 1).

Correlation analysis between the variables. Correlation analysis revealed the presence of significant correlations between the number of pods, the fresh weight of pods and the relative chlorophyll contents in both March and June (Table 1). A negative correlation ($R=-0.618$) was found among the foliar chlorophyll contents in June (end of the harvest period) and the number of pods per tree. A positive correlation ($R=0.748$) was obtained between the fresh weight of pods and the dry weight of beans. No correlation was found between the relative chlorophyll contents and the bean dry weight (Table 1).

In general, cacao pods tend to be larger and heavier with adequate N supply during pod formation (Snoeck *et al.* 2016). A sufficient

supply of N increases the number of grains per pod, number of fruits per plant, and weight of grains per pod (Da Silva Almeida *et al.* 2014). In our study, the positive effect of N-containing compost on bean weight was observed, with the OF+P treatment increasing the total dry weight of beans per tree by 15 % as compared to unfertilized controls. In general, these data indicated the practical utility of compost application and pruning to increase the bean dry weight in old cacao trees.

According to our study, the application of organic fertilizers and pruning increased the length and circumference of cacao pods. A positive correlation ($R=0.748$) was obtained between the fresh weight of pods and the dry weight of beans. At the end of the harvest, the relative chlorophyll contents in leaves negatively correlated with the number of pods per tree ($R=-0.618$). Pruning and organic fertilization increased the total dry weight of beans per tree at almost 15 % and, therefore, could be used to increase bean yield in organic cacao production in Cundinamarca department.

Acknowledgments. The authors thank the sub-project “Improvement of cacao production technology in the provinces of Rionegro and Alto Magdalena, Cundinamarca”, of the “Proyecto Corredor Tecnológico Agroindustrial” and the Sistema General de Regalías, the owners of the Napoles farm Mr. Jacobo Callejas and Mr. Edwin Callejas, Fedecacao, Agrosavia, and the Universidad Nacional de Colombia (Bogotá).” **Conflict of interest:** The manuscript was prepared and revised with the participation of all the authors, who declare that there is no conflict of interest that puts the validity of the results presented at risk.

REFERENCES

1. ACHEAMPONG, K.; HADLEY, P.; DAYMOND, A.J.; ADU-YEBOAH, P. 2015. The influence of shade and organic fertilizer treatments on the physiology and establishment of *Theobroma cacao* clones. *American Journal of Experimental Agriculture*. 6(6):347-360.
<https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/15206>
2. ADEJOBI, K.B.; AGELE, S.; AIYELARI, O.P. 2019. Effects of organic amendments on growth, establishment, and yield of cacao (*Theobroma cacao* L) in Southwestern Nigeria. *Asian Research Journal of Agriculture*. 11(2):1-14.
<https://doi.org/10.9734/ARJA/2019/V11I230052>
3. ADEJOBI, K.B.; AGELE, S.O.; AIYELARI, P.O. 2017. Effects of organic manure on soil properties and health and growth performance of cacao (*Theobroma cacao* L) in Southwestern Nigeria. *Journal of Global Biosciences*. 6(4):4876-4895.
4. AGGANGAN, N.S.; CORTES, A.D.; REAÑO, C.E. 2019. Growth response of cacao (*Theobroma cacao* L.) plant as affected by bamboo biochar and arbuscular mycorrhizal fungi in sterilized and unsterilized soil. *Biocatal Agric Biotech*. 22:101347.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101347>
5. AGRONET. 2020. Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. Available from Internet in: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1> (with access on 20/11/2020).
6. AGUDELO-CASTAÑEDA, G.A.; CADENA-TORRES, J.; ALMANZA-MERCHÁN, P.J.; PINZÓN-SANDOVAL, E.H. 2018. Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista Colombiana Ciencias Hortícolas*. 12(1):223-232.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7341>
7. ÁLVAREZ-CARRILLO, F.; ROJAS-MOLINA, J.; SUÁREZ-SALAZAR, J. 2015. Effect of organic and conventional fertilization on the growth and production of *Theobroma cacao* L. under an agroforestry system in Rivera (Huila, Colombia). *Ciencia Tecnología Agropecuaria*. 16(2):307-314.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num2_art.375
8. ANITA-SARI, I.A.; ZAKARIYYA, F.; SUSILO, A.W. 2015. Relationship between physiological characteristic and bean quality on some cocoa clones (*Theobroma cacao* L.). *Pelita Perkebunan, Coffee and Cocoa Research Journal*. 31(3):143-151.
<http://dx.doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v31i3.171>
9. ARTHUR, A.; ACQUAYE, S.; DOGBATSE, J.A. 2019. Effect of some organic, inorganic and foliar fertilizers on the growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings raised in soils of contrasting characteristics. *Greener Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 6(1):08-14.
<https://doi.org/10.15580/gjsspn.2019.1.061819111>
10. BABIN, R. 2018. Pest management in organic cacao. In: Vacante, V.; Kreiter, S. (eds). *Handbook of pest management in organic farming*. Ed. CRC Press (New York). p.502-518.
11. BALAGUERA-LÓPEZ, H.E.; FISCHER, G.; MAGNITSKIY, S. 2020. Seed-fruit relationships in fleshy fruit species: Role of hormones. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 14(1):90-103.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10921>
12. CELY TORRES, L.A. 2017. Oferta productiva del cacao colombiano en el posconflicto. Estrategias para el aprovechamiento de oportunidades comerciales en el marco del acuerdo comercial Colombia-Unión Europea. *Equidad Desarrollo*. 28:167-195.
<https://doi.org/10.19052/ed.4211>
13. CENTRE FOR THE PROMOTION OF IMPORTS FROM DEVELOPING COUNTRIES, CBI. 2020. Entering the European market for specialty cocoa. Available from Internet in: <https://www.cbi.eu/market-information/cocoa-cocoa-products/specialty-cocoa/market-entry> (with access on 20/11/2020).
14. CILAS, C.; MACHADO, R.; MOTAMAYOR, J.C. 2010. Relations between several traits linked to sexual plant reproduction in *Theobroma cacao* L.: number of ovules per ovary, number of seeds per pod, and seed weight. *Tree Genetics Genomes*. 6(2):219-226.
<https://doi.org/10.1007/s11295-009-0242-9>
15. DA SILVA ALMEIDA, R.L.; GARÓFALO CHAVES, L.H.; BONOMO, P.; DA SILVA ALMEIDA JUNIOR, R.L.; DANTAS FERNANDES, J. 2014. Produção do cacauero submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. *Revista Caatinga*. 27(4):171-182.
16. DAYMOND, A.J.; HADLEY, P. 2008. Differential effects of temperature on fruit development and bean quality of contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology*. 153(2):175-185.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00246.x>
17. DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA. 2014. Reglamento UE de la Comisión No. 488 / 2014. Available from Internet in: <https://www.boe.es/doue/2014/138/L00075-00079.pdf> (with access on 07/02/2021).
9. ARTHUR, A.; ACQUAYE, S.; DOGBATSE, J.A. 2019. Effect

18. ESCOBAR, S.; SANTANDER, M.; USECHE, P.; CONTRERAS, C.; RODRÍGUEZ, J. 2020. Aligning strategic objectives with research and development activities in a soft commodity sector: A technological plan for Colombian cocoa producers. *Agriculture*. 10(5):141. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050141>
19. FEDERACION NACIONAL DE CACAOTEROS, FEDECACAO. 2020. Economía. Available from Internet in: <https://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales> (with access on 22/10/2020).
20. FERNÁNDEZ LIZARAZO, L.; BOHORQUEZ SANTANA, W.; RODRIGUEZ VILLATE, A. 2016. Dinámica nutricional del cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 10(2):367-380. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.4702>
21. FLORIDA, N.; LEVANO, J.; JACOBO, S.; FERRER, R. 2020. Physical-chemical indicators of soil and cocoa yield with organic and conventional management. *Agroindust Sci*. 10(2):175-180. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.02.08>
22. HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life zone ecology. 1st ed. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica.
23. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual Técnico No. 25. Centro de Investigación Tibaitata. Tibaitata, Colombia. 64p.
24. LACHENAUD, P. 1995. Variations in the number of beans per pod in *Theobroma cacao* L. in the Ivory Coast. III. Nutritional factors, cropping effects and the role of boron. *Journal of Horticultural Science*. 70(1):7-13. <https://doi.org/10.1080/14620316.1995.11515267>
25. LOUREIRO, G.A.H.; ARAUJO, Q.R.; VALLE, R.R.; SODRÉ, G.A.; SANTOS FILHO, L.P.; OLIVEIRA, S.J.R.; DANTAS, P.A.S.; COUTO, R.L.; LOPES, M.R. 2016. Influence of environmental factors on cacao biometric attributes. *Agrotropica*. 28(2):123-140. <http://dx.doi.org/10.21757/0103-3816.2016v28n2p123-140>
26. MARROCOS, P.C.; LOUREIRO, G.A.D.; DE ARAUJO, Q.R.; SODRÉ, G.A.; AHNERT, D.; ESCALONA-VALDEZ, R.A.; BALIGAR, V.C. 2020. Mineral nutrition of cacao (*Theobroma cacao* L.): relationships between foliar concentrations of mineral nutrients and crop productivity. *Journal of Plant Nutrition*. 43(10):1498-1509. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1739295>
27. MEDAUAR, C.C.; GALVÃO, Í.M.; CARVALHO, L.C.; SILVA, S.D.A. 2018. Spatial-temporal variability of leaf chlorophyll and its relationship with cocoa yield. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*. 22(3):164-169. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p164-169>
28. MONTAÑEZ, J.C.R.; CÓRDOBA, G.M.V.; HIGUERA, P.M. 2019. Oportunidades de las minicadenas productivas del sector cacao de Santander frente al posconflicto colombiano. *Económicas CUC*. 40(2):153-182. <https://doi.org/10.17981/econuc.40.2.2019.10>
29. NIETHER, W.; ARMENGOT, L.; ANDRES, C.; SCHNEIDER, M.; GEROLD, G. 2018. Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa (*Theobroma cacao* L.) production systems. *Annals of Forest Science*. 75(2):38. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0723-9>
30. OSORIO-GUARÍN, J.A.; BERDUGO-CELY, J.; CORONADO, R.A.Z.; YENY, P.; QUINTERO, C.; GALLEGO-SÁNCHEZ, G.; YOCKTENG, R. 2017. Colombia a source of cacao genetic diversity as revealed by the population structure analysis of germplasm bank of *Theobroma cacao* L. *Frontiers Plant Sci*. 8:1994. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01994>
31. PILBEAM, D.J. 2015. Essential elements macronutrients. Nitrogen. In: *Handbook of plant nutrition*. CRC, NY. p.21-50.
32. PRODUCTORES AGROECOLOGICOS ASOCIADOS DE NILO, PROASOAGRO. 2020. Available from Internet in: <https://www.proasoagro.com> (with access on 22/10/2020).
33. RIEDEL, J.; KÄGI, N.; ARMENGOT, L.; SCHNEIDER, M. 2019. Effects of rehabilitation pruning and agroforestry on cacao tree development and yield in an older full-sun plantation. *Experimental Agriculture*. 55(6):849-865. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000431>
34. RODRÍGUEZ ALBARRCÍN, H.S.; DARGHAN CONTRERAS, A.E.; HENAO, M.C. 2019. Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia. *Geoderma Regional*. 16:e00214. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>
35. SANTOS, R.C.; PIRES, J.L.; CORREA, R.X. 2012. Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* L. species. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 59(3):327-345. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9685-6>
36. SNOECK, D.; KOKO, L.; JOFFRE, J.; BASTIDE, P.; JAGORET, P. 2016. Cacao Nutrition and Fertilization.

- In: Lichtfouse, E. (eds) Sustainable Agriculture Reviews. Sustainable Agriculture Reviews, vol 19. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4
37. SUGIYANTO, S.; BAKO, J.; ANOM WIJAVA, K. 2008. Soil chemical properties and nutrient uptake of cocoa as affected by application of different organic matters and phosphate fertilizers. *Pelita Perkebunan, Coffee and Cocoa Research Journal*. 24(3):188-204. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v24i3.106>
38. THONDAIMAN, V.; RAJAMANI, K. 2014. Correlation and path coefficient analysis of yield components in cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Plantation Crops*. 42(3):358-363.
39. TUESTA-PINEDO, Á.L.; TRIGOZO-BARTRA, E.; CAYOTOPA-TORRES, J.J.; ARÉVALO-GARDINI, E.; ARÉVALO-HERNÁNDEZ, C.O.; ZÚÑIGA-CERNADEZ, L.B.; LEON-TTACCA, B. 2017. Optimization of organic and inorganic fertilization cocoa (*Theobroma cacao* L.) with the inclusion of *Trichoderma* endophyte and arbuscular mycorrhizae. *Revista Tecnología Marcha*. 30(1):67-78. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i1.3086>
40. VAN DER KNAAP, E.; ØSTERGAARD, L. 2018. Shaping a fruit: Developmental pathways that impact growth patterns. *Seminars in Cell & Developmental Biology*. 79:27-36. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.10.028>
41. VANHOVE, W.; VANHOUDT, N.; VAN DAMME, P. 2016. Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agricult Ecosyst Environm*. 219:14-25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.005>
42. ZAKARIYYA, F.; PRAWOTO, A. 2015. Stomatal conductance and chlorophyll characteristics and their relationship with yield of some cocoa clones under *Tectona grandis*, *Leucaena* sp., and *Cassia surattensis*. *Pelita Perkebunan, Coffee and Cocoa Research Journal*. 31(2):99-108. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v31i2.165>



Aplicación de redes neuronales convolucionales para la detección del tizón tardío *Phytophthora infestans* en papa *Solanum tuberosum*

Application of convolutional neural networks for detection of the late blight *Phytophthora infestans* in potato *Solanum tuberosum*

William Alexander Lozada-Portilla¹; Marco Javier Suarez-Barón²; Eduardo Avendaño-Fernández³

¹Ing. Electrónico, M.Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso - Boyacá, Colombia; e-mail: william.lozada@uptc.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0003-0645-4217>

²Ing. Sistemas, M.Sc, Ph.D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso - Boyacá, Colombia; e-mail: marco.suarez@uptc.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0003-1656-4452>

³Ing. Electrónico, M.Sc, Ph.D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso - Boyacá, Colombia; e-mail: eduardo.avendano@uptc.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0003-0910-8539>

Cómo citar: Lozada-Portilla, W.A.; Suarez-Barón, M.J.; Avendaño-Fernández, E. 2021. Aplicación de redes neuronales convolucionales para la detección del tizón tardío *Phytophthora infestans* en papa *Solanum tuberosum*. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1917. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1917>

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

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

Recibido: abril 12 de 2021

Aceptado: septiembre 23 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La presencia del tizón tardío o gota en el cultivo de papa afecta directamente el crecimiento de la planta y el desarrollo del tubérculo, por ello, es importante la detección temprana de la enfermedad. Actualmente, la aplicación de redes neuronales convolucionales es una oportunidad orientada a la identificación de patrones en la agricultura de precisión, incluyendo el estudio del tizón tardío, en el cultivo de papa. Este estudio describe un modelo de aprendizaje profundo capaz de reconocer el tizón tardío en el cultivo de papa, por medio de la clasificación de imágenes de las hojas. Se utilizó, en la aplicación de este modelo, el conjunto de datos aumentado de PlantVillage, para entrenamiento. El modelo propuesto ha sido evaluado a partir de métricas de rendimiento,

como precisión, sensibilidad, puntaje F1 y exactitud. Para verificar la efectividad del modelo en la identificación y la clasificación del tizón tardío y comparado en rendimiento con arquitecturas como AlexNet, ZFNet, VGG16 y VGG19. Los resultados experimentales obtenidos con el conjunto de datos seleccionado mostraron que el modelo propuesto alcanza una exactitud del 90 % y un puntaje F1, del 91 %. Por lo anterior, se concluye que el modelo propuesto es una herramienta útil para los agricultores en la identificación del tizón tardío y escalable a plataformas móviles, por la cantidad de parámetros que lo comprenden.

Palabras clave: Agricultura de precisión; Aprendizaje profundo; Redes neuronales convolucionales; Tizón tardío.

ABSTRACT

The presence of late blight in potato crops directly affects plant growth and tuber development; therefore, early detection of the disease is important. Currently, the application of convolutional neural networks is an opportunity oriented to the identification of patterns in precision agriculture, including the study of late blight in potato crops. This study describes a deep learning model capable of recognizing late blight in potato crops by means of leaf image classification. The PlantVillage augmented dataset was used in the application of this model for training. The proposed model has been evaluated from performance metrics such as precision, sensitivity, F1 score, and accuracy; to verify the effectiveness of the model in the identification and classification of late blight and compared in performance with architectures such as AlexNet, ZFNet, VGG16, and VGG19. The experimental results obtained with the selected data set showed that the proposed model achieves an accuracy of 90 % and an F1 score of 91 %. Therefore, it is concluded that the proposed model is a useful tool for farmers in the identification of late blight and scalable to mobile platforms due to the number of parameters that comprise it.

Keywords: Convolutional neural networks; Deep learning; Late blight; Precision agriculture.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa, se destaca en Colombia como uno de los productos alimenticios de mayor impacto en las actividades agropecuarias, dado que, en torno a su explotación, se genera el desarrollo de varios sectores de la economía, como el transporte, la industria, los distribuidores de agroquímicos, la producción de empaques, entre otros (Betancourth G. *et al.* 2008). La papa es uno de los cultivos que mayor influencia tiene en regiones de clima frío y uno de los de mayor aumento en investigación, en todo el proceso de producción, debido a que el problema más común de este cultivo es la presencia de la gota, tizón tardío o añublo de la papa, producida por el Oomyceto *Phytophthora infestans*, la enfermedad más limitante, a nivel mundial, afectando, tanto a las hojas como tallos y tubérculos (Pérez & Forbes, 2011). Los síntomas varían según el órgano afectado, la variedad y las condiciones climáticas. En hojas, el tizón tardío inicia como pequeñas manchas de color verde claro, que crecen rápidamente, tornándose de color café grisáceo.

El diagnóstico temprano de las enfermedades de las plantas es de gran importancia para la agricultura sostenible, para prevenir el desperdicio innecesario de recursos financieros, evitando usar cantidades considerables de plaguicidas y de fungicidas, para mejorar la calidad de los cultivos (Sladojevic *et al.* 2016). El problema en la implementación de métodos de análisis avanzados, se presenta cuando las plantas no muestran síntomas visibles en sus hojas o tallos; sin embargo, la mayoría de las enfermedades generan síntomas visibles (Atila *et al.* 2021). Una de las áreas de mayor investigación para mejorar las condiciones que influyen en los cultivos es la agricultura de precisión o agrónoma, que incluyen

algoritmos de aprendizaje de máquina (ML, por sus siglas en idioma inglés) (Sharma *et al.* 2021).

En los últimos años, la visión por computador, el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo (DL, por sus siglas en idioma inglés), se han vuelto cada vez más importantes, debido a su capacidad para procesar, con alta exactitud, datos complejos (Saleem & Chishti, 2021). Estas técnicas son las principales disciplinas para desarrollar sistemas rápidos, automáticos y precisos, para la identificación y la clasificación de imágenes (Too *et al.* 2019). Actualmente, se implementan sistemas que diagnostican, de forma automática, una extensa variedad de enfermedades presentes en diversos cultivos (Rangarajan Aravind *et al.* 2020). Para diagnosticar cuatro enfermedades, Devaraj *et al.* (2019) realizaron ajustes en la imagen, para posteriormente segmentarla, con la técnica de agrupación K-means y realizar la extracción de características de las hojas; dichas características fueron clasificadas por un bosque aleatorio (RF, por sus siglas en idioma inglés).

Debido a la fácil adaptación e implementación de los métodos de ML en hardware, como unidades centrales de procesamiento, unidades de procesamiento gráfico y arreglos de compuertas lógicas programables (Lecun *et al.* 2015), se abrieron las puertas para la implementación de nuevos métodos de alto rendimiento, lo que condujo al DL. Entre los diferentes tipos de redes neuronales profundas, las redes neuronales convolucionales (CNN, por sus siglas en idioma inglés) han sido las más estudiadas (Gu *et al.* 2018) y tienen buen rendimiento en la detección y en el diagnóstico de enfermedades, obteniendo características genéricas de los conjuntos de datos conformado por imágenes; sin embargo, existen desafíos en la implementación de CNN. Uno de ellos es recopilación de datos para el entrenamiento, puesto que se requiere un conjunto de datos bastante amplio, que contengan una gran variedad de condiciones para funcionar correctamente, además del gran esfuerzo para la recopilación (Arnal Barbedo, 2018). Por tanto, parte la comunidad científica ha optado por el uso de conjuntos de datos disponibles públicamente (Neupane & Seok, 2020; Yin *et al.* 2021; Zhang *et al.* 2019), entre otros, como en PlantVillage (Hughes & Salathe, 2015), el cual, es un conjunto de datos que consta de 39 clases diferentes de hojas sanas e infectadas en 14 cultivos (Xiong *et al.* 2020). Los conjuntos de datos actuales presentan desafíos, debido a la compleja información del fondo de las imágenes y los datos de entrenamiento, cuando son insuficientes, pueden llevar a un reconocimiento incorrecto, por lo que es necesario métodos alternativos para entrenar estos sistemas inteligentes (Geetharamani & Arun Pandian, 2019).

Motivados por el éxito en la clasificación de imágenes por medio de CNN, Rahman *et al.* (2020) entrenaron arquitecturas, como VGG16, InceptionV3, MobileNet, NasNet Mobile, SqueezeNet y un modelo CNN simple; la validación utilizó un conjunto de datos que consta de 1,426 imágenes, en escenarios de la vida real, que cubren ocho enfermedades y plagas del arroz; el resultado en la identificación de las zonas afectadas obtuvo una exactitud del 93,3 %. Se evidencia que la arquitectura propuesta por los autores es 99 % más pequeña en cantidad de parámetros que la

comprenden, respecto a la arquitectura VGG16, lo que la hace versátil para aplicaciones móviles. Ferentinos (2018) entrenó las arquitecturas AlexNet, AlexNetOWTBn, GoogLeNet, Overfeat y VGGNet, con un conjunto de datos abierto, que consta de 87,848 imágenes, que contenían 25 plantas diferentes, con un total de 58 clases, alcanzando una tasa de éxito del 99,53 % en la arquitectura VGGNet. Concluyendo que esta arquitectura se convertiría en una herramienta de advertencia o alerta temprana, muy útil para el agricultor.

Islam *et al.* (2019) demuestran que el aprendizaje por transferencia se puede usar para la detección temprana de enfermedades de la papa, cuando no se cuenta con un gran conjunto de datos. Los autores utilizaron 2.152 imágenes, correspondientes a dos enfermedades de la papa y hojas sanas, logrando una precisión del 99,43 % en la arquitectura VGG16. Los autores concluyen que el resultado que obtuvieron supera a todos los trabajos existentes sobre la detección de enfermedades en la papa.

Este estudio propone una CNN propia, que ha sido evaluada en su rendimiento, mediante arquitecturas AlexNet, ZFNet, VGG16 y VGG19, para el diagnóstico de la enfermedad tizón tardío del cultivo de papa. Adicionalmente, se utilizaron los datos aumentados del conjunto de datos PlantVillage, obtenido de Geetharamani & Arun Pandian (2019), el cual, se emplea en diferentes tipos de estudios para realizar análisis de comportamiento de algoritmos y

modelos de IA y DL (Atila *et al.* 2021; Zeng *et al.* 2020). El principal objetivo de este estudio es analizar el rendimiento de la arquitectura de DL propuesta para la clasificación de la enfermedad tizón tardío y compararlo con otros modelos de DL.

MATERIALES Y MÉTODOS

Conjunto de datos. El conjunto PlantVillage (Hughes & Salathe, 2015) es uno de los más utilizados en el mundo para realizar análisis de comportamiento de modelos de DL, en contextos académicos. Este conjunto de datos ocupa un tamaño de 1,67 GB y cuenta con 39 clases diferentes de hojas sanas e infectadas, que incluye alrededor de 61.486 imágenes de 14 cultivos diferentes, como manzana, mora, maíz, uva, durazno, tomate y papa. Las imágenes de este conjunto de datos, se encuentran en el modelo de color RGB, con una dimensión de 256x256 píxeles. Para este estudio, se utilizó una parte del conjunto de datos aumentado de PlantVillage, correspondiente al cultivo de papa. El fragmento del conjunto de datos utilizado consta de 3 carpetas de imágenes, correspondientes a las clases tizón temprano (1.000 imágenes), tizón tardío (1.000 imágenes) y saludable (152 imágenes), las cuales, pertenecen a muestras de cultivos de diferentes zonas del mundo. Para el caso de investigación, se utilizan las imágenes de las clases tizón tardío y saludable (Tabla 1), que competen a la enfermedad de estudio.

Tabla 1. Número de imágenes para cada clase entrenamiento/validación/ prueba.

No. clase	Nombre clase	Número de imágenes				
		Originales	Datos aumentados	Entrenamiento	Validación	Prueba
0	Tizón tardío	1000	1000 (100 %)	850 (85 %)	30 (3 %)	120 (12 %)
1	Saludable	152	1000 (100 %)	850 (85 %)	30 (3 %)	120 (12 %)

Debido a que el conjunto de datos seleccionado se encuentra desequilibrado (Tabla 1), se utiliza el conjunto de datos aumentado de PlantVillage, donde utilizaron seis técnicas de aumento diferente, para incrementar en 848 muestras adicionales, la clase saludable del conjunto de datos; las técnicas de aumento de datos utilizadas son: volteo de imágenes, corrección Gamma, inyección de ruido, aumento de color PCA, rotación y escalado (Hughes & Salathe, 2015). El proceso del aumento de datos tiene como objetivo incrementar el número de imágenes de la clase minoritaria del conjunto de datos y ayuda a evitar el sobreajuste (overfitting) al momento de entrenar los algoritmos de ML; este problema se presenta cuando la red aprende de los casos particulares en lugar del patrón general (Peng & Lee, 2021). Las imágenes seleccionadas, se dividieron en tres subconjuntos: entrenamiento (85 %), validación (3 %) y prueba (12 %). Se analizó el conjunto de datos, tomando un 70, 75, 80 y 85 %, para el conjunto de datos de entrenamiento, con el fin de ir ajustado los modelos. Los modelos de CNN, se estabilizaron con una tasa del 85 %. En la tabla 1, se muestra el número de imágenes utilizadas en entrenamiento, en validación y

en prueba. Los conjuntos de datos de entrenamiento y validación solo se utilizaron para entrenar y ajustar el modelo, mientras que el conjunto de prueba se usó para evaluar el rendimiento en el diagnóstico de muestras que el modelo no consideró antes. En el entrenamiento, se detectaron patrones de información que pueden ser utilizados en diferentes tipos de cultivos de papa que tengan la misma sintomatología y, por medio de métricas de evaluación, se estima el comportamiento de las arquitecturas.

Red neuronal convolucional. En el DL no se divide la extracción de características de la clasificación, porque la arquitectura extrae automáticamente las características, mientras se entrena; sin embargo, las CNN reducen la velocidad de entrenamiento y detección, debido al gran número de parámetros y de operaciones computacionales (Tang *et al.* 2020).

Arquitecturas redes neuronales convolucionales. En total cuatro arquitecturas fueron entrenadas y validadas con el conjunto de datos seleccionado: AlexNet, ZFNet y VGGNet, en sus

versiones VGG16 y VGG19. En estas arquitecturas, se utilizó el optimizador de descenso de gradiente de código Adam, con una tasa de aprendizaje de 0,00001. La arquitectura de CNN propuesta se comparó con las arquitecturas anteriormente mencionadas.

AlexNet v1.0 es una arquitectura profunda, que contiene cinco capas convolucionales, tres totalmente conectadas y más filtros por capa, lo que mejora la extracción de características y demuestra ser una arquitectura innovadora, con los mejores resultados, hasta la fecha, en tareas de clasificación de imágenes, logrando una tasa de error del 15,3 % (Chen *et al.* 2021).

ZFNet v1.0 introduce mejoras significativas reduciendo el tamaño del filtro de la primera capa convolucional de 11x11 a 7x7, con pasos de 2 píxeles, en lugar de 4. Esta nueva arquitectura retiene mucha más información en las características de la primera y segunda capa; como resultado de todas estas modificaciones, ZFNet obtuvo un error de alrededor del 16 % (Fu *et al.* 2020).

VGGNet v1.0 VGGNet introduce un nuevo aspecto importante en el diseño de CNN, aumentando constantemente la profundidad de la red, agregando más capas convolucionales, lo cual, es viable, debido al uso de filtros 3x3 en todas las capas, logrando un mejor resultado en la métrica de precisión en tareas de clasificación de imágenes, en dos de sus modelos: VGG16 Y VGG19. Esta arquitectura demuestra que la profundidad del mapa de características es beneficiosa para la precisión de la clasificación (Prasetyo *et al.* 2021).

Métricas de evaluación. Según Huerta-Mora *et al.* (2020), la exactitud, la sensibilidad, la especificidad, la precisión, el puntaje F1, la matriz de confusión y la curva característica operativa del receptor (ROC) son las métricas de evaluación más utilizadas y confiables para conocer el rendimiento de los modelos de CNN.

$$\text{Exactitud} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP + FN} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Especificidad} = \frac{TN}{TN + FP} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Precisión} = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Puntaje F1} = \frac{2 * TP}{2 * TP + FP + FN} \quad \text{Ecuación 5}$$

Matriz de confusión: La matriz de confusión es una tabla que describe el rendimiento de los modelos de ML, se utiliza para estimar la precisión y la exactitud del modelo y es utilizada donde la salida es de dos o más tipos de clase. La matriz de confusión es un resumen de los aciertos y desaciertos realizados por la CNN en la clasificación, mediante la contabilización de cuatro variables: verdadero positivo, verdadero negativo, falso negativo y falso positivo (Huerta-Mora *et al.* 2020).

Curva ROC: Este gráfico evalúa la capacidad de los modelos de CNN en todos los umbrales de clasificación entre la tasa de TP y la tasa de FP, mostrando qué tan buenos son los modelos para distinguir entre las clases tizón tardío y saludable (Lobo *et al.* 2021).

Entrenamiento. Las arquitecturas de las CNN, se implementaron utilizando las bibliotecas pandas, numpy, tensorflow y scikit-learn, que utilizan el lenguaje de programación Python. El entrenamiento y la validación, se realizó en Google Cola, mientras que el test de las arquitecturas entrenadas, sobre un computador portátil ASUS S46C, con un Core i7 3^a Gen - (8GB/1TB HDD/Windows 10 Pro) y equipado con tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GT 740 M, en el entorno de desarrollo Jupyter Notebook usando Python 3.7.

Los parámetros de entrenamiento fueron los mismos para todas las arquitecturas y se seleccionaron con base en Geetharamani & Arun Pandian (2019), quienes realizaron variaciones en los parámetros de las CNN en el entrenamiento. El optimizador utilizado para el entrenamiento es el optimizador Adam, con una tasa de aprendizaje de 0,00001 (Lee *et al.* 2020) y la cantidad de épocas seleccionada fue 250. En este estudio, cada valor de píxel de las imágenes del conjunto de datos utilizado se normalizó dividiendo por 255. Luego, las imágenes se redimensionaron al tamaño predeterminado aceptado por cada CNN.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los resultados de las matrices de confusión de la figura 1, se hallaron las métricas de evaluación de las ecuaciones 1-5. La tabla 3 muestra la exactitud o tasa de aciertos totales de cada modelo con el conjunto de datos de prueba. La arquitectura VGG16 logró el mejor rendimiento respecto a las demás arquitecturas, alcanzando una exactitud del 96 %, mientras que AlexNet presentó el segundo mejor rendimiento, logrando una exactitud del 94 %. Por otra parte, la arquitectura ZFNet obtuvo un rendimiento ligeramente menor a las arquitecturas AlexNet y VGG16, mientras que la arquitectura VGG19 arrojó los valores de exactitud más bajos con respecto a las otras tres arquitecturas, alcanzando apenas un 79 % en la exactitud. La sensibilidad o eficiencia de las arquitecturas de CNN para detectar muestras que efectivamente presentan la enfermedad tizón tardío en las hojas de papa, expone que VGG16 presentó el mejor rendimiento, con un 92 % de sensibilidad, mientras que AlexNet logró el segundo mejor rendimiento, con un 88 % de sensibilidad.

La especificidad o la capacidad del clasificador para detectar las muestras que efectivamente son negativas o no presentan la enfermedad tizón tardío, se muestra en la tabla 3, evidenciando que todas las arquitecturas clasifican de manera satisfactoria las hojas sanas. La precisión de las arquitecturas de CNN para clasificar hojas correctamente con la enfermedad tizón tardío, también se muestra en la tabla 3, señalando que las arquitecturas presentan un excelente desempeño al clasificar las hojas que, efectivamente, tienen la enfermedad tizón tardío, dado que ninguna arquitectura presenta algún FP en la matriz de confusión. Por último, la métrica puntaje F1 evidencia que, en las CNN, la precisión y la sensibilidad son igual de importantes; los resultados encontrados muestran que

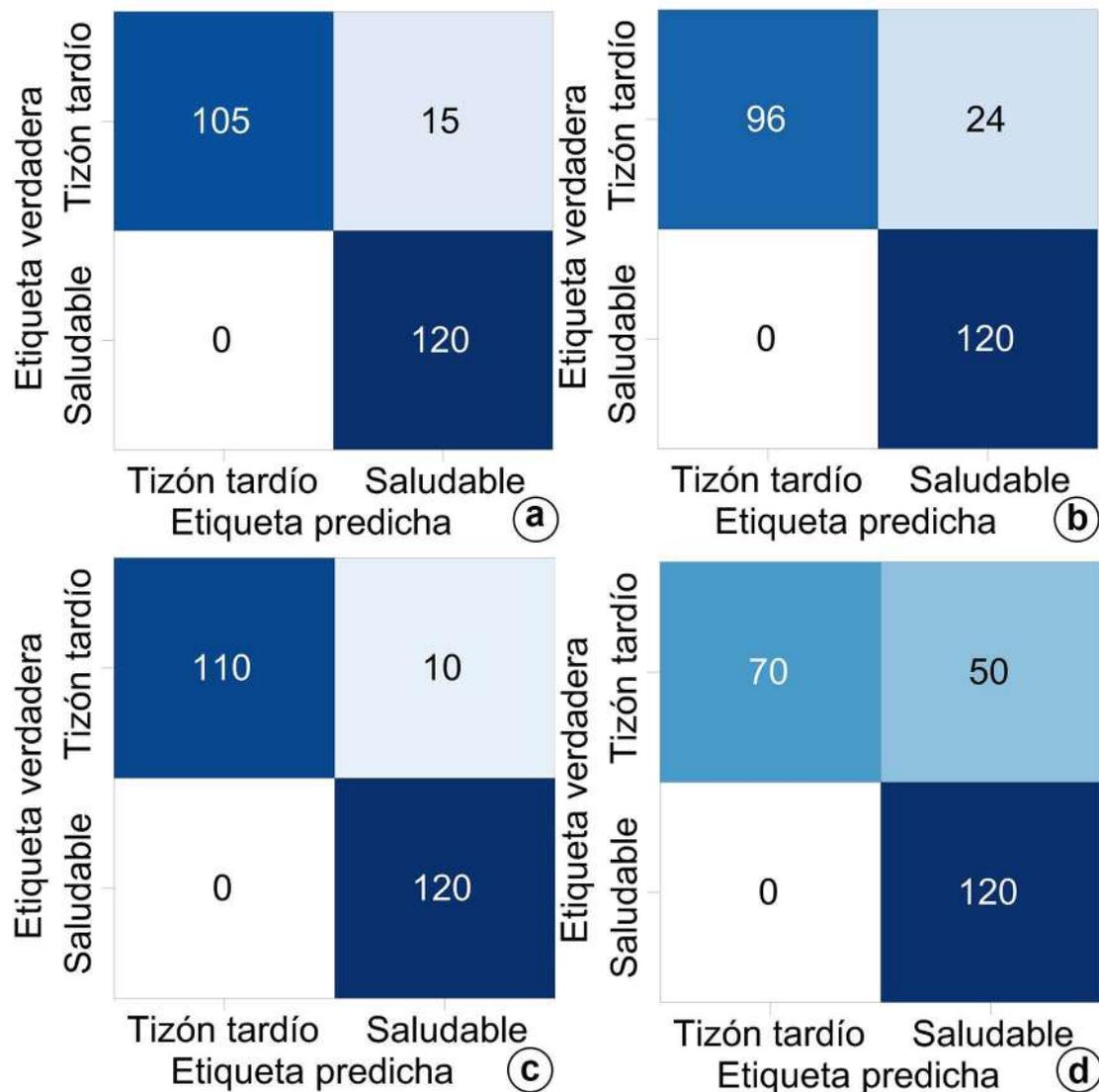


Figura 1. Matrices de confusión de las arquitecturas de CNN. a. AlexNet; b. ZFNet; c. VGG16; d. VGG19.

las dos mejores arquitecturas son VGG16 y AlexNet, logrando un puntaje F1 del 96 y del 93 %, respectivamente.

La figura 2 evidencia cuáles fueron arquitecturas que extrajeron los modelos genéricos del conjunto de datos y presentaron un rendimiento óptimo en todas las métricas de evaluación presentadas. La curva ROC muestra la relación entre tasa de TP y la tasa de FP, observando que las mejores arquitecturas que distinguen entre hojas sanas y hojas infectadas con tizón tardío son VGG16 y AlexNet.

Además de entrenar y evaluar los modelos CNN de última generación, se construyó desde cero una arquitectura CNN, que consta de 11 capas, para una imagen de entrada de 227x227 píxeles (Tabla 2), inspirada en la naturaleza secuencial de VGG16. El modelo propuesto, se entrenó bajo las mismas condiciones que los otros modelos de CNN, con el fin de comparar las arquitecturas bajo las mismas configuraciones. El rendimiento de la arquitectura

propuesta, se compara con las arquitecturas que mejor rendimiento presentaron en las métricas de evaluación, para este estudio: VGG16 y AlexNet. El modelo propuesto obtuvo un rendimiento cercano a los modelos que mejores resultados presentaron en las pruebas, logrando una exactitud de 5 % menos respecto a VGG16 y 3 % menos respecto a AlexNet (Tabla 3). Por otra parte, la arquitectura propuesta presentó un porcentaje de entre el 6-3 % menos en el puntaje F1 respecto a las arquitecturas VGG16 y AlexNet (Tabla 3).

El puntaje F1, se considera la métrica de rendimiento más importante, por lo que la arquitectura con el valor mayor en esta métrica se consideró la arquitectura de mejor rendimiento en la identificación y en la clasificación del tizón tardío en el cultivo de papa, la cual, fue VGG16. Esta es una arquitectura consistente y eficiente que obtuvo una puntuación superior al 92 % en todas las métricas de evaluación (Tabla 3). Otra de las arquitecturas que presentó un excelente desempeño fue AlexNet, que obtuvo un

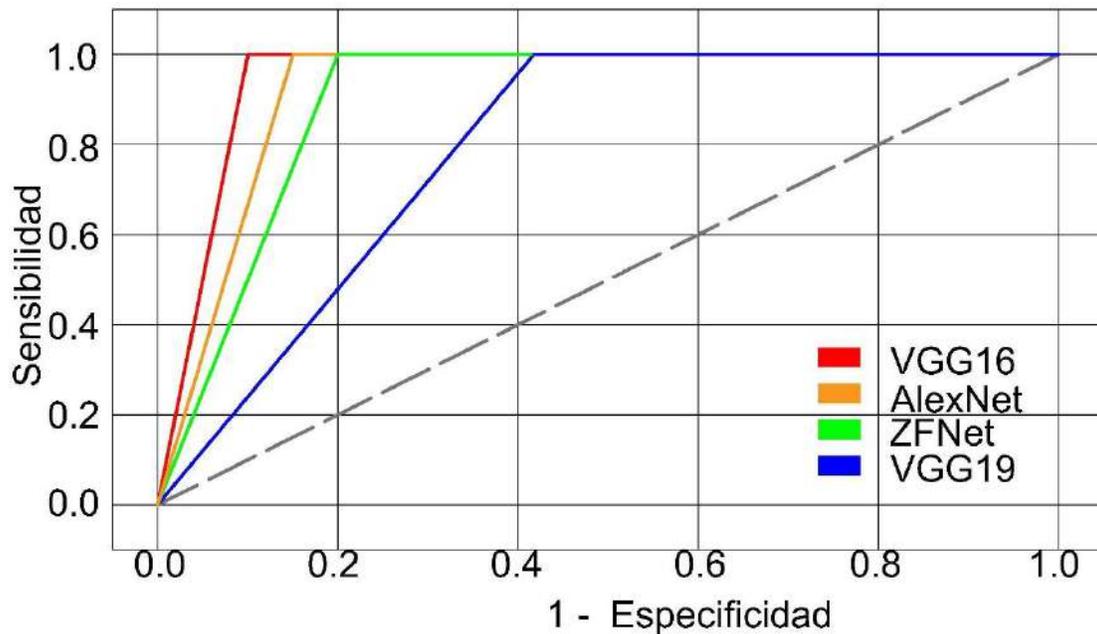


Figura 2. Curvas ROC de los modelos de CNN.

Tabla 2. Detalles del modelo propuesto.

Capa	Forma de salida	Tamaño Filtro/Paso	Relleno	Activación
Imagen	(224,224,003)	-	-	-
Convolución	(224,224,064)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Agrupamiento	(112,112,064)	(2,2)/2	-	-
Convolución	(112,112,128)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Agrupamiento	(112,112,128)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Convolución	(56,56,128)	(2,2)/2	-	-
Convolución	(56,56,256)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Agrupamiento	(56,56,256)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Convolución	(56,56,256)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Convolución	(28,28,256)	(2,2)/2	-	-
Agrupamiento	(28,28,512)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Convolución	(28,28,512)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Convolución	(28,28,512)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Convolución	(14,14,512)	(2,2)/2	-	-
Agrupamiento	(14,14,512)	(3,3)/1	'same'	'relu'
Flatten	(25088)	-	-	-
FC	(4096)	-	-	'relu'
FC	(4096)	-	-	-
Salida	(2)	-	-	'softmax'

mejor rendimiento en función de la cantidad de parámetros que la componen. AlexNet tiene, aproximadamente, 58,3 millones de parámetros, mientras que VGG16, cerca de 134,3 millones de parámetros. Realizando una comparación directa del puntaje F1 entre estas dos arquitecturas, AlexNet alcanza 93 %, mientras que VGG16, el 96 %. Esta es una diferencia mínima en el puntaje F1, que se ve traducido en 5 clasificaciones mal realizadas entre una arquitectura y otra, lo que hace que AlexNet sea la mejor opción de las arquitecturas estudiadas.

El rendimiento de la arquitectura propuesta comparado con AlexNet, se puede considerar que es bueno y prometedor, debido a que el desempeño de la arquitectura propuesta es cercano a AlexNet y, además, es un modelo que ocupa un ligero tamaño en disco y tiene una arquitectura profunda. Esto puede hacer que nuestro modelo realice una mejor abstracción de las características genéricas si se aumenta el conjunto de datos o se aumenta el número de clases.

Tabla 3. Valores de las métricas de evaluación de la arquitectura propuesta con las arquitecturas de mejor rendimiento.

Modelo	Exactitud	Sensibilidad	Especificidad	Precisión	Puntaje F1
AlexNet	0,94	0,88	1,00	1,00	0,93
ZFNet	0,90	0,80	1,00	1,00	0,89
VGG16	0,96	0,92	1,00	1,00	0,96
VGG19	0,79	0,58	1,00	1,00	0,74
Arquitectura propuesta	0,91	0,83	1,00	1,00	0,90

Al comparar la exactitud de la arquitectura propuesta con estudios similares encontrados en la literatura, se encuentra que Islam *et al.* (2019) obtienen una exactitud del 99,43 %, pero utilizan el aprendizaje por transferencia para entrenar la CNN, propuesta por los autores, empleando VGG16; por otro lado, Militante *et al.* (2019) logran una exactitud del 96,5 %, con la única diferencia que utiliza un conjunto de datos más amplio de 35.000 imágenes. Por último, en el estudio de Lee *et al.* (2020), se obtuvo una exactitud de 99 %; en este estudio, los autores realizaron un ajuste en las imágenes, eliminando el fondo y dejando solo la hoja de la papa en la imagen para el posterior entrenamiento de la CNN. Por tanto, es posible utilizar eficazmente la arquitectura propuesta de CNN para diagnóstico temprano del tizón tardío en el cultivo de papa, procesando cada imagen y proporcionando resultados altamente precisos en tiempo real, debido al tamaño de la arquitectura y a la cantidad de parámetros que la comprende. Dichas características hacen que la arquitectura propuesta sea idónea para la creación de diversos tipos de interfaces humano máquina. Como un trabajo futuro, se pretende estructurar el conjunto de datos propio, enfocado en las variedades de papa cultivadas de la sabana cundiboyacense y realizar el análisis de comportamiento de las arquitecturas de CNN en nuestro contexto.

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

REFERENCIAS

- ARNAL BARBEDO, J.G. 2018. Impact of dataset size and variety on the effectiveness of deep learning and transfer learning for plant disease classification. *Computers and Electronics in Agriculture*. 153:46-53. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.013>
- ATILA, U.; UCAR, M.; AKYOL, K.; UCAR, E. 2021. Plant leaf disease classification using efficientNet deep learning model. *Ecological Informatics*. 61(2021):101182. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101182>
- BETANCOURTH G., C.; PORTILLA B., E.; SALAS P, H. 2008. Evaluación de la reacción de nueve genotipos de papa (*Solanum tuberosum* Subsp. Andigena) al ataque de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. *Agronomía Colombiana* (Colombia). 26(3):411-116.
- CHEN, J.; WAN, Z.; ZHANG, J.; LI, W.; CHEN, Y.; LI, Y.; DUAN, Y. 2021. Medical image segmentation and reconstruction of prostate tumor based on 3D AlexNet. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 200:105878. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105878>
- DEVARAJ, A.; KARUNYA, R.; JAAHNAVI, S.; INDIRA, K. 2019. Identification of plant disease using image processing technique. *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP*. p.749-753. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2019.8698056>
- FERENTINOS, K.P. 2018. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*. 145(2018):311-318. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>
- FU, L.; MAJEED, Y.; ZHANG, X.; KARKEE, M.; ZHANG, Q. 2020. Faster R-CNN-based apple detection in dense-foilage fruiting-wall trees using RGB and depth features for robotic harvesting. *Biosystems Engineering*. 197:245-256. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.007>
- GEETHARAMANI, G.; ARUN PANDIAN, J. 2019. Identification of plant leaf diseases using a nine-layer deep convolutional neural network. *Computers and Electrical Engineering*. 76(2019):323-338. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.04.011>
- GU, J.; WANG, Z.; KUEN, J.; MA, L.; SHAHROUDY, A.; SHUAI, B.; LIU, T.; WANG, X.; WANG, G.; CAI, J.; CHEN, T. 2018. Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*. 77(2018):354-377. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>
- HUERTA-MORA, E.A.; GONZÁLEZ-HUITRÓN, V.; RODRÍGUEZ-RANGEL, H.; AMABILIS-SOSA, L.E. 2020. Detección de enfermedades foliares con arquitecturas de redes neuronales convolucionales. *Revista Internacional De Desarrollo Regional Sustentable*. 5(1):18-40.

11. HUGHES, D.P.; SALATHE, M. 2015. An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics. (Suiza) arXiv e-prints. Disponible desde Internet en: <http://arxiv.org/abs/1511.08060> (con acceso el 4/12/2021)
12. ISLAM, F; HOQ, M.N.; RAHMAN, C.M. 2019. Application of transfer learning to detect potato disease from leaf image. 2019 IEEE International Conference on Robotics, Automation, Artificial-Intelligence and Internet-of-Things (RAAICON). p.127-130. <https://doi.org/10.1109/RAAICON48939.2019.53>
13. LECUN, Y; BENGIO, Y; HINTON, G. 2015. Deep learning. *Nature (USA)*. 521(7553):436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
14. LEE, T.Y.; YU, J.Y.; CHANG, Y.C.; YANG, J.M. 2020. Health Detection for Potato Leaf with Convolutional Neural Network. Indo - Taiwan 2nd International Conference on Computing, Analytics and Networks, Indo-Taiwan ICAN 2020 – Proceedings. p.289–293. <https://doi.org/10.1109/Indo-TaiwanICAN48429.2020.9181312>
15. LOBO, G.P.; LARAWAY, J.; GADGIL, A.J. 2021. Identifying schools at high-risk for elevated lead in drinking water using only publicly available data. *Science of The Total Environment*. 803:150046. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150046>
16. MILITANTE, S.V.; GERARDO, B.D.; DIONISIO, N.V. 2019. Plant Leaf Detection and Disease Recognition Using Deep Learning. (Taiwan) 2019 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering, ECICE 2019. p.579–582. <https://doi.org/10.1109/ECICE47484.2019.8942686>
17. NEUPANE, D.; SEOK, J. 2020. Bearing fault detection and diagnosis using case western reserve university dataset with deep learning approaches: A review. *IEEE Access*. 8:93155-93178. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990528>
18. PENG, Y.L.; LEE, W.P. 2021. Data selection to avoid overfitting for foreign exchange intraday trading with machine learning. *Applied Soft Computing*. 108:107461. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107461>
19. PÉREZ, W; FORBES, G. 2011. Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina. Centro Internacional de la Papa -CIP. p.44.
20. PRASETYO, E.; SUCIATI, N.; FATICHAH, C. 2021. Multi-level residual network VGGNet for fish species classification. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.05.015>
21. RAHMAN, C.R.; ARKO, P.S.; ALI, M.E.; IQBAL KHAN, M.A.; APON, S.H.; NOWRIN, F; WASIF, A. 2020. Identification and recognition of rice diseases and pests using convolutional neural networks. *Biosystems Engineering*. 194(2020):112–120. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.020>
22. RANGARAJAN ARAVIND, K.; MAHESWARI, P; RAJA, P; SZCZEPAŃSKI, C. 2020. Crop disease classification using deep learning approach: an overview and a case study. In: Das, H; Pradhan, C.; Dey, N. *Deep Learning for Data Analytics*. Academic Press. Polonia. p.173–195. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819764-6.00010-7>
23. SALEEM, T.J.; CHISHTI, M.A. 2021. Deep learning for the internet of things: Potential benefits and use-cases. *Digital Communications and Networks*. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2020.12.002>
24. SHARMA, A.; JAIN, A.; GUPTA, P; CHOWDARY, V. 2021. Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review. *IEEE Access*. 9:4843–4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>
25. SLADOJEVIC, S; ARSENOVIC, M; ANDERLA, A; CULIBRK, D; STEFANOVIC, D. 2016. Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2016:11 <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>
26. TANG, Z.; YANG, J; LI, Z.; QI, F. 2020. Grape disease image classification based on lightweight convolution neural networks and channelwise attention. *Computers and Electronics in Agriculture*. 178:105735. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105735>
27. TOO, E.C.; YUJIAN, L.; NJUKI, S.; YINGCHUN, L. 2019. A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification. *Computers and Electronics in Agriculture*. 161:272-279. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.032>
28. XIONG, Y; LIANG, L; WANG, L; SHE, J; WU, M. 2020. Identification of cash crop diseases using automatic image segmentation algorithm and deep learning with expanded dataset. *Computers and Electronics in Agriculture*. 177:105712 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105712>
29. YIN, W; SUN, X.; DIAO, W; ZHANG, Y; GAO, X. 2021. Thermal power plant detection in remote sensing images with saliency enhanced feature representation. *IEEE Access*. 9:8249-8260. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3049431>

30. ZENG, Q.; MA, X.; CHENG, B.; ZHOU, E.; PANG, W. 2020. GANS-based data augmentation for citrus disease severity detection using deep learning. IEEE Access. 8:172882-172891.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3025196>
31. ZHANG, Z.; GAO, W.; ZHANG, F.; HUANG, Y.; DAI, S.; FAN, F.; ZHAN, J.; DU, M.; YIN, S.; XIONG, L.; DU, J.; CHENG, Y.; ZHOU, X.; REN, R.; WANG, L.; YE, H. 2019. Landscape of big medical data: a pragmatic survey on prioritized tasks. IEEE Access. 7:15590-15611.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891948>



Minadores de hojas del aguacate (Lepidoptera: Gracillariidae). Estado actual, Identificación, evaluación de daño y propuesta de manejo

Leaf miners of avocado (Lepidoptera: Gracillariidae). Status, identification, damage evaluation and management proposal

Francisco Javier Posada-Flórez¹; Helber Adrián Arévalo-Maldonado²

¹Ing. Agrónomo, Ph.D. Consultor independiente, Servicios de consultoría y capacitación en laboratorio y en campo en entomología, apicultura y control biológico con énfasis en hongos entomopatógenos. Estados Unidos; e-mail: fjavierposada@gmail.com;  <https://orcid.org/0000-0002-7349-2240>

²Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Ingeniería Agronómica, Grupo de Investigación Producción Agrícola Sostenible. Bogotá, Colombia; e-mail: helarevalo@udca.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0003-4401-452X>

*autor para correspondencia: fjavierposada@gmail.com

Cómo citar: Posada-Flórez, F.J.; Arévalo-Maldonado, H.A. 2021. Minadores de hojas del aguacate (Lepidoptera: Gracillariidae). Estado actual, Identificación, evaluación de daño y propuesta de manejo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e2085. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2085>

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

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

Recibido: julio 27 de 2021

Aceptado: noviembre 11 de 2021

Editado por: Rosângela Brito

RESUMEN

El cultivo de aguacate representa uno de los principales productos agrícolas de Colombia. Durante las últimas dos décadas, el área sembrada se quintuplicó y se ampliaron, notablemente, las zonas de siembra, en especial, para el cultivar Hass. Con el crecimiento de su producción, también se reportan nuevos problemas fitosanitarios, mayormente, por la adopción de sistemas productivos de otras latitudes del mundo, donde no se cuentan con ecosistemas con presencia de lauráceas y otras plantas relacionadas con el aguacate. Dentro de las especies plagas, se registra a los minadores de hojas del orden Lepidoptera, que se caracterizan por desarrollarse y alimentarse dentro de las hojas, cuyo efecto perjudicial, se genera, en principio, cuando son afectadas las poblaciones de sus enemigos naturales. El primer registro documentado de estos insectos en el país, se realizó a partir de muestras colectadas en un cultivo de aguacate cv. Hass, en Villamaría, (Caldas), que presentó una explosión de las poblaciones de minadores, como consecuencia de

la aplicación calendario de plaguicidas, con el criterio de proteger de plagas al cultivo, como araña roja y trips. Con el fin de evitar que se aumente la frecuencia de eventos, como el enunciado, se desarrolló el trabajo actual, el cual, tuvo como objeto presentar el estado actual de los minadores de hoja del aguacate en Colombia, identificación y descripción del daño del minador de hojas del aguacate en serpentina y en ampolla y brindar recomendaciones para su manejo, en las zonas productoras de Colombia.

Palabras clave: Manejo integrado de plagas; Enemigos naturales; Monocultivo; *Phyllocnistis perseafolia*, *Acrocercops* sp.; Eulophidae.

ABSTRACT

Avocado has become one of the most important crops in Colombia. During the last two decades, the area planted with avocado has quintuplicated, and it is widespread across a wide range of high-altitude lands growing in monoculture with Hass variety.

As the plantation areas increase, new sanitary problems appear, as consequences of the adoption of technical recommendations from other latitudes where the ecosystems do not have laurels and other plants related to avocado. Within the pest species, the leafminers of Lepidoptera are reported, which the main characteristic is that they develop and feed inside the leaves. The damage they cause happens mainly when the population of their natural enemies is affected. The first record of leafminers in Colombia was done from samples collected in one orchard of avocado cv. Hass in Villa Maria, Caldas where a high infestation outbreak happened as a consequence of the pesticide application following calendar spraying to prevent the attack of pests like red spider mites and thrips. The objective of this paper is to present the status of leafminer pest of avocado leaves in Colombia, providing its identification, description of the serpentine and blotch damage, and proposing recommendations for its management. This will inform the scientific community and farmers about the presence of this pest in avocado crop regions in Colombia, contributing to minimize damaging events like the aforementioned.

Keywords: Integrated pest management; Natural enemies; Monoculture; *Phyllocnistis perseafolia*, *Acrocercops* sp.; Eulophidae.

INTRODUCCIÓN

En los inventarios de las plagas del aguacate en Colombia, se tienen registradas 68 especies de insectos, que se alimentan de diferentes partes del árbol (Posada Ochoa, 1989) y dentro, de las cuales, las plagas de mayor importancia económica son los perforadores de fruto y tallo. Adicionalmente, varias especies de trips y el mívrido *Monalonia velezangeli* (Carvalho y Costa, 1988), han cobrado importancia (Cárdenas Murillo & Posada Flórez, 2001; Londoño, 2020). De igual manera, durante las dos últimas décadas, se aumentó el registro de especies plaga potenciales, entre las que se encuentran, *Laurencella colombiana* Foldi & Watson, 2001, (Hemiptera: Monophlebidae), *Bruggmanniella perseae* Gagné, 2004 (Diptera: Cecidomyiidae) y *Heilipus elegans* Guérin-Méneville, 1844 (Gagné *et al.* 2004; Gil P. *et al.* 2007; Rubio G. *et al.* 2009). Además, se incrementó el conocimiento de escamas Coccoidea, asociadas al cultivo (Kondo & Muñoz, 2016).

Colombia es el cuarto productor de aguacate en el mundo, con 211.056 hectáreas (FAO, 2019), razón por la cual, es de permanente interés conocer los insectos asociados a los agroecosistemas aguacateros del país. Mientras no se cuente con esta información, los productores aplicarán modelos de manejo de plagas de otras latitudes, donde no se cuentan con lauráceas y otras plantas relacionadas con el aguacate, desconociendo los servicios ambientales brindados por los ecosistemas circundantes.

Entre los servicios ambientales ofrecidos, se encuentra una gran diversidad de organismos benéficos nativos y con una estrecha relación con las plantas de aguacate (Gil P. *et al.* 2007). Entre los roles de los organismos benéficos, se pueden resaltar la polinización y el control natural de fitófagos, que garantizan la producción del cultivo; sin embargo, es necesario precisar que estos ecosistemas

son muy sensibles, por lo que un manejo inadecuado de plagas y malezas podría desencadenar un desequilibrio ecológico y potencializar el efecto perjudicial de especies plaga.

Entre las plagas reportadas para el aguacate en el nuevo mundo, se encuentran los minadores de hojas *Phyllocnistis perseafolia* Davis & Wagner, 2011, *P. hyperpersea* Davis & Wagner, 2011 y *Caloptilia perseae* (Busck, 1920); específicamente para Colombia, se reporta a *P. perseafolia*. Hasta el momento, la mayoría de los reportes indican a los minadores de hojas del aguacate como plagas menores o potenciales; por ejemplo, *C. perseae* es considerada una plaga menor en México y en Cuba y, de igual manera, los daños causados por *Phyllocnistis* sp., en la Florida, Estados Unidos y en Perú, son despreciables (Wysoki *et al.* 2002).

Los minadores de hoja Gracillariidae, se alimentan y se desarrollan habitualmente dentro de las hojas jóvenes; sin embargo, también se pueden encontrar atacando tallos, frutos o flores (Hu *et al.* 2011). Los rastros generados por los minadores son característicos y permiten su identificación en campo, al menos, hasta nivel de género.

La mayoría de gracilaríidos, se consideran plagas menores o potenciales, debido a que sus poblaciones son reguladas y mantenidas por debajo de los niveles de daño económico, principalmente, por parasitoides de la familia Eulophidae (Yefremova & Kravchenko, 2015; Kanhar *et al.* 2017; Lee *et al.* 2017).

Teniendo en cuenta las razones expuestas, el presente trabajo tuvo como objeto, indicar el estado actual de los minadores de hoja del aguacate en Colombia, reconocer los enemigos naturales, describir el daño y brindar elementos para el manejo de los minadores de hoja, acordes con los agroecosistemas donde se desarrollan los cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Registro de minadores. El registro inicial de los minadores de hoja del aguacate, se realizó a partir de una visita técnica a una plantación de aguacate Hass, para la evaluación de plagas, ubicada en el municipio de Villamaría, Caldas, a una altitud de 2.200 m s.n.m., dentro de la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), con una extensión de 10 hectáreas y una densidad de 120 árboles por hectárea. Los reportes adicionales, se presentan a partir de las observaciones de asistentes técnicos de las diferentes zonas productoras de aguacate de Colombia.

Identificación de especies. Durante la visita técnica a la finca de Villamaría, se colectaron 20 hojas por árbol con minas, con daño fresco y daño viejo, para analizarlas en el laboratorio, donde se clasificaron por el tipo de mina y se utilizaron para recuperar adultos de los minadores y posibles enemigos naturales. Después de clasificar las hojas con minas en serpentina y en ampolla, se colocaron en una bolsa plástica cinco hojas con toallas de papel, para coleccionar el exceso de humedad y evitar que las muestras fueran colonizadas por hongos. Diariamente, las bolsas con las hojas, se

revisaron para colectar los insectos que emergieron de las minas. Las hojas con minas, se mantuvieron en observación 21 días y antes de descartarlas se revisaron, para establecer que no había presencia de insectos en las minas.

Los especímenes de minadores colectados, se enviaron al Dr. Donald Davis, especialista en Lepidoptera, Gracillariidae (Department of Entomology, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution) y el parasitoide fue identificado por Lucía Pérez (Laboratorio de Entomología de la Universidad de la Amazonía).

Evaluación del daño generado por los minadores. La evaluación, se realizó en la plantación de aguacate Hass, que se indicó. En cada lote, se tomaron 12 (10 %) árboles, tanto en desarrollo como en producción. En cada árbol, se hicieron observaciones sobre los problemas de plagas, incluidos los minadores. La presencia del daño de los minadores, se registró para cada árbol, haciendo evaluaciones sobre las hojas de los terminales y frutos. De los árboles evaluados, se tomaron al azar cinco árboles y, en cada uno, se tomó, en los cuatro puntos cardinales, un terminal del estrato bajo y uno del estrato alto, para contar el número de hojas y, de éstas, el número con daño de minadores. Adicionalmente, se hizo una evaluación de frutos, tanto en los árboles (N=10) como en los cosechados (N=100), para determinar la presencia de daño de los minadores.

Con los datos de la evaluación de los minadores, se estimó la incidencia del daño en los árboles y en los terminales, mientras que la severidad del daño en las hojas y frutos, se evaluó por el número de hojas o frutos con presencia de los minadores. La incidencia y la severidad, se estimaron con las siguientes fórmulas:

Incidencia de árboles con daño % = $\frac{\text{árboles con daño}}{\text{total árboles evaluados}} \times 100$.

Incidencia de terminales con daño % = $\frac{\text{terminales con daño}}{\text{total terminales evaluados}} \times 100$.

Severidad del daño en las hojas de los terminales % = $\frac{\text{hojas con daño}}{\text{total hojas evaluadas}} \times 100$.

Severidad del daño en frutos % = $\frac{\text{frutos con daño}}{\text{total frutos evaluados}} \times 100$.

Además, durante la evaluación del daño, se registraron los métodos de manejo empleados en el cultivo, para complementar la discusión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Registro de minadores. Como se mencionó, el primer registro documentado de minadores de hoja del aguacate en Colombia fue realizado por Davis & Wagner (2011), a partir de los especímenes colectados en el presente estudio. Entre los minadores encontrados, uno corresponde al minador en serpentina del aguacate *P. perseafolia* y, el otro, al minador en ampolla del aguacate pendiente por

describir y cuya identificación a género, se presenta más adelante.

Minador de hojas del aguacate en serpentina -MHAS. Los reportes de este minador, por parte de productores, asistentes técnicos y personas del común, aumentaron desde su observación, en el 2008. Los reportes corresponden a árboles de aguacate en cultivo, ecosistemas naturales o sembrados, con fines decorativos. Entre los lugares donde se reporta al MHAS, se encuentran: Antioquia, Caldas (Pacora, Aguadas), Cundinamarca (Bogotá, La Vega), Quindío (Armenia, Pijao, Salento, Calarcá, Génova), Risaralda (Santuario) y Tolima (Cajamarca y Fresno). Posiblemente, en todos los casos, se trate de *P. perseafolia*, debido a la monofagia exhibida por la mayoría de las especies de *Phyllocnistis* y a que, hasta el momento, en Colombia, es la única especie minadora de este género, reportada para Suramérica; sin embargo, esta premisa no se puede asegurar, debido a que Davis & Wagner (2011) reportan en aguacate, a *P. hyperpersea* para el nuevo mundo y, además, el gran desconocimiento de *Phyllocnistis* en la región (Brito *et al.* 2017), da lugar a que se trate, inclusive, de un complejo de especies.

Adicionalmente, el MHAS, se ha observado en diferentes viveros en Colombia y en México (Senasica, 2018). Es preciso aclarar que, de acuerdo con el daño reportado en México, por Senasica (2018), corresponde a una especie de *Phyllocnistis* y no a *Caloptilia perseae*.

Minador de hojas del aguacate en ampolla-MHAA. Hasta el momento, solo se reporta para el cultivo mencionado en el presente trabajo.

Identificación de especies.

MHAS. A partir de los especímenes colectados de las minas en serpentina, la especie fue descrita por Davis & Wagner (2011), como *P. perseafolia* (Figura 1e); estos autores describen el adulto macho y hembra, la pupa y el tipo de mina generado por la larva; no obstante, hace falta la descripción de la larva, tanto en los instares succionadores de sabia como del instar hilador, lo cual, sería de gran ayuda para su identificación, ya que, habitualmente, el estado larval es el que más se encuentra en campo.

MHAA. De acuerdo con el desarrollo, tipo de mina y algunos caracteres del adulto, esta especie corresponde a *Acrocercops*. Teniendo en cuenta las especies descritas de este género para el neotrópico (De Prins *et al.* 2019) y la comunicación personal del Dr. Donald Davis, se trata de una nueva especie. *Acrocercops* no está reportada en lauráceas para el neotrópico y, de acuerdo con el patrón de coloración alar (Figura 2e), corresponde a una especie relacionada con *A. cissiella* Busck, 1934 y *A. maranthaceae* Busck, 1934.

Acrocercops y otros géneros de Acrocercopinae y Ornixolinae, se caracterizan por cumplir todo el estado larval dentro de la hoja y generar, inicialmente, una mina en serpentina y, luego, una mina lagunar tentiforme o en ampolla. El último instar larval es de color rojizo, en el cual, abandona la mina y forma el capullo en la misma

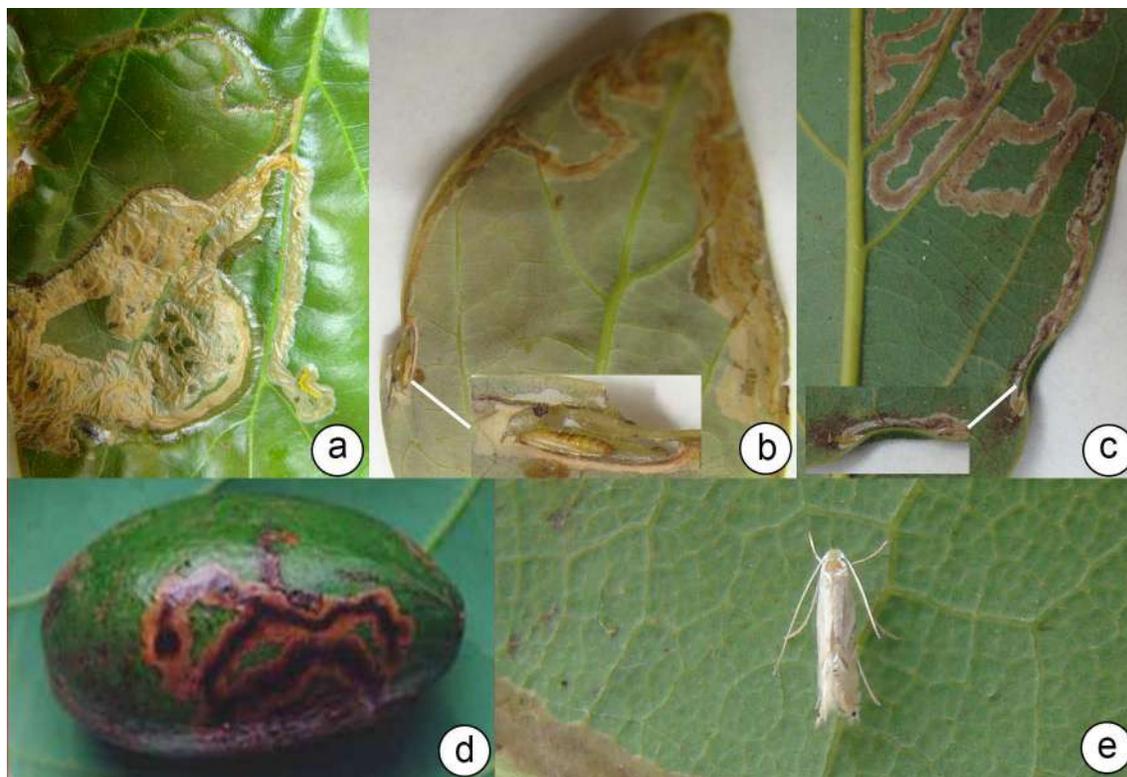


Figura 1. Minador de hojas del aguacate en serpentina-MHAS, *Phyllocnistis perseafolia*. a. Mina del MHAS en el haz de la hoja; b. Mina del MHAS en el envés de la hoja, resaltando la cámara pupal en la margen de la hoja y abierta para mostrar la pupa; c. Cámara pupal con la exuvia de la pupa adherida al orificio de emergencia del adulto; d. Mina del MHAS en fruto; e. Adulto del MHAS.

hoja o en hojas aledañas; el capullo presenta burbujas sobre la superficie (Kumata *et al.* 1988). Como se observa en las figuras 2a-d, todas las características enunciadas, las presenta el MHAA.

En cuanto el adulto, la posición en reposo con la parte anterior levantada de la superficie es característico para las subfamilias Acrocercopinae, Gracillariinae y Ornixolinae (Figura 2e).

Parasitoides. Del MHAS, se obtuvieron 3 morfoespecies de la familia Eulophidae y una corresponde al género *Horismenus* (Figura 3). En este punto, se recalca la necesidad de realizar trabajos tendientes al reconocimiento y la posible descripción de las especies de parasitoides, asociadas a los minadores del aguacate.

Evaluación del daño generado por los minadores. En el cultivo de Villa María, el daño por los minadores de serpentina y ampolla, se encontró en todos los árboles evaluados, tanto en desarrollo como en producción, causando defoliación y pérdida de área fotosintética. Igualmente, el ataque de los minadores, se registró generalizado en los terminales de todos los estratos de la planta y la incidencia del daño fue del 100 %. Por terminal (n=40) de la evaluación, de cinco árboles, en los cuatro puntos cardinales y, en cada punto, un terminal en el estrato alto y, el otro, del estrato bajo, con un promedio de 15 hojas por terminal. Se encontró un promedio de 10 hojas con una severidad de daño del 66,6 %, del MHAS y 3 hojas, con daño del MHAA, con una severidad de daño del 20 %. Las hojas, tanto las recién formadas como las

desarrolladas, presentaron presencia de minas.

Las minas en serpentina se presentaron, tanto por el haz como en el envés de las hojas (Figuras 1a-c) y, por hoja, se encontró $3,2 \pm 1,7$ minas en promedio (Mín 1, Max 8, N= 100) y algunas minas, se mostraban entrecruzadas. Las minas en ampolla, se presentaron sobre el haz (Figura 2a) y evidenció $1,5 \pm 0,8$ minas en promedio (Mín. 1, Max. 4, N=100). Estas minas, se presentaban, generalmente individuales, con una área y configuración muy definida de ampolla. Los dos tipos de minas presentes en una misma hoja, se halló en un 15 % de las hojas evaluadas (N=100).

Las minas de serpentina en el haz, se observaron plateadas, probablemente, por la exposición al sol, mientras cuando se presentaron en el envés, el color era verde o café, tal vez, debido a la oxidación de los tejidos de la epidermis de hojas dañados. El seguimiento de la mina, desde que se inició hasta que terminó en la hoja, demostró la voracidad de la larva, que recorrió toda la extensión de la hoja, consumiendo el tejido debajo de la epidermis (Figuras 1a-c). El último instar larval, se desplaza hacia el margen de la hoja, el cual, dobla hacia la parte atacada, haz o envés, donde forma el capullo y, en cada uno de estos, solo se encontró un espécimen (Figura 1b). *P. perseafolia* también se presentó atacando frutos (Figura 1d), pero la severidad de este daño fue baja. En los frutos evaluados en los árboles fue de 3,2 % (n= 120 árboles) y en los cosechados de 3 % (n=100 cosechados). En este punto es preciso resaltar que, usualmente, los *Phyllocnistis* se desarrollan



Figura 2. Minador de hojas del aguete en ampolla-MHAA, *Acrocercops* sp. a. Mina en ampolla en el haz de la hoja; b. Larva de último instar después de emerger para realizar el capullo y empupar fuera de la mina; c. Larva dentro del capullo de seda afuera de la mina; d. Pupa y capullo de forma esférica y semitransparente con cuatro burbujas sobre la superficie; e. adulto en posición de reposo.

en el envés de las hojas jóvenes y un indicio de su abundancia es encontrarlos en el haz de las hojas y en otras estructuras de la planta.

Las minas de ampolla, se presentaron sobre el haz y el daño se pudo evaluar por el envés de la hoja, observando los terminales desde el piso. Estas minas, inicialmente, comenzaron como serpentinas en el lugar de oviposición y después de recorrer unos centímetros, se

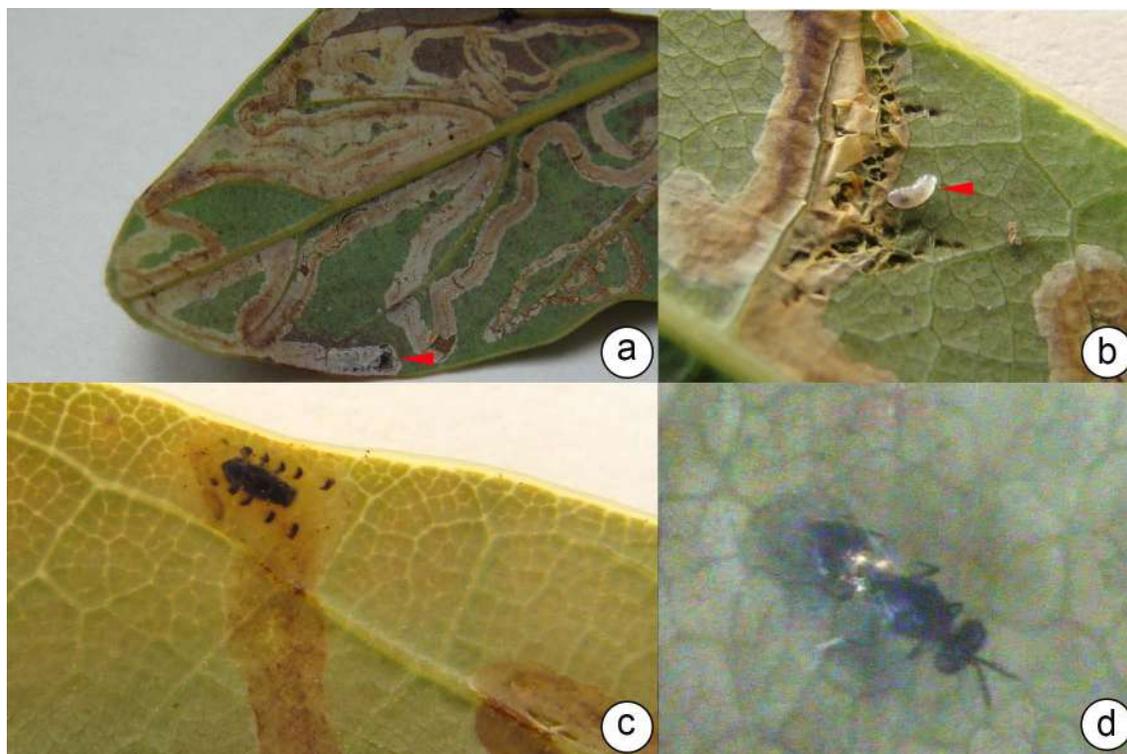


Figura 3. *Horismenus* sp. (Eulophidae) parasitoide del minador de hojas del aguacate en serpentina -MHAS. a. Hoja con minas mostrando la larva del MHAS atacada por el parasitoide (flecha); b. Larva del parasitoide extraída de la mina (flecha); c. Pupa del parasitoide desarrollándose dentro de la mina del MHAS; d. Adulto del parasitoide que emergió de la larva del MHAS.

formó la mina en ampolla, que se expande en forma radial, por la actividad de alimentación de las larvas. Por ampolla, se encontró un máximo de dos larvas y abundantes depósitos de excrementos de color negro (Figura 2a).

La importancia económica de minadores de serpentina y ampolla encontrados en cultivos de aguacate va a depender del manejo de los cultivos. Los minadores de hojas son un grupo de plagas de difícil manejo, porque permanecen protegidas dentro de las minas (Wysoki *et al.* 2002). En Colombia y otros países son conocidas las crisis insostenibles causadas por los minadores de hojas, en varios cultivos, como flores, arveja, habichuela, frijol, papa, café, melón, tomate y cítricos (Vélez-Ángel *et al.* 1982; Zenner de Polania, 1986; León & Campos, 1999; Cárdenas Murillo & Posada Flórez, 2001; Constantino *et al.* 2011). Está demostrado que el daño que causan los minadores de hojas en diferentes cultivos está directamente relacionado con las aplicaciones de plaguicidas, que crean resistencia de los minadores a los insecticidas, matan los enemigos naturales y generan la explosión de las poblaciones de los minadores.

De acuerdo con lo mencionado, probablemente, lo que ocurrió en el cultivo de aguacate Hass, en la finca de Villa María, fue un desequilibrio ecológico, que afectó las poblaciones de enemigos naturales y que condujo a la infestación mencionada, ya que el manejo de plagas en la finca se estaba haciendo semanalmente, siguiendo el criterio de aplicaciones de plaguicidas calendario, para prevenir ataque de las plagas. En los lotes, se observó la aplicación de mezclas de plaguicidas utilizando bombas estacionarias. La

evaluación de las aplicaciones de los plaguicidas demostró deriva de la aplicación y bajo cubrimiento de gotas en las hojas de los árboles recién aplicados. Las aplicaciones estaban dirigidas a controlar araña roja (Acarina: Tetranychidae) y trips (Thysanoptera: Thripidae), pero en las muestras de hojas evaluadas no se encontró presencia de estas plagas, ni del daño.

Este método de manejo de plagas no es técnico, ni sigue la recomendación del manejo integrado de plagas - MIP, que incluye la identificación de los organismos plaga, conocer la dinámica de la población, establecer niveles de infestación, evaluar la severidad, determinar los umbrales de daño, conocer la ecofisiología del cultivo, reconocer la biología del insecto que causa el daño, determinar los factores de mortalidad y reconocer los beneficios y consecuencias de los métodos de control (Wysoki *et al.* 2002).

En cultivos de frutales, como el aguacate, se sugiere seguir las recomendaciones enunciadas por el MIP, en lugar de hacer aplicaciones de plaguicidas de forma “calendario”, con el fin de prevenir la presencia de plagas. Prevenir lo que no se conoce, solo conduce a los desastres ecológicos, causados por el uso indiscriminado de plaguicidas y a generar altos costos de producción; estas prácticas de manejo, con seguridad crearán crisis económicas y no posibilitará continuar con el cultivo, en forma similar, como aconteció para el algodón en Colombia, considerado el “oro blanco” (Federalgodon, 1990). Ahora, el aguacate es considerado el “oro verde”, que se puede convertir en otro espejismo, como la búsqueda del “dorado”, por los conquistadores.

El manejo de las poblaciones de minadores en este cultivo, después de los desequilibrios generados por el uso indiscriminado de plaguicidas, solo se pudo lograr fomentando la fauna benéfica, suspendiendo las aplicaciones calendario e implementando programas de MIP. Anecdóticamente, se ha escuchado de los agricultores experimentados, “que para tener plagas de minadores solo se requiere aplicar insecticidas”.

A parte de este caso particular, los técnicos y productores no han reportado otro episodio, donde los minadores de hojas del aguacate hayan generado pérdidas económicas; sin embargo, a continuación, se describen una serie de recomendaciones para evitar que se ocasione una explosión de las poblaciones de minadores de hoja del aguacate en el país o en otras zonas productoras del mundo.

-Corroborar las especies de minadores de hojas del aguacate en serpentina en las zonas reportadas en el país y en el nuevo mundo, para asegurar el éxito de la implementación de programas de control biológico, por conservación o por inundación y evitar la diseminación de las diferentes especies de *Phyllocnistis*, en las regiones productoras de aguacate.

-Vigilar y controlar el movimiento de plantas y frutos, para evitar la diseminación de los minadores de hojas a lugares donde los minadores de hoja no se han reportado y evitar que lleguen a zonas con baja presencia de enemigos naturales.

-Determinar el efecto de los insecticidas sobre los enemigos naturales de los minadores de hoja del aguacate, especialmente, de las especies de eulófidos, que son los principales reguladores de los minadores de hoja del orden Lepidoptera (Yefremova & Kravchenko, 2015).

-Mantener franjas o áreas con plantas nativas en el cultivo del aguacate, para favorecer las poblaciones de los enemigos naturales de los minadores de hojas del aguacate, ya que los eulófidos y otros enemigos naturales requieren de refugio y alimento adicional, al brindado por su hospedante, para aumentar su longevidad, producción de huevos y capacidad de búsqueda (Kishinevsky *et al.* 2018). Además, esta práctica, a su vez, es favorable para el mantenimiento de los polinizadores nativos, entre los que se encuentra, una gran diversidad de dípteros, coleópteros, himenópteros, en especial, avispas y abejas sin aguijón Trigonas, Meliponas, *Bombus* o abejas solitarias, que necesitan sitios de anidamiento (Wysoki *et al.* 2002; Peña, 2003; Castañeda-Vildózola *et al.* 1999).

-Además de realizar un uso racional de insecticidas para el control de otras plagas del cultivo de aguacate, se recomienda un uso racional de herbicidas, ya que se ha demostrado que algunos ingredientes activos, como la atrazina, el paraquat y el nicosulfuron, afectan las poblaciones de eulófidos (De Menezes *et al.* 2014).

-Identificar las especies de eulófidos y otros enemigos naturales, asociados a los minadores de hojas del aguacate, determinar cuáles se podrían usar dentro de un plan de control biológico para las

zonas donde las poblaciones de enemigos naturales sea escasa y generar métodos para su cría e implementación.

Un manejo de plagas del aguacate implementando las recomendaciones enunciadas puede llevar a establecer la producción orgánica del cultivo y generar un producto certificado, que puede llegar a tener mayor demanda y mejores precios, en los mercados internacionales.

Es preciso resaltar que el aguacate, al tratarse de una planta perenne, facilita la implementación de sistemas de producción orgánica o con menor uso de insumos, ya que los árboles de aguacate pueden soportar una alta diversidad y abundancia de insectos herbívoros, al presentar defensas físicas y químicas, que los protegen del efecto nocivo de estas especies (Hernández-Cumplido *et al.* 2021). Aunque es necesario evaluar cómo la domesticación del aguacate ha favorecido las poblaciones de minadores de hojas, ya que la mayoría de los reportes de minadores de hojas del aguacate, corresponden a la variedad Hass.

Agradecimientos. Los autores expresan su agradecimiento a María Camila Ovalle y Daniela Cárdenas Alarcón, asistentes técnicos del cultivo de aguacate y a Martha Eugenia Londoño, productora y asistente técnico de aguacate, quienes brindaron información de la distribución del minador de hojas del aguacate en serpentina. A Lucía Pérez Benavides, especialista en microhimenópteros, quien identificó los parasitoides del MHAS y a Donald Davis, especialista de microlepidópteros, quien describió al MHAS, como *Phyllocnistis perseafolia*. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado por los autores, quienes declaran ser los únicos autores y que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

- BRITO, R.; LOPEZ-VAAMONDE, C.; GONCALVES, G.L.; BECKER, V.O.; MIELKE, O.H.H.; MOREIRA, G.R.P. 2017. Taxonomic revision of Neotropical *Phyllocnistis* Zeller, 1848 (Lepidoptera: Gracillariidae), with descriptions of seven new species and host plant associations. *Zootaxa*. 4341(3):301-352. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4341.3.1>
- CÁRDENAS MURILLO, R.; POSADA FLÓREZ, F. 2001. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Comité Departamental de Cafeteros del Quindío (Armenia, Colombia). 250p.
- CASTAÑEDA-VILDÓZOLA, A.; EQUIHUA-MARTÍNEZ, A.; VALDÉS-CARRASCO, J.; BARRIENTOS-PRIEGO, A.F.; ISH-AM, G.; GAZIT, S. 1999. Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5:129-136.
- CONSTANTINO, L.M.; FLÓREZ, J.C.; BENAVIDES, P.; BACCA, T. 2011. Minador de hojas del café. Una plaga

- potencial por efectos del cambio climático. *Avances técnicos Cenicafé*. 409:1-12.
5. DAVIS, D.R.; WAGNER, D.L. 2011. Biology and systematics of the New World *Phyllocnistis* Zeller leafminers of the avocado genus *Persea* (Lepidoptera, Gracillariidae). *ZooKeys*. 97:39-73. <https://doi.org/10.3897/zookeys.97.753>
 6. DE MENEZES, C.W.; SOARES, M.A.; FONSECA, A.J.; DOS SANTOS, J.B.; CAMILO, S.D.S.; ZANUNCIO, J.C. 2014. *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) as an indicator of toxicity of herbicides registered for corn in Brazil. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 74(3):361-365. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000300016>
 7. DE PRINS, J.; ARÉVALO-MALDONADO, H.A.; DAVIS, D.R.; LANDRY, B.; VARGAS, H.A.; DAVIS, M.M.; BRITO, R.; FOCHEZATO, J.; OHSHIMA, I.; MOREIRA, G.R.P. 2019. An illustrated catalogue of the Neotropical Gracillariidae (Lepidoptera) with new data on primary types. *Zootaxa*. 4575(1):1-110. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4575.1.1>
 8. FEDERACION NACIONAL DE ALGODONEROS, FEDERALGODON. 1990. Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colombia. Federación Nacional de Algodoneros. División Técnica Bogotá (Colombia). 714p.
 9. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, FAO. 2019. FAOSTAT Statistical Database of the United Nation Food and Agriculture Organization (FAO) statistical division. Rome. Disponible desde internet en: <http://www.fao.org/faostat/en/#search/avocado> (Con acceso el 08/08/2021).
 10. GAGNÉ, R.J.; POSADA, F.; GIL, Z.N. 2004. A new species of *Bruggmanniella* (Diptera: Cecidomyiidae) aborting young fruit of avocado, *Persea americana* (Lauraceae), in Colombia and Costa Rica. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 106(3):547-553.
 11. GIL P, Z.N.; POSADA F, F.J.; PÉREZ S., M.; CÁRDENAS M., R. 2007. Registro y notas bionómicas de una nueva plaga del aguacate *Laurencella colombiana* (Hemiptera: Margarodidae) en Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 10(2):43-50. <http://dx.doi.org/10.31910/rudca.v10.n2.2007.583>
 12. HERNÁNDEZ-CUMPLIDO, J.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; RUÍZ-RODRÍGUEZ, C.E.; GUEVARA-FEFER, P.; AGUIRRE-PALEO, S.; MIRANDA TREJO, S.; CALLEJAS-CHAVERO, A. 2021. Genotypic variation in plant traits, chemical defenses, and resistance against insect herbivores in avocado (*Persea americana*) across a domestication gradient. *Frontiers in Agronomy*. 2:1-12. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.616553>
 13. HU, B; WANG, S.; ZHANG, J.; LI, H. 2011. Taxonomy and biology of two seedparasitic gracillariid moths (Lepidoptera, Gracillariidae), with description of a new species. *ZooKeys*. 83:43-56. <https://doi.org/10.3897/zookeys.83.783>
 14. KANHAR, K.A.; KANHER, F.M.; PANHWAR, R.; TUNIO, S.A.; SHAIKH, A.M.; HASSAN AWAN, R.R. 2017. Parasitoids associated with mango leaf miner, *Acrocercops syngamma* (Meyrick) Lepidoptera: Gracillariidae in Mango Orchard. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 5(4):1582-1588.
 15. KISHINEVSKY, M.; COHEN, N.; CHIEL, E.; WAJNBERG, E.; KEASAR, T. 2018. Sugar feeding of parasitoids in an agroecosystem: effects of community composition, habitat and vegetation. *Insect Conservation and Diversity*. 11(1):50-57. <https://doi.org/10.1111/icad.12259>
 16. KONDO, T.; MUÑOZ, J.A. 2016. Scale insects (Hemiptera: Coccoidea) associated with avocado crop, *Persea americana* Mill. (Lauraceae) in Valle del Cauca and neighboring departments of Colombia. *Insecta Mundi*. 465:1-24.
 17. KUMATA, T.; KUROKO, H.; ERMOLAEV, V.P. 1988. Japanese species of the *Acrocercops*-group (Lepidoptera: Gracillariidae) Part I. *Insecta Matsumurana. Series Entomology. New Series*. 38:1-111.
 18. LEE, S.; KIM, D.S.; KIM, I.K.; CHOI, C.W.; HWANG, R.; KU, D.S.; BYUN, B.K. 2017. Indigenous parasitoids as effective natural enemies of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Korea. *Journal of Forestry Research*. 28(1):183-187. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0304-4>
 19. LEÓN, G.; CAMPOS, J. 1999. Fluctuación poblacional del minador de los cítricos *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) en el piedemonte del departamento del Meta. *Revista Colombiana de Entomología*. 25(3-4):147-150.
 20. LONDOÑO, M.E. 2020. Manejo integrado de *Monalonia vlezangeli* en aguacate. 2da reimpresión. Agrosavia. Mosquera, Colombia. 20p. Disponible desde Internet en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1931/Ver_Documento_1931.pdf?sequence=1&isAlloved=y (con acceso el 01/07/2021)
 21. PEÑA, J.E. 2003. Insectos polinizadores de frutales tropicales: no solo las abejas llevan la miel al panal. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. 69:6-20.

-
22. POSADA OCHOA, L.M. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia (No. L-0071). Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.
23. RUBIO G., J.D.; POSADA F., F.J.; OSORIO L., Ó.I.; VALLEJO E., L.F.; LÓPEZ N., J.C. 2009. Primer registro de *Heilipus elegans* Guérin-Méneville (Coleoptera: Curculionidae) atacando el tallo de árboles de aguacate en Colombia. Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 12(1):59-68. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n1.2009.642>
24. SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD INOCUIDAD Y CALIDAD AGROELIMENTARIA, SENASICA. 2018. Manual de identificación de las principales plagas del aguacate en México. Tecámac, México. 32p.
25. VÉLEZ-ÁNGEL, R.; MADRIGAL CARDEÑO, J.A.; MORALES, G. 1982. Biología, hábitos y hospedantes del minador del crisantemo. Revista Colombiana de Entomología. 6:21-36.
26. WYSOKI, M.; VAN DEN BERG, M.A.; ISH-AM, G.; GAZIT, S.; PEÑA, J.E.; WAITE, G.K. 2002. Pests and pollinators of avocado. In: Peña, J.E.; Sharp, J.L.; Wysoki, M. Tropical fruit pests and pollinators: biology, economic importance, natural enemies and control. p.223-293.
27. YEFREMOVA, Z.A.; KRAVCHENKO, V.D. 2015. Interactions among host plants, lepidoptera leaf miners and their parasitoids in the forest-steppe zone of russia (Insecta: Lepidoptera, Hymenoptera). SHILAP Revista de Lepidopterología. 43(170):271-280.
28. ZENNER DE POLANIA, I. 1986. Guía general de manejo de plagas en el cultivo de la papa. Instituto Colombiano Agropecuario (Bogotá). 36p.



Evaluación agronómica de líneas de arroz de sabana (*Oryza sativa* L.) obtenidas mediante mejoramiento poblacional por selección recurrente

Agronomic evaluation of lines of sabana rice (*Oryza sativa* L.) obtained by population improvement with recurrent selection

Hernando Delgado-Huertas¹; Amanda Silva-Parra²; Luis Alfonso Guarín-Gutierrez³

¹Ing. Agrónomo, M.Sc. Universidad de los Llanos, Grupo de Investigación ISAF. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: hdelgado@unillanos.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-2627-7174>

²Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de los Llanos. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: asilvap@unillanos.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9872-790X>

³Ing. Agrónomo, M.Sc. Universidad de los Llanos. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: lguarin@unillanos.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-7924-4726>

Cómo citar: Delgado-Huertas, H.; Silva-Parra, A.; Guarín-Gutierrez, L.A. 2021. Evaluación agronómica de líneas de arroz de sabana (*Oryza sativa* L.) obtenidas mediante mejoramiento poblacional por selección recurrente. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1707. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1707>

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

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

Recibido: septiembre 7 de 2020

Aceptado: junio 25 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Los métodos clásicos de mejoramiento han estrechado la base genética del arroz. La selección recurrente (SR) permite el mejoramiento de una población, mediante la piramidación de alelos favorables de diversos donantes y de origen genético diverso. Ha sido usada en Colombia por CIAT/CIRAD, para el desarrollo y el mejoramiento del acervo genético del arroz *Oryza sativa* L., tipo Japonica Tropical de secano en sabanas ácidas. Se evaluaron en bloques completos al azar, con tres repeticiones, 50 líneas avanzadas junto con el testigo comercial Corpoica Llanura 11. Se observó diferencia significativa entre líneas de arroz para las variables dependientes rendimiento de grano, días a floración, vigor e incidencia de *Pyricularia* en hojas y cuello, así como manchado de grano. Las líneas 39 y 37, de la población PCT-11, presentaron los

mayores rendimientos, con 6,471 y 6,192 kg ha⁻¹, respectivamente, diferentes significativamente del testigo y de nueve líneas de ciclo tardío de la población PCT-4, que presentaron rendimientos muy bajos. Especialmente, la línea 39, mostró menor incidencia del hongo *Pyricularia* en hojas, que el testigo comercial Corpoica Llanura 11. Los presentes resultados muestran la utilidad de la SR en arroz de sabanas, para generar líneas superiores en rendimiento, en resistencia a enfermedades, en adaptación a las sabanas ácidas y el potencial para contribuir a la diversificación de su base genética.

Palabras clave: Genotipo; Ambiente; Adaptación; Rendimiento; Sanidad.

ABSTRACT

The classical breeding methods have narrowed the genetic base of rice. The pedigree method with a limited number of elite and genetically related parents, can reduce variability in long term studies. The development of populations with a broad genetic base and the use of breeding methods that allow the continuous accumulation of favorable alleles could overcome these disadvantages. Recurrent selection (SR) allows the improvement of a population through the pyramiding of favorable alleles of diverse donors and of diverse genetic origin. It has been used in Colombia by CIAT/CIRAD for the development and improvement of the genetic stock of *Oryza sativa* L. rice, a tropical rain-fed Japonica type in acid savannas. They were evaluated in complete blocks at random with three repetitions, 50 advanced lines of this project, together with the commercial control Corpoica Llanura 11. There was a significant difference between rice lines for the dependent variables grain yield, days to flowering, vigor and incidence of *Pyricularia* in leaves and spotted of grain. Lines 39 and 37 of the PCT-11 population presented the highest yields, with 6.471 and 6.192 kg ha⁻¹, respectively, significantly different from the control and nine late cycle lines of the PCT-4 population, which presented very low yields. Especially line 39 showed a lower incidence of the *Pyricularia* fungus on leaves than the commercial control Corpoica Llanura 11. The present results and others obtained in Colombia and Brazil, show the utility of SR in savanna rice to generate superior lines in yield, resistance to diseases, adaptation to acid savannas and the potential to contribute to the diversification of the genetic base.

Keywords: Genotype; Environment; Adaptation; Yield; Plant health.

INTRODUCCIÓN

Los métodos clásicos de mejoramiento han conducido a que se estreche la base genética del arroz (*Oryza sativa* L.) (Cuevas-Perez *et al.* 1992; Rangel *et al.* 1996; Montalvan *et al.* 1998). Métodos, como el de pedigrí, generalmente, involucran en su cruce un número limitado de progenitores élite, con frecuencia relacionados genéticamente y con riesgo a largo plazo de reducción de la variabilidad. El desarrollo de poblaciones con amplias bases genéticas y el uso de métodos de mejoramiento, que permitan la acumulación continua de alelos favorables, podrían superar estas desventajas. La selección recurrente (SR), se puede ajustar al mejoramiento de una población, mediante la eficiente pirámide de diferentes alelos favorables, de diversos donantes (Xu & Ali, 2014; Gazal *et al.* 2016; Herawati *et al.* 2017b).

Se han desarrollado varios grupos de genes y de poblaciones, que se han utilizado como base genética para la SR, en diferentes países de América Latina, como Brasil, Chile y Colombia y, en varios países africanos, como Costa de Marfil, Mal y Madagascar (Das, 2018).

La creación de poblaciones con amplia base genética y su mejoramiento a través de SR, ha sido usada desde 1996, en Colombia, por CIAT/CIRAD, para el desarrollo y el mejoramiento

del acervo genético del arroz, tipo Japonica Tropical, de tierras altas o de secano en sabanas ácidas. Mediante el uso de un gen recesivo de esterilidad masculina (*ms*), de un mutante de IR36 (Singh & Ikehashi, 1981), se facilitó el desarrollo y la mejora de las poblaciones de arroz. El programa comenzó con el desarrollo de una población base, a través del cruce de, aproximadamente, 60 accesiones fundadoras complementarias. Dicha población, se recombinó varias veces, para generar un gran número de recombinantes, lo que condujo a una población sintética de desequilibrio de ligamiento bastante bajo, dotado de suficiente variabilidad genética, para la selección futura (Grenier *et al.* 2015). Plantas fértiles, se seleccionan de las poblaciones compuestas básicas en cada paso de mejoramiento por SR y son el punto de partida para la selección de progenies segregantes, por el método de pedigrí convencional y la identificación de líneas fijas promisorias (Chatel & Guimaraes, 2000; Chatel *et al.* 2008; Chatel *et al.* 2010). Si se explora la amplia variabilidad genética presente en esas poblaciones, resultarán variedades de base genética distinta de las que están hoy disponibles en el mercado latinoamericano (Chatel *et al.* 2010).

El mejoramiento de poblaciones por SR es eficiente para mejorar características cuantitativas y de baja heredabilidad. Además, permite romper los bloques de ligamiento génico que, en el arroz, se constituyeron durante muchos años de selección-autofecundación y liberar variabilidad genética, mediante ciclos sucesivos de cruzamientos, o sea, por las recombinaciones (Chatel *et al.* 2010). En otras palabras, este método es un procedimiento de recopilación de los caracteres deseados de una combinación de cruces con algunos cruces continuos de segregantes seleccionados, para obtener una mejor población que la anterior. Se ha utilizado en especies de plantas para mejorar el rendimiento, alterar la calidad de las semillas o de las plantas, aumentar la resistencia a las plagas y mejorar la tolerancia al medio ambiente (Abdullah, 2009; Hallauer *et al.* 2010; Berilli *et al.* 2013; Morais Junior *et al.* 2015; Gazal *et al.* 2016; Herawati *et al.* 2017a; Herawati *et al.* 2017b).

Actualmente, en China, se cuenta con otra nueva fuente de esterilidad masculina, en este caso, dominante, introducida en el fondo genético del cultivar de arroz “Jiabuyu”, que también puede ser usada en el mejoramiento por SR en arroz, haciendo más eficiente la recombinación, en comparación con la androestereilidad recesiva usada anteriormente y, en Colombia, por CIAT/CIRAD, dado que las plantas androestériles pueden estar en una frecuencia de 50 %, en la primera generación. Además, la planta androfértil es homocigota, por lo que se pueden usar directamente como materiales de mejora, para la detección de rasgos. La población de SR desarrollada, a través de un solo material androestéril dominante, tiene las características ventajosas de cultivos de polinización cruzada y cultivos autopolinizados (Pang *et al.* 2017). También, Ansari *et al.* (2017), mediante silenciamiento génico por RNAi y transformación mediada por *Agrobacterium*, obtuvieron plantas enanas androestériles, para utilizar en SR en arroz.

Las variedades mejoradas de los denominados arroces de sabana en Colombia (*Oryzica* Sabana 6, *Oryzica* Sabana 10

y CORPOICA Lanura 11), han sido obtenidas, hasta ahora, mediante mejoramiento convencional y selección por pedigrí, por el trabajo colaborativo de ICA, CORPOICA (hoy Agrosavia) y CIAT/CIRAD, en un programa de mejoramiento específico de adaptación a la alta acidez y concentración de Al intercambiable de las sabanas bien drenadas del piedemonte y de la altillanura plana del Meta, pues, a este ecosistema, no se adaptaban las variedades mejoradas obtenidas para los sistemas de riego por inundación y de secano favorecido en suelos aluviales; provienen de cruzamientos de progenitores africanos, de Brasil, México y Colombia. Son variedades que toleran la acidez y la toxicidad por aluminio de las sabanas, requiriendo cal dolomita, en dosis bajas de 300 kg ha⁻¹; su tipo de planta es de porte más alto que las variedades para riego, con tallos flexibles resistentes al volcamiento; ciclos precoces de 85 a 110 días, adecuados para rotaciones; un sistema radical grueso y profundo, adaptado al ecosistema de secano en sabanas; resistencia al hongo *Pyricularia grisea* y adecuada calidad molinera y culinaria. Se han utilizado en el sistema arroz-pastos para establecer pasturas mejoradas, en sistemas rotacionales con soya y maíz y en sistemas agroforestales, como cultivo intercalado en los primeros años de establecimiento de la especie perenne (Delgado & Aristizábal, 2002; Delgado *et al.* 2004).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la adaptación agronómica preliminar de 50 líneas avanzadas de arroz de sabana, provenientes del proyecto de mejoramiento genético poblacional por SR de CIAT/CIRAD, a las condiciones de un suelo de sabana ácida, en terraza alta de Villavicencio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El experimento, se sembró en el segundo semestre, el 24 de agosto de 2017, en un suelo de sabana ácida, de la Granja Barcelona, de la Universidad de los Llanos en Villavicencio, con coordenadas 4°04'47" N y 73°17'35" O, altitud de 423 m s.n.m., con 27 °C de temperatura promedio anual, 85 % de humedad relativa y una precipitación promedio anual de 3.500 mm, con un régimen bimodal de lluvias.

Material vegetal. Se realizó evaluación agronómica de 50 líneas avanzadas del proyecto de selección recurrente para secano en sabanas ácidas, proporcionadas por CIRAD/CIAT (Palmira) y el testigo comercial Corpoica Llanura 11, también conocido como Línea 30 o CIRAD 409 (Tabla 1), una variedad mejorada para sabanas ácidas, obtenida por cruzamientos y selección pedigrí convencionales (Delgado *et al.* 2004).

Diseño experimental. Bloques completos al azar, con tres repeticiones. Unidad experimental parcela de 3 surcos, sembrados a chorrillo manual, cada uno de 3 m de longitud y 0,2 m de distancia entre surcos, para un área experimental por línea de 2,4 m².

Manejo agronómico. Control químico de malezas, se aplicó Tiobencarbo en preemergencia (4,0 Lha⁻¹); postemergente temprano (Propanil 4,0 + Tiobencarbo 2,5 Lha⁻¹). Fertilización: se aplicó fertilización equivalente a 100 kg de P₂O₅, 100 kg de K₂O y

100 kg de N ha⁻¹. El P y la mitad del K, a la siembra al fondo del surco, la otra mitad del K con la primera aplicación de N. El N en banda, fraccionado en tres aplicaciones (al inicio del macollamiento, al máximo del mismo y al inicio del primordio floral). Las dosis, se calcularon según niveles críticos de nutrientes en análisis químico del suelo.

Variables evaluadas. Con base en las escalas del sistema de evaluación estándar para arroz (Rosero, 1983), se evaluaron las características agronómicas: vigor, días a floración y rendimiento y el daño por las enfermedades más limitantes en la zona: Piricularia en la hoja (*Pyricularia grisea*), Helminthosporiosis (*Helminthosporium oryzae*), Escaldado de la hoja (*Rhynchosporium oryzae*), Manchado del Grano (Complejo de hongos) y Piricularia en el Cuello de la Panícula (*Pyricularia grisea*).

Análisis estadístico. Los datos obtenidos de todas las variables evaluadas fueron sometidos, mediante el programa INFOSTAT, a análisis de varianza y se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey, para las variables que mostraron diferencias estadísticas en el Anava.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza (Tabla 2), se observó diferencia significativa entre líneas de arroz ($p < 0,01$), para las variables dependientes rendimiento de grano (REND), días a floración (FLO), vigor y manchado de grano (MGRA). La incidencia del patógeno *Pyricularia* en hojas presentó diferencia significativa entre líneas ($p < 0,05$).

La incidencia de *Pyricularia* en cuello de panículas (PC), Helminthosporiosis (HELM) y escaldado de las hojas (ESC) por *Rhynchosporium oryzae*, fue baja y sin diferencia significativa entre las líneas evaluadas (Tabla 3).

Seis líneas (identificadas con los números de orden 39, 37, 34, 48, 36 y 23) y provenientes de la población PCT-11, presentaron los mayores rendimientos de grano, superiores a 6.000 kg ha⁻¹. El mayor rendimiento lo presentó la línea 39, con 6,471 kg ha⁻¹, diferente significativamente de la variedad testigo Corpoica Llanura 11 (2.510 kg ha⁻¹) y de 9 líneas de ciclo tardío, todas ellas originadas en la población PCT-4, que presentaron rendimientos muy bajos, mostrando su baja adaptación agronómica al ambiente de sabanas ácidas; sin embargo, una línea de la población PCT-4, la número 22, con rendimiento de 4.751 kg ha⁻¹, sin diferencia significativa de la mejor línea, presentó un adecuado comportamiento. El rendimiento de la variedad testigo pudo estar afectado por bajo vigor germinativo de su semilla (Tabla 3).

Chatel *et al.* (2008) reportaron también que una línea extraída del primer ciclo de selección recurrente de la población PCT-4, rindió un 35 % más y mostró la misma precocidad y buena adaptación que el mejor testigo comercial, la Línea 30, desarrollada por cruces convencionales.

Tabla 1. Listado de líneas avanzadas de arroz de sabanas evaluadas. Villavicencio. 2017 B.

Nº de línea	Designación
1	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>16 -5 -3 -2 -M
2	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>17 -1 -1 -1 -M
3	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>17 -1 -2 -1 -M
4	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>17 -1 -2 -2 -M
5	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>17 -1 -2 -3 -M
6	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>17 -1 -2 -4 -M
7	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>17 -3 -1 -2 -M
8	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>17 -3 -1 -3 -M
9	PCT -4 \SA \1 \1,Bo \6 \1>17 -4 -1 -2 -M
10	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>5 -1 -2 -3 -M
11	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>5 -1 -3 -1 -M
12	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>5 -1 -3 -2 -M
13	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>5 -1 -3 -3 -M
14	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>17 -2 -3 -2 -M
15	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>17 -2 -3 -3 -M
16	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>17 -3 -1 -3 -M
17	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>17 -4 -1 -2 -M
18	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>17 -5 -4 -1 -M
19	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>17 -5 -4 -2 -M
20	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \1 \1>17 -5 -4 -3 -M
21	PCT -4 \SA \8 \1>19 -1 -1 -2 -1 -M
22	PCT -4 \SA \8 \1>19 -1 -1 -2 -3 -M
23	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -1 -1 -2 -M
24	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -1 -1 -3 -M
25	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -1 -1 -4 -M
26	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -1 -1 -6 -M
27	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -1 -1 -9 -M
28	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -2 -2 -2 -M
29	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -2 -2 -3 -M
30	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -2 -2 -6 -M
31	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -2 -8 -1 -M
32	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -3 -2 -3 -M
33	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -3 -4 -1 -M
34	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -3 -6 -5 -M
35	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -4 -2 -1 -M
36	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -4 -2 -4 -M
37	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -4 -8 -2 -M
38	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -4 -10 -1 -M
39	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -8 -5 -1 -M
40	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -10 -7 -4 -M
41	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -10 -8 -1 -M
42	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -10 -8 -3 -M
43	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \4 \1>8 -1 -10 -8 -7 -M
44	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \5 \1>56 -2 -1 -3 -6 -M
45	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \5 \1>80 -3 -4 -2 -2 -M
46	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \5 \1>80 -3 -4 -2 -3 -M
47	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \5 \1>102 -2 -1 -3 -3 -M
48	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \5 \1>102 -2 -1 -3 -4 -M
49	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \5 \1>92 -1 -5 -6 -3 -M
50	PCT -11 \0 \0 \2,Bo \5 \1>92 -3 -2 -2 -2 -M
51 (T.)	CORPOICA Llanura 11, Línea 30 o CIRAD 409

Tabla 2. Media cuadrática para las variables *Pyricularia* en Hojas -PHOJAS-; *Pyricularia* en cuello de panículas -PC-; manchado de granos -MGRA-; Helminthosporiosis -HELM-; escaldado en hojas -ESC-; vigor vegetativo -VIGOR-; días a floración -DFLO- y rendimiento -REND-, en 51 líneas de arroz, evaluadas en un suelo de sabana ácida. Villavicencio, 2017B.

Fuente de variación	Grados de libertad	PHOJAS	PC	MGRA	HELM	ESC	VIGOR	DFLO	REND
Bloques	2	0,55	2,38	3,24	21,36**	0,12	11,61**	92,20*	4679344,99*
Líneas	50	0,68*	0,87	5,90**	0,75	1,00	3,24**	159,29**	10584023,91**
Error	100	0,36	1,02	1,44	0,72	0,91	1,05	11,29	1186570,53
Total	152								

*Significativo al nivel del 5 % **Significativo al nivel del 1 %

Respecto de la evaluación de las enfermedades más limitantes en la zona, en cuanto a *Pyricularia* en hojas, se presentó diferencia significativa entre líneas (Tabla 2). Todas las seis líneas de mejor desempeño en rendimiento de grano de la población PCT-11 y la línea 22 de PCT-4, presentaron incidencias bajas de *Pyricularia* en hojas y menores al testigo comercial Corpoica Llanura 11 (Tabla 3), el cual, por haberse sembrado comercialmente desde hace más de diez años, presenta una mayor incidencia de dicho patógeno.

En cuanto a la incidencia de manchado de grano y el vigor vegetativo, las líneas de mayores rendimientos presentaron buen comportamiento y sin diferencia significativa con el testigo comercial. Por el contrario, las 9 líneas más tardías de la población PCT-4 presentaron bajo vigor vegetativo y alta incidencia de manchado de grano (Tabla 3), favorecido por alta esterilidad de los mismos.

Respecto a la precocidad de las líneas, el testigo comercial Corpoica Llanura 11, presentó la mayor precocidad con 60 días a floración (Tabla 3). Ninguna de las líneas en evaluación igualó esta destacada característica, que favorece la siembra de otro cultivo de rotación, durante el año agrícola (Delgado & Aristizábal, 2002). Las líneas de la población PCT-11, con mayor rendimiento de grano de las evaluadas, presentaron floraciones cercanas a los 65 días (Tabla 3), siendo también precoces y de adecuado rendimiento.

La línea 47 que visualmente presentó buen fenotipo de planta en estado vegetativo y baja incidencia de enfermedades, obtuvo un rendimiento de 5.009 kg ha⁻¹, sin diferencia significativa de las líneas de mayor rendimiento y presentó buena precocidad y vigor (Tabla 3).

En trigo, la SR fue usada exitosamente para la obtención de genotipos excepcionalmente vigorosos, con altas variaciones genéticas y heredabilidades para el ancho y el área total de la hoja en cada ciclo (Zhang *et al.* 2015).

Morais Júnior *et al.* (2017a), utilizaron la población de arroz de riego genéticamente amplia, CNA12S, en tres ciclos de selección, manteniéndose la variabilidad genética durante los ciclos. La ganancia genética promedio por año fue de 1,98 %,

para el rendimiento de grano y -1,29 %, para días a floración y se aumentó el potencial genético de la población, para la extracción de líneas superiores, mostrando la efectividad del método de SR, en el mejoramiento de arroz de riego.

De forma similar en Brasil, después de cuatro ciclos de SR, en la población CNA6 de arroz de tierras altas, aumentaron efectivamente el potencial genético de la población, para generar líneas endogámicas superiores, para rendimiento de grano y altura de planta, manteniendo el potencial genético para los días a floración y mostrando la efectividad de la selección recurrente en arroz de secano en sabanas ácidas (Morais Júnior *et al.* 2015; Morais Júnior *et al.* 2017b).

También, Herawati *et al.* (2017b) evaluaron y seleccionaron por SR, el comportamiento a estrés por sequía, de 180 líneas de arroz de tierras altas en estado de plántula, mostrando 53 líneas tolerantes, 99 moderadamente tolerantes y 28 susceptibles, comprobando la efectividad de la SR, para el mejoramiento de la tolerancia a sequía en arroz de sabanas.

Los resultados del presente trabajo muestran la utilidad de la SR para generar nuevas líneas superiores en rendimiento de grano, resistencia a enfermedades, adaptación y para contribuir a la diversificación de la base genética del arroz en las sabanas ácidas de los Llanos. Las líneas seleccionadas y otras provenientes del mismo programa de SR, se deberán seguir evaluando en sabanas de la altillanura plana, para la futura obtención de nuevas variedades mejoradas, con mayor estabilidad en su comportamiento agronómico, gracias a su mayor variabilidad genética incorporada.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Esta investigación fue financiada por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad de los Llanos, Código C05-F01-027-2016.

Tabla 3. Diferencias de medias (P. de Tukey), para las variables con diferencia significativa entre líneas en el Anava. 2017 B.

LÍNEA	RENDIMIENTO	PHOJAS	MGRA	VIGOR	DFLO
39	6470,84 A	1,00 B	1,67 CD	2,33 AB	65,67 CDE
37	6192,27 A	1,67 AB	2,33 BCD	3,00 AB	64,67 DE
34	6178,16 AB	1,67 AB	2,33 BCD	3,00 AB	66,00 CDE
48	6092,67 AB	1,00 B	2,33 BCD	3,00 AB	66,00 CDE
36	6077,63 AB	1,00 B	2,33 BCD	3,00 AB	64,67 DE
23	6071,95 AB	1,00 B	1,67 CD	4,33 AB	65,00 DE
32	5817,83 AB	1,00 B	1,67 CD	3,00 AB	65,33 DE
29	5620,58 AB	1,67 AB	3,00 ABCD	3,67 AB	66,00 CDE
25	5403,58 AB	1,67 AB	2,33 BCD	4,33 AB	64,67 DE
33	5315,87 AB	1,00 B	1,67 CD	3,00 AB	67,00 CDE
26	5280,05 AB	1,00 B	3,00 ABCD	3,67 AB	68,00 CDE
45	5265,67 AB	1,00 B	2,33 BCD	2,33 AB	64,67 DE
24	5137,70 AB	1,00 B	3,00 ABCD	3,67 AB	65,33 DE
30	5118,09 AB	1,67 AB	3,00 ABCD	3,67 AB	68,67 CDE
28	5117,70 AB	1,00 B	1,67 CD	3,00 AB	70,00 CDE
12	5071,75 AB	1,00 B	3,67 ABCD	1,67 B	66,33 CDE
47	5008,88 AB	1,00 B	1,00 D	2,33 AB	63,67 DE
35	4980,71 AB	1,00 B	1,67 CD	3,67 AB	66,00 CDE
50	4973,91 AB	1,00 B	2,33 BCD	2,33 AB	67,00 CDE
43	4933,00 AB	1,67 AB	3,00 ABCD	3,00 AB	66,67 CDE
31	4771,88 AB	1,00 B	1,67 CD	3,00 AB	66,33 CDE
22	4751,04 AB	1,67 AB	1,67 CD	2,33 AB	71,67 BCD
27	4713,72 AB	1,67 AB	2,33 BCD	3,67 AB	68,33 CDE
40	4684,63 AB	1,67 AB	3,00 ABCD	3,67 AB	64,33 DE
38	4631,43 AB	2,33 AB	2,33 BCD	3,67 AB	69,00 CDE
41	4564,96 AB	1,00 B	2,33 BCD	3,00 AB	67,67 CDE
46	4487,31 AB	1,00 B	3,00 ABCD	2,33 AB	64,67 DE
44	4472,80 AB	1,00 B	2,33 BCD	3,67 AB	69,00 CDE
42	4369,27 ABC	1,00 B	3,00 ABCD	3,67 AB	69,00 CDE
15	4115,29 ABCD	1,00 B	1,67 CD	3,00 AB	69,00 CDE
49	4104,11 ABCDE	1,00 B	1,67 CD	3,00 AB	66,00 CDE
17	3960,71 ABCDEF	1,00 B	1,67 CD	3,00 AB	67,00 CDE
11	3797,25 ABCDEFG	1,00 B	1,67 CD	1,67 B	68,33 CDE
18	3548,49 ABCDEFG	1,00 B	1,67 CD	2,33 AB	65,67 CDE
19	3523,33 ABCDEFG	1,00 B	2,33 BCD	3,67 AB	66,33 CDE
13	3413,39 ABCDEFG	1,00 B	2,33 BCD	3,67 AB	64,67 DE
20	3252,28 ABCDEFG	1,00 B	2,33 BCD	3,67 AB	68,33 CDE
16	3183,91 ABCDEFG	1,67 AB	1,00 D	5,00 AB	70,00 CDE
14	3159,67 ABCDEFG	1,67 AB	3,00 ABCD	3,00 AB	67,67 CDE
10	3158,49 ABCDEFG	1,00 B	3,00 ABCD	3,67 AB	72,00 BCD
21	2967,58 ABCDEFG	1,67 AB	3,00 ABCD	3,00 AB	72,00 BCD
51 (I.)	2510,19 BCDEFG	3,67 A	1,67 CD	5,00 AB	59,67 E
07	754,97 CDFG	1,00 B	6,33 AB	5,00 AB	83,67 A
06	635,82 DEFG	1,00 B	6,67 A	5,00 AB	85,67 A
08	430,98 EFG	1,00 B	5,67 ABC	5,67 A	85,00 A
04	383,01 FG	1,00 B	5,00 ABCD	5,00 AB	86,00 AB
09	344,64 FG	1,00 B	5,67 ABC	5,67 A	87,67 A
03	307,25 FG	1,00 B	5,00 ABCD	3,67 AB	85,67 ABC
02	291,57 FG	1,00 B	5,33 ABC	5,00 AB	83,00 ABCDE
01	277,32 G	1,00 B	5,00 ABCD	5,67 A	77,00 ABCDEF
05	263,01 G	1,00 B	5,00 ABCD	5,67 A	87,67 A

REFERENCIAS

1. ABDULLAH, B. 2009. Progress of rice improvement through recurrent selection. *J. Agron. Indonesia*. 37(3):188-193.
2. ANSARI, A.; WANG, C.; WANG, J.; WANG, F.; LIU, P.; GAO, Y.; TANG, Y.; ZHAO, K. 2017. Engineered dwarf male-sterile rice: A promising genetic tool for facilitating recurrent selection in rice. *Front. Plant Sci.* 8(2132):1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02132>
3. BERILLI, A.P.C.G.; PEREIRA, M.G.; TRINDADE, R.D.S.; COSTA, F.R.D.; CUNHA, K.S.D. 2013. Response to the selection in the 11th cycle of reciprocal recurrent selection among full-sib families of maize. *Acta Scientiarum, Agron.* 35:435-441. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i4.17489>
4. CHATEL, M.; GUIMARAES, E.P. 2000. Catalogue registration to manage rice gene pools and population improvement. Proyecto CIRAD/CIAT. Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-Departement des cultures annuelles (CIRAD-CA) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 75p.
5. CHATEL, M.; GUIMARAES, E.P.; OSPINA, Y.; RODRIGUEZ, F.; LOZANO, V.H. 2010. Mejoramiento de poblaciones de arroz de secano empleando selección recurrente y desarrollo de variedades. En: Degiovani, V.; Martinez, C.P.; Motta, F. (eds). *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina*. (Tomo I, capítulos 1-24.) Publicación CIAT, Cali. N° 365. 487p.
6. CHATEL, M.; OSPINA, Y.; RODRIGUEZ, F.; LOZANO, V.H.; DELGADO, H. 2008. Upland rice composite population breeding and selection of promising lines for colombian savannah ecosystem. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*. 38(1):1-5.
7. CUEVAS-PEREZ, F.E.; GUIMARAES, E.P.; BERRÍO, L.E.; GONZALES, D.I. 1992. Genetic base of irrigated rice in Latin America and the Caribbean, 1971 to 1989. *Crop Science*. 32:1054-1059. <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200040044x>
8. DAS, S.R. 2018. Conventional breeding approaches for enhancing yield potential of rice. *Oryza*. 55(Special Issue):1-17. <https://doi.org/10.5958/2249-5266.2018.00001.2>
9. DELGADO, H.; ARISTIZÁBAL, D. 2002. Potencialidad de una línea promisoría de arroz de alta precocidad para suelos ácidos de los Llanos Orientales. *Fitotecnia Colombiana*. 2(1):47-59.
10. DELGADO, H.; CHATEL, M.; OSPINA, Y. 2004. Llanura 11, nueva variedad de arroz para el ecosistema de sabana en la altillanura colombiana. *Fitotecnia Colombiana*. 4(2):8-11.
11. GAZAL, A.; DAR, Z.A.; WANI, S.H.; LONE, A.A.; SHIKARI, A.B.; ALL, G.; ABIDI, I. 2016. Molecular breeding for enhancing resilience against biotic and abiotic stress in major cereals. *SABRAO J. Breeding and Genetics*. 48(1):1-32.
12. GRENIER, C.; CAO, T.V.; OSPINA, Y.; QUINTERO, C.; CHATEL, M.H.; TOHME, J.; COURTOIS, B.; AHMADI, N. 2015. Accuracy of genomic selection in a rice synthetic population developed for recurrent selection breeding. *PLoS ONE*. 10(8):1-25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136594>
13. HALLAUER, A.R.; FILHO, J.B.M.; CARENA, M.J. 2010. Germplasm. In: *Quantitative Genetics in Maize Breeding. Handbook of Plant Breeding*, vol 6. Springer, New York, NY.
14. HERAWATI, R.; INORIAH, E.; RUSTIKAWATI; MUKHTASAR. 2017a. Genetics diversity and characters agronomic of F3 lines selected by recurrent selection for drought tolerance and blast resistance of Bengkulu local rice varieties. *IJASEIT*. 7(3):922-927. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.3.1641>
15. HERAWATI, R.; MASDAR; GANEFIANTI, D.Y.; HERMAWAN, B.; ALNOPRI. 2017b. Screening and identification of upland rice lines derived recurrent selection for drought tolerance. *IJASEIT*. 7(6):2322-2327. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.6.2955>
16. MONTALVAN, R.; DESTRO, D.; DA SILVA E.F.; MONTAÑO, J.C. 1998. Genetic base of Brazilian upland rice cultivars. *J. Genetic Breeding*. 52:203-209.
17. MORAIS JÚNIOR, O.P.; MELO, P.G.S.; MORAIS, O.P.; CASTRO, O.P.; BRESEGHELLO, F.; UTUMI, M.M.; PEREIRA, J.A.; WRUCK, F.J.; FILHO, J.M.C. 2015. Genetic progress after cycles of upland rice recurrent selection. *Sci. Agric*. 72(4):297-305. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0137>
18. MORAIS JÚNIOR, O.P.; BRESEGHELLO, F.; DUARTE, J.B.; MORAIS, O.P.; RANGEL, P.H.N.; COELHO, A.S.G. 2017a. Effectiveness of recurrent selection in irrigated rice breeding. *Crop Science*. 57(6):3043-3058. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.05.0276>
19. MORAIS JÚNIOR, O.P.; MELO, P.G.S.; MORAIS, O.P.; FILHO, J.M.C. 2017b. Genetic variability during four cycles of recurrent selection in rice. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52(11):1033-1041. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017001100009>

20. PANG, Y.; CHEN, K.; WANG, X.; XU, J.; ALI, J.; LI, Z. 2017. Recurrent selection breeding by dominant male sterility for multiple abiotic stresses tolerant rice cultivars. *Euphytica*. 213(article 268):13.
<https://doi.org/10.1007/s10681-017-2055-5>
21. RANGEL, P.H.N.; GUIMARAES, E.P.; NEVES, P. DE C.F. 1996. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 31(5):349-357.
22. ROSERO, M. 1983. Sistema de Evaluación Estandar para Arroz. Segunda Edición. Centro Internacional De Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. 61p.
23. SINGH, R.J.; IKEHASHI, H.I. 1981. Monogenic male-sterility in rice: Introduction, identification and inheritance. *Crop Science*. 21:286-289.
<https://doi.org/10.2135/CROPSCI1981.0011183X002100020020X>
24. XU, J.L.; ALI, J. 2014. Connecting rice germplasm to plant breeding: Backcrossing for allele mining and recurrent selection for allele pyramiding through molecular marker technology. *Adv. Crop Sci. Tech.* 2:e114.
<https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000e114>
25. ZHANG, L.; RICHARDS, R.A.; CONDON, A.G.; LIU, D.C.; REBETZKE, G.J. 2015. Recurrent selection for wider seedling leaves increases early biomass and leaf area in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Experimental Botany*. 66(5):1215-1226.
<https://doi.org/10.1093/jxb/eru468>



Evaluación de fuentes de variación en pruebas multi-ambientes para rendimiento y sus componentes en algodón

Evaluation of sources of variation in multi-environment tests for yield and its components in cotton

Hernando Alberto Araújo-Vázquez¹; Miguel Mariano Espitia-Camacho^{2*}; Milton Edinson Buelvas-Guzmán³; María Camila Muñoz-Puche⁴; Hermes Araméndiz-Tatis⁵

¹Ing. Agrónomo, M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -AGROSAVIA-, C.I. Turipaná. Cereté - Córdoba, Colombia; e-mail: haraujo@agrosavia.co;  <https://orcid.org/0000-0003-3679-3973>

²Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: mmespitia@correo.unicordoba.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0001-7382-9643>

³Ing. Agrónomo, Profesional independiente. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: miltonbgmiltonbg@gmail.com;  <https://orcid.org/0000-0002-5076-3490>

⁴Ing. Agrónomo, Profesional independiente. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: camila.mupu20@gmail.com;  <https://orcid.org/0000-0003-2126-4438>

⁵Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: haramendiz@correo.unicordoba.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-2585-6273>

*autor para correspondencia: mmespitia@correo.unicordoba.edu.co

Cómo citar: Araújo-Vázquez, H.A.; Espitia-Camacho, M.M.; Buelvas-Guzmán, M.E.; Muñoz-Puche, M.C.; Araméndiz-Tatis, H. 2021. Evaluación de fuentes de variación en pruebas multi-ambientes para rendimiento y sus componentes en algodón. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1849. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1849>

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: enero 21 de 2021

Aceptado: julio 8 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La valoración de las fuentes de variación de los análisis de varianza combinado en las pruebas de evaluación multi-ambientes es de gran importancia en la selección de genotipos para recomendar nuevos cultivares, por su adaptabilidad y estabilidad. El objetivo

de esta investigación fue evaluar la significancia estadística y contribución de las fuentes de variación: ambientes, genotipos e interacción genotipo x ambiente para rendimiento de algodón-semilla, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra, en las zonas del Caribe seco y húmedo colombiano. Se utilizaron los datos de dos pruebas multi-ambientes por zona, donde se evaluaron 10

genotipos de fibra media diferentes, bajo el diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Cada prueba estuvo conformada por cuatro ensayos realizados durante las cosechas 2003/2004, 2007/2008 y 2009/2010. Los resultados señalan que, en promedio, el ambiente fue la fuente de variación más importante en significancia ($p < 0,05$ y $p < 0,01$) y variación ($> 64\%$), de los análisis de varianza combinado para rendimiento de algodón-semilla y fibra, con tendencia similar en su comportamiento entre ellas y en las dos zonas del Caribe colombiano. Para el porcentaje de fibra en el Caribe seco, la fuente de variación más importante fue genotipos (74,4 %) y en el Caribe húmedo fue el ambiente (57,2 %). Se sugiere subdividir las dos zonas del Caribe en subzonas más homogéneas ambientalmente o aumentar en más de cuatro el número de ensayos por prueba, para minimizar el efecto del ambiente y la interacción genotipo x ambiente.

Palabras clave: *Gossypium hirsutum*; Rendimiento; Componentes de rendimientos; Evaluación agronómica; Análisis de varianza combinado; Caribe colombiano.

ABSTRACT

The assessment of the sources of variation of the combined analysis of variance in the multi-environment evaluation tests is of great importance in the selection of genotypes to recommend new cultivars for their adaptability and stability. The objective of this research was to evaluate the statistical significance and contribution of the sources of variation: environments, genotypes and genotype x environment interaction for cotton-seed yield, fiber percentage and fiber yield, in the dry and humid Colombian Caribbean zones. Data from two multi-environment tests per zone were used, where 10 different medium fiber genotypes were evaluated, under a randomized complete block design with four replications. Each test consisted of four experiments carried out during the 2003/2004, 2007/2008 and 2009/2010 harvests. The results indicate that on average the environment was the most important source of variation in significance ($p < 0.05$ and $p < 0.01$) and variation ($> 64\%$) of the combined analysis of variance for cotton-seed yield and fiber, with a similar trend in their behavior between them and in the two zones of the Colombian Caribbean. For the percentage of fiber in the dry Caribbean, the most important source of variation was genotypes (74.4 %) and in the humid Caribbean it was the environment (57.2 %). It is suggested to subdivide the two zones of the Caribbean into more environmentally homogeneous subzones and / or to increase the number of trials per test, to minimize the effect of the environment and the genotype x environment interaction.

Keywords: *Gossypium hirsutum*; Yield; Yield components; Agronomic evaluation; Combined analysis of variance; Colombian Caribbean.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de algodón es el más importante para la producción de fibra en todo el mundo, principalmente, la especie *Gossypium hirsutum* L. Toda la producción de fibra es utilizada en la fabricación

de tejidos, de textiles y de confecciones y de las semillas, se puede obtener aceite, la harinolina, como forraje crudo, abono o combustible (Ali *et al.* 2018; Xing *et al.* 2019).

El rendimiento y sus componentes son de gran interés económico y de naturaleza poligénica, en donde las expresiones de sus genes son afectadas por factores ambientales y la interacción de los genes con el ambiente (Kang, 2020).

La región Caribe colombiana presenta dos zonas productoras, que se denominan Caribe seco y Caribe húmedo colombiano y se diferencian por su marcado contraste edafo-climático, específicamente, por la mayor fertilidad de suelos y precipitaciones en el Caribe húmedo (Burbano-Figueroa *et al.* 2018; Ideam, 2020). Estas diferencias ambientales afectan el rendimiento de algodón y sus componentes, principalmente, cuando se presentan excesos o déficit de lluvias en etapas críticas del cultivo (Sierra *et al.* 2017; Burbano-Figueroa *et al.* 2018); por tal razón, en aras de ser mucho más competitivas las regiones productoras, se deben identificar las localidades más propicias para la evaluación de cultivares y ello redunde en el resurgimiento de la economía, con cultivares con mayor capacidad de amortiguación, a factores bióticos y abióticos.

La importancia de las fuentes de variación ambientes (A), genotipos (G) e interacción GxA en los análisis de varianza combinado contribuye, de manera importante, para determinar el número de ambientes óptimos en que los genotipos deben ser evaluados, con el objetivo de lograr la precisión necesaria, para medir las diferencias entre genotipos, estratificar los ambientes y zonificar los genotipos promisorios (Teodoro *et al.* 2019; Kang, 2020).

En el mundo y en Colombia, se han realizado estudios en el cultivo de algodón, para las variables de rendimiento y sus componentes, con el fin de determinar la significancia estadística y la contribución de las fuentes de variación al análisis de varianza combinado, con soportes de estudios de adaptabilidad y de estabilidad fenotípica, para identificar, zonificar, recomendar y liberar, comercialmente, nuevos genotipos para áreas productoras (Teodoro *et al.* 2019; Shahzad *et al.* 2019; Mejía-Salazar *et al.* 2020); sin embargo, en Colombia no existen resultados comparativos entre zonas productoras para determinar la contribución de las fuentes de variación al análisis de varianza combinado, para el rendimiento y sus componentes en el cultivo de algodón, en el Caribe colombiano.

El objetivo fue evaluar la significancia estadística y la contribución de las fuentes de variación del análisis de varianza combinado en las pruebas de evaluación multi-ambientes, para el rendimiento de algodón-semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco y húmedo colombiano, para comparar la influencia de cada componente en el proceso de evaluación, zonificación y mejorar la eficiencia del proceso de selección de las dos zonas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Fueron utilizados los resultados de cuatro pruebas

de evaluación agronómicas multi-ambientes, del Caribe colombiano. Dos de las pruebas fueron realizadas en el Caribe seco y dos en el Caribe húmedo colombiano, durante las cosechas 2003/2004, 2007/2008 y 2009/2010 (Cuadro 1). Cada ensayo de evaluación fue sembrado dentro de lotes comerciales de productores en cada zona, por tanto, el manejo agronómico de los mismos fue el que el agricultor aplicó a su cultivo comercial. La investigación fue realizada en el marco de la alianza estratégica entre CORPOICA y la Universidad de Córdoba, por un tiempo determinado, lo cual, limitó el uso de otros años.

Variables independientes. Correspondieron a 10 genotipos de algodón, de fibra media, conformados por siete líneas promisorias, en las cosechas 2003/2004, del Caribe seco y Caribe húmedo colombiano y ocho líneas promisorias, en las cosechas 2007/2008, en el Caribe seco y 2009/2010, en el Caribe húmedo. Los datos de

cada prueba correspondieron a un grupo de 10 genotipos diferentes y fueron suministrados por el programa de mejoramiento genético de algodón de CORPOICA, cuya investigación fue realizada con la participación de la Universidad de Córdoba (Cuadro 2).

Diseño experimental. Los datos utilizados fueron obtenidos de pruebas de evaluación agronómica multi-ambientes sembrados en campo, bajo el diseño experimental de bloques completos al azar, con 10 genotipos diferentes y cuatro repeticiones, amparados en la investigación conjunta y supervisadas por el ICA y de acuerdo con la resolución No. 00148, del 18 de enero del 2005.

Variables dependientes. Las variables evaluadas fueron las siguientes: rendimiento de algodón - semilla (RENDAS), en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; porcentaje de fibra (POFIB), en %, obtenido del desmote experimental de 50 motas de algodón con semillas y rendimiento

Cuadro 1. Localidades del Caribe seco y Caribe húmedo colombiano durante las cosechas algodoneras 2003/2004, 2007/2008 y 2009/2010, donde se realizaron las pruebas multi-ambientes.

No.	Localidad	Departamento	Año de cosecha	T (°C)	PP (mm)	ASNMM (m)	Fertilidad De Suelos
1	Riohacha (Maicao)	Guajira	2003/2004 Caribe seco	28,2	621	53	Baja
2	El Copey	Cesar		27,5	1369	80	Baja
3	Codazzi (Motilonia)	Cesar		28,8	1605	180	Media
4	San Juan del Cesar	Guajira		29,5	1100	250	Baja
1	Riohacha (Maicao)	Guajira	2007/2008 Caribe seco	28,2	621	53	Baja
2	Codazzi (Motilonia)	Cesar		28,8	1605	180	Media
3	San Juan del Cesar	Guajira		29,5	1100	250	Baja
4	Valledupar	Cesar		28,1	961	138	Media
1	Cereté (Retiro de los indios)	Córdoba	2003/2004 Caribe húmedo	28	1300	20	Media
2	San Pelayo (Corocito)	Córdoba		27	1500	20	Media
3	Cotorra (La Culebra)	Córdoba		27	1500	20	Media
4	Aguachica	Cesar		27,7	1456	220	Media
1	Cereté (Retiro de los indios 1)	Córdoba	2009/2010 Caribe húmedo	28	1300	20	Media
2	Cereté (Manguelito 1)	Córdoba		27	1220	12	Media
3	Km 3 vía Cereté - Ciénaga de Oro	Córdoba		27	1220	12	Media
4	Ciénaga de Oro – Malagana	Córdoba		27	1220	33	Media
5	Cereté (Retiro de los indios 2)	Córdoba		28	1300	20	Media
6	Cerete (Manguelito 2)	Córdoba		27	1220	12	Media

T = temperatura media en grados centígrados; PP = precipitación promedia anual en milímetros; ASNMM = altura sobre el nivel del mar en metros; La cosecha 2009/2010 es la única que presenta 6 localidades (ambientes); Cada ambiente tiene 10 genotipos sembrados con 4 repeticiones.

Cuadro 2. Genotipos evaluados en el Caribe seco y Caribe húmedo colombiano durante las cosechas algodoneras 2003/2004, 2007/2008 y 2009/2010.

Nº	2003/2004 Caribe seco	2007/2008 Caribe seco	Características
1	LC-149 L	-Cer 0014	Línea promisorio de fibra media
2	LC-151 L	-Cer 0016	Línea promisorio de fibra media
3	LC-153 L	-Cer 0034	Línea promisorio de fibra media
4	LT-1 L	-Cer 0044	Línea promisorio de fibra media
5	LT-2 S	EL-ORO BLANCO	Línea promisorio de fibra media
6	LT-3 L	-Cer 0060	Línea promisorio de fibra media
7	LT-4 L	-Cer 0007	Línea promisorio de fibra media
8	CM-123 L	-Cer 0046	Línea promisorio de fibra media
9	SM-137 S	INUANA M – 137 V	riedad Colombiana de fibra media (Testigo)
10 D	P-opal N	uopal	Variedad Americana de fibra media (Testigo)
Nº	2003/2004 Caribe húmedo	2009/2010 Caribe húmedo	Características
1	LC-149 L	C.159	Línea promisorio de fibra media
2	LC-151 L	C.160	Línea promisorio de fibra media
3	LC-153 L	C164 L	ínea promisorio de fibra media
4	LT-1 L	C.165	Línea promisorio de fibra media
5	LT-2 L	C.166	Línea promisorio de fibra media
6	LT-3 L	C.168	Línea promisorio de fibra media
7	LT-4 L	C.169	Línea promisorio de fibra media
8	CM-123 L	C.158	Línea promisorio de fibra media
9	SM-137 O	RO B.M 151 V	riedad Colombiana de fibra media (Testigo)
10 D	P-opal D	ELTAOPAL	Variedad Americana de fibra media (Testigo)

de fibra (RENDIF), en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtenido mediante la siguiente ecuación: $[(\text{RENDAS} \times \text{POFIB}) / 100]$, para cada unidad experimental y genotipo.

Análisis estadísticos de los datos. Con los datos obtenidos en las variables evaluadas, se realizó el análisis de varianza combinado, con el programa computacional de libre acceso GENES, versión Windows GENES V.2016.6.0 (Cruz, 2016), asumiendo un modelo mixto, con genotipos, como efectos fijos y ambientes, como efectos aleatorios. La significancia estadística de cada fuente de variación se realizó mediante la prueba de F, a través del uso de los cuadrados medios y la contribución de las fuentes de variación, se hizo ponderando en porcentaje la variación de ambientes-A, genotipos-G e interacción genotipo por ambiente-GxA, sobre el

total de las sumas de cuadrados de estas tres fuentes de variación-FV (Meredith *et al.* 2012). La media para las tres variables por zona se obtuvo promediando los resultados de cada variable de las dos pruebas consideradas por zona. Los objetivos específicos planteados en este estudio no demandaron pruebas de medias, análisis de adaptabilidad y de estabilidad fenotípica, para los diferentes genotipos en cada prueba por zona.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calidad de los experimentos está asociada con la precisión de esta medida, a través del coeficiente de variación, por lo que, a menor coeficiente, mayor es la confiabilidad de los datos. En ese orden de ideas, las variables estudiadas registraron coeficientes

acordes a los reportados por otros investigadores en esta especie, siendo siempre mayor los asociados al rendimiento de algodón - semilla y rendimiento de fibra (Komala *et al.* 2018; Mejía-Salazar *et al.* 2020), con relación a porcentaje de fibra, por la complejidad genética de su herencia y los efectos no genéticos bióticos, como plagas y abióticos, como precipitación, número de horas luz, sequía y sus interacciones sobre dichos genes, que influyen en el valor fenotípico (Ribeiro *et al.* 2018; Campbell *et al.* 2018; Kang, 2020).

Rendimiento de algodón – semilla (RENDAS). Los resultados del RENDAS, se presentan en la tabla 1. La media para la zona Caribe seco fue menor en, aproximadamente, 709 kg.ha⁻¹, con respecto al Caribe húmedo, debido a las mejores condiciones edafo-climáticas que ofrecen las sub-zonas productoras del Caribe húmedo, como suelos, precipitación y manejo agronómico, para que los cultivares expresaran su potencial genético del rendimiento (Burbano-Figueroa *et al.* 2018; Ideam, 2020).

Por otra parte, se encontró que los efectos ambientales fueron más importantes, tanto en el Caribe seco como en el Caribe húmedo en ambas cosechas, en comparación con la interacción genotipo por ambiente y la fuente de variación de genotipos (Tabla 1). Estos

resultados son coherentes con los reportados por Campbell *et al.* (2011), Gul *et al.* (2016) y Ribeiro *et al.* (2018), quienes indicaron la existencia de variabilidad en la oferta ambiental entre dichas zonas agrícolas y, consecuentemente, el desempeño de los genotipos, lo cual, justifica un estudio detallado del comportamiento de cada cultivar, con el fin de identificar la magnitud de sus interacciones con el medio ambiente y reconocer aquellos con mayor estabilidad agronómica.

Esta variabilidad ambiental, se explica por factores no genéticos impredecibles, como precipitación, número de horas luz, brillo solar y manejo agronómico, que influyen en la expresión del potencial genético y su capacidad de amortiguación a los efectos ambientales, como lo sostienen Cotrim *et al.* (2019), Bakhsh *et al.* (2019) y Mejía-Salazar *et al.* (2020), en razón a que el rendimiento de algodón semilla, por ser un carácter cuantitativo, es afectado por el ambiente.

La fuente de variación GxA mostró un aporte intermedio a la variación en las dos cosechas del Caribe seco y Caribe húmedo (Tabla 1). Solo presentó diferencias significativas ($p < 0,01$) para la cosecha 2009/2010 del Caribe húmedo, a diferencia del Caribe seco,

Tabla 1. Análisis de varianzas combinados para rendimiento algodón - semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS) y húmedo (CH) colombiano.

FV	CH	CS	CH34- CS34	CH	CS	CH910- CS78				
	2003/2004	2003/2004	Diferencia	2009/2010	2007/2008	Diferencia				
Comparación del RENDAS entre Caribe húmedo – Caribe seco en %SC										
G	18,5	1,5	17,0	3,8	3,6	0,2				
A	59,9	92,6	-32,7	83,7	87,5	-3,8				
GxA	21,6	5,9	15,7	12,6	8,9	3,7				
Comparación del POFIB entre Caribe húmedo – Caribe seco en %SC										
G	49,2	79,4	-30,2	20,3	69,5	-49,2				
A	44,1	17,8	26,3	70,3	18,1	52,2				
GxA	6,7	2,9	3,8	9,4	12,4	-3,0				
Comparación del RENDIF entre Caribe húmedo – Caribe seco en %SC										
G	34,8	4,3	30,5	1,5	5,2	-3,7				
A	46,2	90,0	-43,8	81,7	84,4	-2,7				
GxA	19,0	5,7	13,3	16,8	10,4	6,4				
Comparación promedia Caribe húmedo (CH) – Caribe seco (CS) en %SC										
ZONAS	RENDAS			POFIB			RENDIF			Efecto del Ambiente
	G	A	GxA	G	A	GxA	G	A	GxA	
Media del CH	11,2	71,8	17,1	34,8	57,2	8,1	18,2	64,0	17,9	Importante
Media del CS	2,6	90,1	7,4	74,4	18,0	7,6	4,7	87,2	8,1	Muy Importante
Diferencias	8,6	-18,3	9,7	-39,7	39,3	0,4	13,4	-23,2	9,8	Mayor en CS

FV = fuentes de variación; %SC = suma de cuadrados en porcentaje (%); CM = cuadrados medios; G = genotipo; A = ambiente; GxA = interacción; * = significativo al 5 % ($p < 0,05$); ** = significativo al 1 % ($p < 0,01$); ns = no significativo; Media de RENDAS y RENDIF = en kilogramos por hectárea (kg.ha⁻¹); Media de POFIB = en porcentaje (%); CV = coeficiente de variación en porcentaje (%); Diferencia = resta entre CH-CS; Media del CH = promedio de las cosechas del CH (CH34/CH910); Media del CS = promedio de las cosechas del CS (CS34/CS78).

donde ambas cosechas no presentaron diferencias significativas y esto es, posiblemente, a que los genotipos presentaron una mayor capacidad de amortiguación individual, a las oscilaciones ambientales (Tabla 1). Resultados similares han sido reportados previamente por Campbell *et al.* (2011), Mukoyi *et al.* (2018) y Cotrim *et al.* (2019), donde la interacción no superó los valores del 25 %, en la contribución de la suma de cuadrados y es la que menos aporta a la variación y tienen gran validez, dadas las diferencias agroecológicas, entre dichas zonas productoras.

En lo concerniente con la fuente de variación genotipos (G), además de contribuir en menor grado a explicar, tanto la variación en las sumas de cuadrados en el Caribe seco como en el Caribe húmedo, no registró diferencias significativas en tres de las cuatro cosechas, lo cual, refleja igual comportamiento agronómico y las diferencias con relación a otras cosechas, se sustentan en los efectos ambientales, por lo que la regionalización de las áreas de producción es necesaria, para que se exprese el mayor potencial genético de los genotipos (Meredith *et al.* 2012; Mukoyi *et al.* 2018; Cotrim *et al.* 2019; Bakhsh *et al.* 2019; Mejía-Salazar *et al.* 2020), a través de cultivares con adaptación específica y se logren mejores producciones de algodón semilla, aprovechando la oferta ambiental.

Porcentaje de fibra (POFIB). Los resultados de ambas zonas algodonerías (Tabla 1), señalan que la media para el Caribe húmedo fue menor en, aproximadamente, 3 %, con respecto al Caribe seco y se debe al menor peso de las semillas, dada la existencia de una correlación genética alta e inversa entre el porcentaje de fibra y el peso de semilla, como lo reportan Xing *et al.* (2019) y Amein *et al.* (2020).

La suma de cuadrados para genotipos explicó, en mayor proporción, la variación total en las dos cosechas del Caribe seco y Caribe húmedo. En el Caribe seco hubo mayor contribución, con valores superiores en 2003/2004 y 2007/2008, en comparación con el Caribe húmedo, donde se presentaron participación de genotipos menores a 50 %, en la cosecha 2003/2004 y menores del 21 %, en la cosecha 2009/2010.

Los resultados encontrados en el presente estudio obedecen a la divergencia genética de los genotipos y la correlación entre fenotipo y genotipo, por el menor número de genes involucrados en su control genético, a pesar de ser un carácter poligénico afectado por el ambiente, por lo que interfiere en el valor fenotípico (Xing *et al.* 2019), lo cual, coincide con lo reportado por Ribeiro *et al.* (2018) y Albuquerque *et al.* (2020), quienes afirman que POFIB varía, principalmente, por los efectos del genotipo y lo reportan con una participación en las sumas de cuadrados, superiores al 57 %.

En ambas zonas y entre cosechas, los cuadrados medios presentaron diferencias significativas ($p < 0,01$) para ambientes; ello se explica por ambientes contrastantes y los efectos del trópico, dado que factores abióticos, como las precipitaciones, la temperatura, la humedad relativa y la radiación y los factores bióticos, como plagas y enfermedades, influenciados por las condiciones de cada sub-zona o cosecha, especialmente, en el Caribe seco, por tener

menor régimen de precipitación, hay menor aprovechamientos de nutrientes y formación de asimilados con destino a las semillas, siendo estas menos pesadas y, por ende, con mayor porcentaje de fibra. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Campbell *et al.* (2011), Farias *et al.* (2016), Shahzad *et al.* (2019) y Mejía-Salazar *et al.* (2020), quienes reportan que la fuente de variación ambientes fue significativa ($p < 0,01$ y $p < 0,05$), para POFIB.

La contribución en las sumas de cuadrados por la interacción GxA fue menor, para explicar la variación fenotípica de los datos en las dos cosechas en ambas zonas. Sus valores fueron menores a 9,5 %, en el Caribe húmedo, para las cosechas 2003/2004 y 2009/2010, con significancia estadística, lo que indica que los cultivares modificaron su clasificación en función de la oferta ambiental, mientras que en el Caribe seco, fue alrededor del 3 %, para 2003/2004 y cercano al 12 %, para 2007/2008 y no significativos, posiblemente, por tener buena capacidad de amortiguación individual de los genotipos a las oscilaciones ambientales que, al provenir de cruzamientos diferentes, poseen cierta variabilidad genética y su clasificación no cambia en las diferentes condiciones ambientales del Caribe seco, lo cual, es opuesto en el Caribe húmedo; ello permitiría seleccionar genotipos superiores, como lo señalan Campbell *et al.* (2011; 2012), Meredith *et al.* (2012), Ribeiro *et al.* (2018), Shahzad *et al.* (2019), Mejía-Salazar *et al.* (2020) y Albuquerque *et al.* (2020), sobre todo, cuando la interacción GxA no supera el 20 % de la contribución en las sumas de cuadrados y es la que menos contribuye.

Rendimiento de fibra (RENDIF). Con diferencias de 137 kg.ha⁻¹, los resultados obtenidos para RENDIF fueron superiores en el Caribe húmedo con respecto al Caribe seco (Tabla 1). La mayor contribución a la suma de cuadrados fue dada por el ambiente en las dos zonas de estudio, seguido de la interacción genotipo por ambiente, excepto para el Caribe húmedo, en la temporada 2003/2004 y por último el genotipo, coherentes con los reportados por Teodoro *et al.* (2019), Shahzad *et al.* (2019) y Mejía-Salazar *et al.* (2020); esto significa que, factores ambientales no controlables, como número de horas luz, brillo solar, precipitación, algunas propiedades del suelo, jugaron un rol muy importante en la expresión del potencial genético y la existencia de correlación genética, entre RENDAS y RENDIF (Mukoyi *et al.* 2018; Teodoro *et al.* 2019; Amein *et al.* 2020) y su influencia en la interacción genotipo ambiente, que resultó en un 75 % de los períodos de estudio, no significativa y de poca magnitudes, como lo señalan Shahzad *et al.* (2019) y Mejía-Salazar *et al.* (2020), quienes sostienen que la interacción GxA, para RENDIF, en las sumas de cuadrados es explicada con valores menores al 15 %; por tal razón, el número de experimentos para identificar los cultivares con mayor estabilidad agronómica, debe estar soportado en una mayor cantidad de experimentos, para estar mucho más seguro en el proceso de selección y de liberación de variedades, como lo sostiene Nadeem *et al.* (2018).

Genotipos fue la fuente de variación menos importante en el Caribe seco, explicando menos del 5,3 % de la variación de la suma de cuadrados en las dos cosechas 2003/2004 y 2007/2008, mientras

que fue intermedia en el Caribe húmedo, contribuyendo con alrededor del 35 %, en el 2003/2004 y siendo la menos importante en la cosecha 2009/2010, con menos del 2 % de la variación. La fuente genotipos fue significativa ($p < 0,05$ y $p < 0,01$) en la cosecha 2003/2004, para ambas zonas, lo que indica una mayor expresión del potencial y divergencia genética, con mayor contribución en el Caribe húmedo, lo cual, se refleja en la media del RENDIF, con $1.570 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, aproximadamente.

Comparación de las variables dependientes y zonas. Los resultados de las tres variables dependientes RENDAS, POFIB y RENDIF, para las dos zonas, se presentan en la tabla 2. En la comparación de medias, se observa que para RENDAS y RENDIF, la mayor contribución a las sumas de cuadrados fue la fuente de variación ambientes, que presentó mayor efecto en ambas cosechas del Caribe seco y Caribe húmedo, lo que corrobora los ambientes de esta zona del país con contrastantes; asimismo, el ambiente tiene un efecto colateral adicional sobre la interacción GxA, la cual, cuando resulta significativa, como en el Caribe húmedo, genera cambios en la clasificación de los genotipos entre los ambientes, enmascara la expresión del carácter de interés, disminuye la correlación entre los valores fenotípicos y genotípicos, reduce el progreso de la selección y dificulta la labor de selección y posterior recomendación de los genotipos, para una o varias localidades (Shahzad *et al.* 2019; Kang,

2020). La suma de cuadrado para genotipos en estas dos variables registró poca variación y significancia para RENDAS en el Caribe húmedo, período 2003/2004 y Caribe seco y Caribe húmedo para RENDIF, en la temporada 2003/2004, señalando diferencias genéticas en algunas oportunidades y, en otras, no se manifiestan por el enmascaramiento que ejerce el ambiente, dificultando el proceso de selección (Shahzad *et al.* 2019; Kang, 2020).

La variable POFIB, se comportó de manera diferente, debido a que la fuente genotipos realizó la mayor contribución a las sumas de cuadrados en ambas cosechas del Caribe seco y Caribe húmedo, excepto para la cosecha 2009/2010, indicando que los genotipos responden de acuerdo con su genética y condiciones de manejo agronómico, razón por la cual, la ausencia de lluvias, al final del ciclo, favorece semillas más pequeñas y menor peso con mayor porcentaje de fibra. Lo antes anotado, se sustenta en la participación de la suma de cuadrados de ambientes, como la segunda en importancia y la reducida participación, a dicha suma de cuadrados, de la interacción genotipo por ambiente.

Para minimizar los efectos del ambiente, se han sugerido dos caminos: a) dividir las zonas productoras de evaluación en subzonas más homogéneas, con menor variabilidad ambiental dentro de cada subzona y mayor variabilidad entre las subzonas, lo cual, permite

Tabla 2. Comparación de los análisis de varianzas combinados del rendimiento algodón - semilla (RENDAS), porcentaje de fibra (POFIB) y rendimiento de fibra (RENDIF), en el Caribe seco (CS) y húmedo (CH) colombiano y la comparación entre zonas productoras.

FV	CH	CS	CH34- CS34	CH	CS	CH910- CS78				
	2003/2004	2003/2004	Diferencia	2009/2010	2007/2008	Diferencia				
Comparación del RENDAS entre Caribe húmedo – Caribe seco en %SC										
G	18,5	1,5	17,0	3,8	3,6	0,2				
A	59,9	92,6	-32,7	83,7	87,5	-3,8				
GxA	21,6	5,9	15,7	12,6	8,9	3,7				
Comparación del POFIB entre Caribe húmedo – Caribe seco en %SC										
G	49,2	79,4	-30,2	20,3	69,5	-49,2				
A	44,1	17,8	26,3	70,3	18,1	52,2				
GxA	6,7	2,9	3,8	9,4	12,4	-3,0				
Comparación del RENDIF entre Caribe húmedo – Caribe seco en %SC										
G	34,8	4,3	30,5	1,5	5,2	-3,7				
A	46,2	90,0	-43,8	81,7	84,4	-2,7				
GxA	19,0	5,7	13,3	16,8	10,4	6,4				
Comparación promedia Caribe húmedo (CH) – Caribe seco (CS) en %SC										
ZONAS	RENDAS			POFIB			RENDIF			Efecto del Ambiente
	G	A	GxA	G	A	GxA	G	A	GxA	
Media del CH	11,2	71,8	17,1	34,8	57,2	8,1	18,2	64,0	17,9	Importante
Media del CS	2,6	90,1	7,4	74,4	18,0	7,6	4,7	87,2	8,1	Muy Importante
Diferencias	8,6	-18,3	9,7	-39,7	39,3	0,4	13,4	-23,2	9,8	Mayor en CS

FV = fuentes de variación; %SC = suma de cuadrados en porcentaje (%); CM = cuadrados medios; G = genotipo; A = ambiente; GxA = interacción; * = significativo al 5 % ($p < 0,05$); ** = significativo al 1 % ($p < 0,01$); ns = no significativo; Diferencia = resta entre CH-CS; Media del CH = promedio de las cosechas del CH (CH34/CH910); Media del CS = promedio de las cosechas del CS (CS34/CS78).

reducir o minimizar el efecto de ambientes y de interacción GxA y b) aumentar el número de ensayos por prueba de evaluación por zona en más de cuatro, para reducir los efectos de ambientes y GxA y se permita, en ambos casos, identificar, seleccionar y recomendar los genotipos superiores en cada sub-zona, con base en su valor genotípico real (Cotrim *et al.* 2019; Kang, 2020). Frente a las posiciones anteriores surge una pregunta adicional: ¿Esto es funcional y viable en los países, como Colombia, ubicados en la zona tropical o subtropical, que se caracterizan, precisamente, por una alta variabilidad edafo-climática impredecible?

Los resultados obtenidos permiten concluir que, en promedio, el ambiente fue la fuente más importante con significancia estadística, para explicar la variación en los análisis de varianza combinado, para rendimiento de algodón-semilla y fibra, con tendencia similar en su comportamiento entre ellas y en las dos zonas del Caribe colombiano. Para el porcentaje de fibra en el Caribe seco, la fuente de variación más importante fue genotipos y en el Caribe húmedo fue el ambiente. Se sugiere subdividir las dos zonas del Caribe en subzonas, más homogéneas ambientalmente o aumentar, en más de cuatro, el número de ensayos por prueba, para minimizar el efecto del ambiente y la interacción genotipo x ambiente.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue cofinanciado por la Universidad de Córdoba y los autores.

REFERENCIAS

- ALBUQUERQUE, R.R.S.D.; CAVALCANTI, J.J.V.; FARIAS, F.J.C.; QUEIROZ, D.R.; CARVALHO, L.P.D. 2020. Estimates of genetic parameters for selection of colored cotton fiber. *Rev. Caatinga*. (Brasil). 33(1):253-259. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n127rc>
- ALI, I.; KHAN, N.U.; RAHMAN, M.; GUL, R.; BIBI, Z.; GUL, S.; AHMED, S.; ALI, S.; ALI, N.; AFRIDI, K.; HAQ, H.A. 2018. Genotype by environment and biplot analyses for yield and fiber traits in upland cotton. *Int. J. Agric. Biol.* (Pakistán). 20(1):1979-1990. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0720>
- AMEIN, M.M.M.; MASRI, M.I.; EL-ADLY, H.H.; ATTIA, S.S. 2020. Correlation and path coefficient analysis for yield components traits in egyptian cotton genotypes. (*Gossypium barbadense* L.). *Plant Arch.* (Egipto). 20(2):803-806.
- BAKSH, A.; REHMAN, M.; SALMAN, S.; ULLAH, R. 2019. Evaluation of cotton genotypes for seed cotton yield and fiber quality traits under water stress and non-stress conditions. *Sarhad J. Agric.* (Pakistán). 35(1):161-170. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2019/35.1.161.170>
- BURBANO-FIGUEROA, O.; MONTES-MERCADO, K.S.; PASTRANA-VARGAS, I.J.; CADENA-TORRES, J. 2018. Introducción y desarrollo de variedades de algodón Upland en el sistema productivo colombiano: Una revisión. *Cien. Agri. (Colombia)*. 15(1):29-44. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7754>
- CAMPBELL, B.T.; CHEE, P.W.; LUBBERS, E.; BOWMAN, D.T.; MEREDITH, W.R.; JOHNSON, J.; FRASER, D.E. 2011. Genetic improvement of the Pee Dee cotton germplasm collection following seventy years of plant breeding. *Crop sci. (USA)*. 51(3):955-968. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.09.0545>
- CAMPBELL, B.T.; CHEE, P.W.; LUBBERS, E.; BOWMAN, D.T.; MEREDITH, W.R.; JOHNSON, J.; JONES, D.C. 2012. Dissecting genotype x environment interactions and trait correlations present in the Pee Dee cotton germplasm collection following seventy years of plant breeding. *Crop sci. (USA)*. 52(2):690-699. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.07.0380>
- CAMPBELL, B.T.; DEVER, J.K.; HUGIE, K.L.; KELLY, C.M. 2018. Cotton fiber improvement through breeding and biotechnology. In: *Cotton Fiber: Physics, Chemistry and Biology*. Springer, Cham. (USA). p.193-215. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00871-0_10
- COTRIM, M.F.; FARIAS, F.J.C.; DE CARVALHO, L.P.; TEODORO, L.P.R.; BHERING, L.L.; TEODORO, P.E. 2019. Environmental stratification in the Brazilian cerrado on the yield and fiber quality of cotton genotypes. *Bioscience J. (Brasil)*. 35(5):1349-1355. <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n5a2019-42259>
- CRUZ, C.D. 2016. Programa Genes V.2016.6.0 - Aplicativo computacional em genética e estatística. Disponible desde internet en: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm> (con acceso 22/09/2016).
- FARIAS, F.J.C.; DE CARVALHO, L.P.; DA SILVA FILHO, J.L.; TEODORO, P.E. 2016. Correlations and path analysis among agronomic and technological traits of upland cotton. *Genet. Mol. Res. (Inglaterra)*. 15(3):1-7. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15038239>
- GUL, S.; KHAN, N.U.; GUL, R.; BALOCH, M.; LATIF, A.; KHAN, I.A. 2016. Genotype by environment and phenotypic adaptability studies for yield and fiber variables in upland cotton. *J. Anim. Plant Sci.* (Pakistán). 26(3):776-786.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2020. Tiempo y clima. Datos solicitados. Disponible desde internet en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima> (con acceso 23/08/2020).

14. KANG, M.S. 2020. Genotype-environment interaction and stability analyses: an update. Quantitative genetics, genomics and plant breeding (USA). (Ed. 2). p.140-161. <https://doi.org/10.1079/9781789240214.0140>
15. KOMALA, M.; MEENAKSHI, N.; KUMAR, M. 2018. Genetic variability, Heritability and Correlation Analysis in F2 Populations of Ratoon Upland Cotton Hybrids. IJAEB (India). 11(6):815-827.
16. MEJÍA-SALAZAR, J.R.; GALEANO-MENDOZA, C.H.; BURBANO-HERAZO, E.; VALLEJO-CABRERA, F.A.; ARANGO, M. 2020. Interacción genotipo por ambiente de nueve variedades de algodón para los Valles interandinos en Colombia. Agron. Mesoam (Costa Rica). 31(1):31-42. <https://doi.org/10.15517/AM.V31I1.37178>
17. MEREDITH JR., W.R.; BOYKIN, D.L.; BOURLAND, F.M.; CALDWELL, W.D.; CAMPBELL, B.T.; GANNAWAY, J.R.; GLASS, K.; PHILLIPS JONES, A.; MAY, L.M.; SMITH, C.W.; ZHANG, J. 2012. Genotype x environment interactions over seven years for yield, yield components, fiber quality, and gossypol traits in the regional high-quality tests. J. Cotton Sci. (USA). 16(1):160-169.
18. MUKOYI, F.; GASURA, E.; MAKUNDE, G.S. 2018. Implications of correlations and genotype by environment interactions among cotton traits. Afr. Crop Sci. J. (Uganda). 26(2):219-235. <https://doi.org/10.4314/acsj.v26i2.5>
19. NADEEM, F.; KHAN, N.; KHALID, S.; AZAM, S.; SAEED, B.; JAN, T.; KHAM, K.; KHAM, M. 2018. Genotype × environment interaction studies in F5 populations of upland cotton under agro-climatic condition of Peshawar. Pure Appl. Biol. (Pakistan). 7(3):973-991. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2018.700116>
20. RIBEIRO, L.P.; CARVALHO L., P.D.; FARIAS F., J.C.; RODRIGUES J., I.D.S.; TEODORO, P.E.; BHERING, L.L. 2018. Genetic gains in agronomic and technological traits of elite cotton genotypes. Bragantia. (Brasil). 77(3):466-475. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017329>
21. SHAHZAD, K.; QI, T.; GUO, L.; TANG, H.; ZHANG, X.; WANG, H.; QIAO, X.; ZHANG, M.; ZHANG, B.; FENG, J.; SHAHID, M.; WU, J.; XING, C. 2019. Adaptability and stability comparisons of inbred and hybrid cotton in yield and fiber quality traits. Agron. (USA). 9(9):516-528. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090516>
22. SIERRA, M.; ESPITIA, M.; CADENA, J. 2017. Correlación entre rendimiento, estabilidad fenotípica y métodos de selección simultánea en algodón. Rev. Temas Agrarios. (Colombia). 22(1):21-30. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.912>
23. TEODORO, P.E.; FARIAS F., J.C.; DE CARVALHO, L.P.; RIBEIRO, L.P.; NASCIMENTO, M.; AZEVEDO, C.F.; CRUZ, C.D.; BHERING, L.L. 2019. Adaptability and stability of cotton genotypes regarding fiber yield and quality traits. Crop Sc. (USA). 59(2):518-524. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0250>
24. XING, H.; YUAN, Y.; ZHANG, H.; WANG, L.; MAO, L.; TAO, J.; WANG, X.; FENG, W.; WHANG, H.; WHANG, Q.; WEI, Z.; ZHANG, G.; LIU, X.; LI, Z.; LIANG, X.; ZHEN, X. 2019. Multi-environments and multi-models association mapping identified candidate genes of lint percentage and seed index in *Gossypium hirsutum* L. Mol Breeding (China). 39(1):149-165. <https://doi.org/10.1007/s11032-019-1063-7>



Sistema de trazabilidad aplicado a la producción de semilla bajo el esquema de mínimos para cultivos semestrales en los valles interandinos

Traceability system applied to seed production under the minimum scheme for semi-annual crops in the inter-Andean valleys

Deisy Lorena Flórez-Gómez¹; Magda Jenny Medina-Mérida²; Karen Viviana Osorio-Guerrero³; David Napoleón Vargas-Ramírez⁴; Sair Jaramillo-Bonilla⁵; Luis Ernesto Ortega-Herrera⁶; Luisa Fernanda Sarmiento-Moreno⁷

¹Ing. Agrónoma. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: dlflorez@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-3676-7564>

²Ing. Industrial. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: mmedina@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-0537-344X>

³Ing. Agroforestal, M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: kosorio@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0002-9252-9993>

⁴Ing. Agrónomo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: dnvargas@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0001-7645-6256>

⁵Ing. Agrónomo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Nataima. El Espinal - Tolima, Colombia; e-mail: sjaramillo@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-1297-7444>

⁶Administrador agropecuario. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Nataima. El Espinal - Tolima, Colombia; e-mail: lortegon@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0002-7693-8295>

⁷Ing. Agrónoma, M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: lsarmiento@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0002-1083-0898>

Cómo citar: Flórez-Gómez, D.L.; Medina-Mérida, M.J.; Osorio-Guerrero, K.V.; Vargas-Ramírez, D.N.; Jaramillo-Bonilla, S.; Ortega-Herrera, L.E.; Sarmiento-Moreno, L.F. 2021. Sistema de trazabilidad aplicado a la producción de semilla bajo el esquema de mínimos para cultivos semestrales en los valles interandinos. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1689 <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1689>

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

Recibido: agosto 25 de 2020

Aceptado: septiembre 1 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La semilla es el insumo principal para el establecimiento de sistemas productivos agrícolas, por lo cual, durante la producción de semilla, una condición indispensable es que se mantenga la calidad del material en todo el proceso incremental. El Departamento de Semillas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia, comprometido con el

cumplimiento de los requisitos establecidos en la Resolución ICA 3168 de 2015 y en el Decreto del MADR 931 de 2018, en todos sus procesos productivos, ha desarrollado e implementado un Sistema Interno de Trazabilidad (SIT) para la producción de semilla y, específicamente, en una de sus estrategias denominada Plan de Mínimos para cultivos semestrales soya, algodón, arroz, maíz y sorgo en los valles interandinos. Los resultados mostraron que esta herramienta tecnológica facilitó, en el proyecto, realizar el

monitoreo y el seguimiento de las labores, el registro de eventos climáticos, el manejo eficiente de inventarios y el análisis de costos. Esta reflexión es un trabajo pionero en Colombia, que contribuye a la toma de decisiones, a mejorar la productividad y a fortalecer el Sistema Nacional de Semillas.

Palabras clave: Producción de semilla; Trazabilidad; Control de la calidad; Codificación; Cultivos semestrales.

ABSTRACT

Seed is the main input for the establishment of agricultural production systems, so during seed production an indispensable condition is that the quality of the material is maintained throughout the incremental process. The Seed Department of Colombian Agricultural Research Corporation- Agrosavia, committed to complying with the requirements established in Resolution ICA 3168 of 2015 and Decree MADR 931 of 2018 in all its production processes, has developed and implemented an Internal Traceability System (SIT) for the production of seed and specifically in one of its strategies called Minimum Plan for semi-annual crops of soybean, cotton, rice, corn and sorghum in the inter-Andean valleys. The results show that this technological tool facilitated in the project carried out the monitoring and tracing of the crops work, the registry of climatic events, the efficient management of inventories and the analysis of costs. This is a pioneering work in Colombia, which contributes to decision making, improve productivity and strengthen the National Seed System.

Keywords: Seed production; Traceability; Quality control; Coding; Semi-annual crops.

INTRODUCCIÓN

La multiplicación de semilla es un proceso estratégico y prioritario para un programa de producción de semilla (Ferro *et al.* 2009); comprende, el primer eslabón de los procesos agroalimentarios y desencadena acciones, desde la agricultura familiar hasta la industrializada, depositándose la información genética y el potencial productivo de los cultivos. El sistema de producción de semilla debe garantizar su multiplicación y su disponibilidad, cumpliendo estrictos estándares de calidad. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), publicó el decreto 931 del 28 de mayo de 2018, con el que se crea el Sistema de Trazabilidad Vegetal, integrado por un conjunto de actores, normas, procesos e información organizada, a fin de garantizar la trazabilidad de las especies y los productos vegetales en el país. El decreto aplica a toda persona natural o jurídica que produzca, transforme, transporte, distribuya o comercialice especies vegetales y sus productos comestibles para el consumo humano, en el mercado nacional o internacional (MADR, 2018). En este sentido, Qian *et al.* (2020) afirman que el sistema de trazabilidad se convierte en una herramienta de seguimiento para salvaguardar la transición de los productos, durante la cadena de suministros.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) normatiza la

producción de semillas, mediante la Resolución 3168 de 2015 (ICA, 2015) y puntualiza en el capítulo VII artículo 23.2.1.6, “que el productor de semilla debe contar con un sistema de control interno de calidad que permita realizar la trazabilidad de los lotes de producción”. Por tanto, una de las opciones es implementarla mediante el uso de formatos en papel para el registro de la información (Corallo *et al.* 2020b), sistema conocido en el sector agropecuario de Colombia, como Libro de Campo, en donde se documentan, de forma manual, todas las novedades y prácticas agrícolas realizadas en el cultivo (ICA, 2015). Este registro manual es el comienzo en el proceso de adopción de sistemas de trazabilidad para organizaciones o productores de semillas en el país; sin embargo, la gran desventaja de los libros de campo físicos radica en la dificultad para compilar y disponer de la información en tiempo real, para el análisis y la toma de decisiones, limita el seguimiento a las operaciones y dificulta responder oportunamente ante eventualidades que se presenten en la producción (Toranzo *et al.* 2012; Corallo *et al.* 2020b).

A nivel nacional, se ha reglamentado la implementación de sistemas de trazabilidad digitales en algunas cadenas del sector agropecuario; por ejemplo, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) define en la norma técnica número 5522, “Buenas prácticas agrícolas. Trazabilidad en la cadena alimentaria para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas” (ICONTEC, 2007), las bases para el diseño y activación de un sistema de trazabilidad en la cadena de alimentos para consumo humano y animal.

La Federación Nacional de Cafeteros ha trabajado en la implementación de la trazabilidad del café, para asegurar la calidad desde el origen y cumplir con las exigencias de los consumidores (Puerta, 2007); Castillo *et al.* (2019) diseñaron e implementaron un sistema de trazabilidad para el beneficio del café, para apoyar a los cafeteros en el proceso de certificación de su producto. También, la Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA), con el fin de promover la productividad y la competitividad del sector ha creado programas, que optimizan el manejo del sistema agrícola, incluyendo, buenas prácticas agrícolas, acompañadas de un sistema de trazabilidad, exigencia de los mercados internacionales para el control de calidad. El sistema de trazabilidad implementado en estos procesos productivos ha permitido realizar una caracterización deseable del producto y su rastreo en la cadena de producción, distribución y consumo de las materias primas empleadas y el retiro de un lote, en caso de tener un problema en la cadena de suministro (Moreno *et al.* 2009).

A nivel mundial, en el área de semillas, una de las posibilidades de contar con sistemas de trazabilidad es a través de los bancos de germoplasma, para el manejo y el control de accesiones, ya sea mediante cámaras de almacenamiento, por criogenización o la conservación de colecciones *ex situ* (Cavalcanti *et al.* 2011; Pacheco, 2018; Santonieri & Bustamante, 2016). Referente al control de la calidad de la semilla en campos de producción, en Brasil, Gazolla *et al.* (2017) documentaron la aplicación de técnicas de agricultura de precisión, como herramienta para evaluar la distribución espacial

de la calidad fisiológica de semillas de soya en campo.

En Colombia, aún se conservan prácticas inapropiadas de uso de semilla, que no cumple con parámetros de calidad en cultivos transitorios. El uso de semilla certificada en arroz, algodón y maíz es del 16, 69 y 74 %, respectivamente (ACOSEMILLAS, 2020). Semillas de mala calidad limitan el desempeño productivo de los cultivos (FAO, 2016; SORUDEV, 2018); por ende, las semillas carentes de un control a lo largo del proceso productivo pueden generar problemas fitosanitarios y bajos rendimientos (ESSA, 2017). En cualquier etapa, se debe disponer de la ruta del proceso, por lo que es ideal incluir métodos que faciliten el registro de la información, fortaleciendo el sistema de trazabilidad, con el fin de garantizar el cumplimiento de la Resolución ICA 3168/15 (Abadía & Bartosik, 2013; León *et al.* 2020).

Por todo lo anterior, el Departamento de Semillas (DS) de Agrosavia propuso una alternativa para la activación de la producción de semilla en la corporación, correspondientes a variedades de maíz, sorgo, soya, algodón y arroz, a través de una estrategia, denominada Plan Mínimos (PM), cuya finalidad es consolidar la ruta de mantenimiento, la conservación de la Oferta Tecnológica corporativa (OT) y la activación de los procesos comerciales. Este plan trabaja con un esquema de siembra para la producción de semilla de categoría genética y de fundación; esta última, mantiene las mismas características de calidad determinadas para la semilla genética, con un valor agregado en volumen, necesario para la activación de procesos de escalamiento comercial de semilla a categorías básica, registrada y certificada. Esta estrategia viene siendo aplicada desde 2019 en el C. I. Nataima, en el municipio de El Espinal, Tolima, para soya, algodón, arroz, maíz y sorgo, en dónde se implementó un sistema tecnológico de trazabilidad, con la capacidad de registrar toda la información de los procesos

productivos y que brinda el soporte frente a posibles inconvenientes en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental. La multiplicación de semillas del proyecto PM, se llevó a cabo en el Valle cálido del alto Magdalena, en el departamento del Tolima, municipio de El Espinal, en el C.I. Nataima de Agrosavia. El sitio corresponde a la zona de influencia del distrito de riego del río Coello (USOCOELLO) y de acuerdo con Holdridge *et al.* (1971), la ecorregión corresponde al bosque seco tropical (bs-T), el cual, se caracteriza por presentar una precipitación media anual de 1.275 mm, con una distribución bimodal, una temperatura promedio anual de 28,2 °C, con escasa diferencia durante todo el año; humedad relativa anual de 69,4 % y una evaporación promedio de 1.266 mm anuales.

El lote productivo seleccionado para la implementación y el seguimiento del Sistema Interno de Trazabilidad (SIT) en campo, se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas: 4° 11' 18,72" latitud Norte y 74° 57' 33,4" longitud Oeste; su topografía es plana, con una pendiente inferior al 3 %; presenta un suelo no salino, sin presencia de aluminio intercambiable y con una saturación de cationes, que sigue el orden Ca>Mg>K>Na. El suelo es de textura franco-arcillosa, con 34 % de arcilla y 39 % de arena y una densidad aparente de 1,54 g/cm³, en el horizonte Ap (0-20 cm). Las características del suelo, se detallan en la tabla 1.

Producción de semilla bajo la estrategia del PM. Este ejercicio, se inició desde el 2019, con la finalidad de consolidar la ruta de mantenimiento y conservación de los materiales que están dentro de la oferta tecnológica corporativa (OT) de Agrosavia y otros cultivos liberados con proyección comercial. A la fecha, se han

Tabla 1. Características químicas de los lotes II-5 C.I Nataima. Lotes multiplicación semillas de Plan de Mínimos (PM).

Característica	Unidad	Lote II-6
pH		6,27
MO	(%)	0,31
P	mg.kg ⁻¹	18,82
S		3,47
K	cmol (+).kg ⁻¹	0,14
Ca		1,90
Mg		0,56
Na		<0,14
CICE		2,69
CE	dS.m ⁻¹	0,15
Fe	mg.kg ⁻¹	31,05
Cu		<1,00
Mn		1,53
Zn		<1,00
B		0,00

Fuente: Laboratorio de suelos de Agrosavia. C.I Tibaitata, 2019. "Laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 en los ensayos de: pH (VC_R_004 versión 03 de 2017-01-28), fósforo disponible Bray II (VC_R_007 versión 02 de 2017-09-22), conductividad eléctrica en suelos (NTC 5596:2008), cationes cambiabes en suelo calcio, magnesio, potasio y sodio disponibles (ID_R_072 versión 5 de 2017-09-28), micronutrientes en suelo por Olsen modificado Hierro, Manganeseo, Cobre y Zinc (NTC 5526:2007)".

realizado cinco ciclos de producción; cuatro, correspondientes a los semestres A y B del 2019 y 2020 y un ciclo de multiplicación, en el semestre A del 2021. Los cultivares priorizados para el primer ejercicio durante el semestre A del 2019, correspondieron a algodón convencional (LCER007, LCER044, Sinuana M137 y M123); sorgo dulce forrajero (JJT18); maíz (Corpoica V-114, Corpoica V-159) y soya (Corpoica Superior 6, Corpoica Achagua 8, Corpoica Guayuriba 9 y Corpoica Iraca 10). En el ciclo 2019B, se agregaron al sistema de producción las variedades de Arroz (Agrosavia Porvenir 12 y Corpoica Llanura 11), soya (BRS Serena y Agrosavia primavera 11) y maíz (Agrosavia V-117 y Agrosavia V-160); durante el 2020A, se priorizó la multiplicación de semilla de los cultivos de maíz y soya, adicionando al sistema de producción de soya la variedad Taluma 5, de uso forrajero; en el semestre B del 2020, se multiplicó semilla de los materiales de sorgo, arroz, soya y maíz y en el periodo productivo 2021A, se priorizaron lotes de semilla de las variedades de soya.

Adopción del Software Grin-Global. Para el proceso de producción de semilla que se está llevando a cabo con el proyecto de Plan Mínimos, se adoptó un SIT desarrollado en la plataforma “GRIN-Global” – Germplasm Resource Information Network-, software que dispone de elementos, a nivel de manejo de información de semilla sexual y asexual. GRIN-Global es una plataforma amigable, flexible y sostenible en el tiempo, para la captura y almacenamiento de información; adicionalmente, al ser software libre reduce los costos de licencias y programación, lo que hace de este un sistema con la amplitud, precisión y profundidad (NTC, 2007), suficiente para llevar la trazabilidad de la cadena de suministro, en todas las etapas de producción de semilla de calidad en Agrosavia. Así, desde PM, se inició el trabajo en equipo, para lograr parametrizar los componentes del SIT, según sus requerimientos

de información y las labores realizadas en los cultivos de cada especie. La parametrización de la plataforma GRIN-Global para el desarrollo del proceso de trazabilidad, en la producción de semilla de plan mínimos, se realizó en cuatro fases (Figura 1). La primera inició con la planificación del proceso de trazabilidad, la captura y las necesidades de información y descripción del proceso, por parte de los colaboradores que ejecutan la producción. Durante la segunda fase, se proyectó el diseño en el sistema, la segregación del detalle de las actividades y el esquema base de datos para la producción de semilla de especies y variedades de PM. En la tercera fase, se realizó la parametrización de los componentes para cultivares, inventarios activos, etapas del proceso, registro de actividades, usuarios y aplicaciones, seguimiento a la producción, sitios de origen de materiales e inventarios cerrados. Finalmente, la cuarta fase consistió en la implementación del SIT, realizada en cuatro pasos: 1) socialización del proyecto con los usuarios, 2) instalación de la herramienta en los equipos de los usuarios, 3) capacitación a los usuarios del sistema y 4) las prácticas y pruebas para identificar ajustes y mejoras al sistema.

Identificación de variables fundamentales. Al finalizar el desarrollo del SIT, se procedió con la parametrización de las variables fundamentales para la captura de información de cada una de las especies, según los requerimientos y las actividades en cada etapa del proceso producción de semilla. A continuación, se mencionan las variables fundamentales para el registro de información, en un ciclo de producción de PM de maíz, algodón, soya, sorgo y arroz: labores de preparación del terreno (pase de rastra y cincel, rallado de surcos y trazado), siembra, datos climáticos (precipitación), manejo agronómico del cultivo (riego, drenajes, aplicaciones para control fitosanitario, aplicaciones de fertilizantes, englacinado de plantas, embolsado de inflorescencia, eliminación de plantas

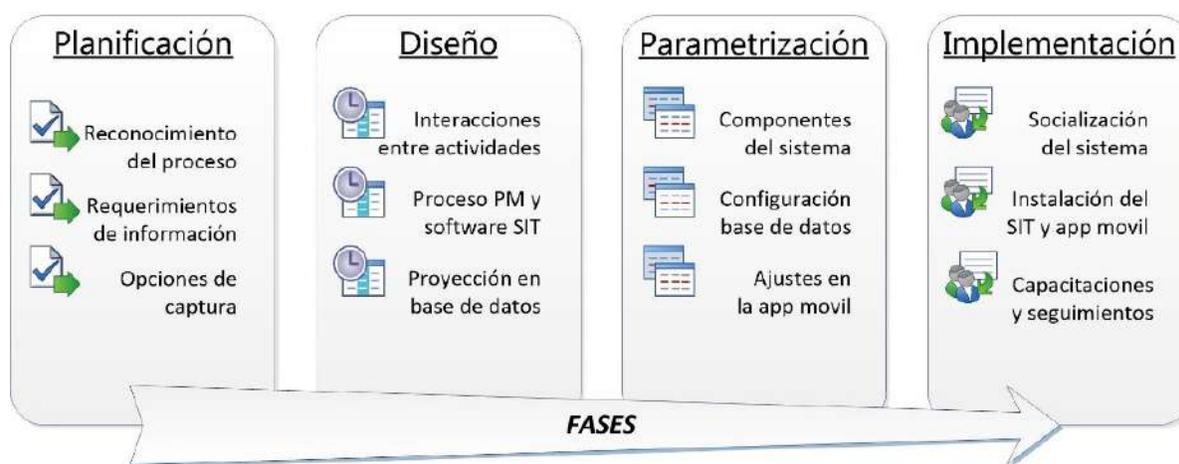


Figura 1. Fases de aplicación del Sistema Interno de Trazabilidad en PM.

Fuente: Laboratorio de suelos de Agrosavia. C.I Tibaitata, 2019. “Laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 en los ensayos de: pH (VC_R_004 versión 03 de 2017-01-28), fósforo disponible Bray II (VC_R_007 versión 02 de 2017-09-22), conductividad eléctrica en suelos (NTC 5596:2008), cationes cambiabes en suelo calcio, magnesio, potasio y sodio disponibles (ID_R_072 versión 5 de 2017-09-28), micronutrientes en suelo por Olsen modificado Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc (NTC 5526:2007)”.

atípicas, controles de calidad, marcado de bolsas y limpieza del lote, número de plantas a cosecha, datos de la cosecha, actividades de postcosecha (selección, clasificación, desgrane y limpieza), pruebas de calidad (viabilidad y germinación), empaque y peso de la semilla, almacenamiento y controles en el almacenamiento. La estructura y la codificación de las actividades que se parametrizaron en el SIT para la captura de información en PM, se observa en el cuadro 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicación del SIT en PM. Durante la fase exploratoria de implementación del SIT en el proceso de multiplicación de las semillas de las especies semestrales arroz, algodón, maíz, soya y sorgo, se obtuvo como resultado la definición de aspectos técnicos que requería la plataforma para la captura de información (Cuadro 2).

Funcionalidad del SIT en el PM. El Sistema Interno de Trazabilidad, se implementó en todos los procesos de producción de semilla incorporados bajo el modelo PM corporativo, alimentado con los registros de todas las actividades ligadas a la producción, desde la siembra hasta su cosecha e ingreso de inventarios a las cavas de almacenamiento. La trazabilidad en el proyecto de PM inició con el registro de origen del material de siembra y los resultados de las pruebas de calidad del laboratorio. Al realizar la distribución de

la semilla en los ensayos para siembra, se creó el inventario padre, para la producción inicial de plantas, identificado con un ID único e incluido en el código QR o “Quick Response Code”, impreso en las etiquetas y distribuidas en campo, para identificar cada cultivar y lote de producción. A fin de leer el código QR con una Tablet o celular que tenga instalado el aplicativo móvil del SIT, conectado con la base de datos de Grin Global, para registrar la información de las actividades del cuadro 1, durante todo el ciclo productivo del cultivo que hacen parte del PM y en todos los ciclos de producción (Corallo *et al.* 2020a).

En este punto del proceso, el inventario cosechado cambió su estado físico, al pasar de plantas a semilla sexual, por lo que fue necesario actualizar la información en el SIT y crear un inventario hijo del ID padre plantas (Figura 2), para identificar los empaques de semillas con el QR actualizado y registrar la actividad de traslado a almacenamiento con su ubicación. La amplitud del SIT permitió crear la cantidad de inventarios que fueron requeridos, ya que un factor diferenciador entre lotes de producción son las fechas de siembra o cosecha, cuando se realiza en tiempos diferentes, tal como se observa en la figura 2, lo que facilita rastrearlos hacia tras y hacia delante por el ID código QR, especie y variedad (Pizzuti & Mirabelli, 2015; Pappa *et al.* 2018).

Cuadro 1. Muestra de actividades y sus códigos para la captura de información en PM.

Código SIT	Nombre actividad
MAPP	Manejo Agronómico Producción Plantas - MAPP
MAPP_F	MAPP - Fertilización
MAPP_ELP	MAPP - Englacinado de plantas
MAPP_R	MAPP - Riego
MAPP_E	MAPP - Eliminación de plantas atípicas
MAPP_P	MAPP - Polinización manual
MAPP_M	MAPP - Marcado de bolsa
MAPP_PE	AMPP - Plantas eliminadas x PR
MAPP_PG	AMPP - Plantas germinadas
MAPP_PS	MAPP - Plantas sembradas
COSE	Cosecha y postcosecha- COSE
COSE_CON	COSE – Conteo
COSE_COS	COSE – Cosecha
COSE_DEM	COSE – Desmote
COSE_DES	COSE – Deslinte
COSE_DSG	COSE – Desgrane
COSE_PE	COSE – Pesaje
COSE_SLC	COSE - Selección y clasificación
COSE_EM	COSE - Empaque
COSE_ALM	COSE – Almacenamiento
COSE_EF	COSE – Entrega

Cuadro 2. Requisitos técnicos y funcionales para la captura de información en el SIT.

No.	REQUISITO TÉCNICO	DESCRIPCIÓN
1	Codificación de inventarios	Es fundamental para facilitar la gestión, la identificación y la clasificación de los inventarios. La creación de los códigos en el SIT, se realiza considerando: Sigla del proyecto + código de la especie GRINGlobal + ubicación del inventario + sigla de la especie + número consecutivo automático del sistema; por ejemplo, el código PMIN3040CINATMZ00007, indica que el inventario pertenece al proyecto PM, la especie es maíz, se encuentra en el Centro de Investigación Nataima y un número que indica el consecutivo de inventario.
2	Gestión de módulos	La modularidad es una herramienta que favorece la visualización de los componentes del sistema; esta independencia permite la compilación por separado de la información y reduce la complejidad en el análisis del conjunto de datos, lo cual, contribuye a mejorar y optimizar el manejo, organización y gestión de la información de valor ingresada al SIT. En el curador de Grin-Global, se disponen los módulos: cultivares, inventarios activos, etapa de inventario, actividades realizadas, registro de aplicaciones, registro de seguimientos, orígenes de inventarios e inventarios cerrados.
3	Definición del inventario de producción	Consiste en definir la unidad de producción que origina un inventario nuevo, considerando la variedad, fecha de siembra, ciclo de producción, terreno y localización, con el objetivo de mantener la trazabilidad e identificar el origen del inventario padre y los hijos, que de este se generan. Conocer esta descendencia permite controlar la calidad genética y fisiológica, para determinar la necesidad de refrescar la semilla y desencadenar procesos de renovación.
4	Parametrización de labores	Hace referencia a la organización y la estandarización de las actividades realizadas durante el proceso de multiplicación de semilla, las cuales, se clasificaron así: a) Labores culturales (LC), que detallan actividades de manejo agronómico, cuidado y mantenimiento de la producción; b) Labores específicas (LBEP) son las actividades especializadas propias del sistema productivo, que disminuyen el riesgo de pérdida de la calidad de la semilla; c) Cosecha (COSE), incluye el registro de las actividades de cosecha y poscosecha; d) Datos a cosecha (DCSH) es el registro de variables de rendimiento y componentes de rendimiento y e) Precipitación (TH) es la captura de la precipitación durante todo el proceso de producción.
5	Homogenización de unidades	Consistió en determinar las unidades de medida para la captura de información de las variables fundamentales en el sistema de trazabilidad, de tal manera, que se facilite el análisis de los datos registrados en la plataforma.
6	Distinción de agroinsumos	Los agroinsumos fueron categorizados, de acuerdo con su origen, ya sea químico o biológico y su uso: herbicida, fungicida, insecticida, fertilizante edáfico, fertilizante foliar, coadyuvante, regulador de crecimiento, bioestimulante, inoculante, entomopatógeno y antagonista. Además, se configuró la base de datos del SIT, de tal manera, que se puede especificar si la aplicación se efectúa de forma simple (es decir, un solo producto) o compuesta (mezcla de dos o más agroinsumos).
7	Generación de códigos QR	Por medio de la nueva tecnología digital de códigos QR “Quick Response Code”, se generaron los códigos bidimensionales únicos para cada inventario, con el fin de facilitar la toma de datos en campo; una vez se escanean los códigos QR, a través de la aplicación móvil del SIT, previamente instalada en smartphones y tabletas, se puede acceder a la plataforma de registro de actividades.

El SIT aplicado a la producción de semillas de calidad es una herramienta pionera en Colombia, que permite registrar una gran variedad de información de las actividades de campo, laboratorio, cuarto frío y seguimiento, que se realizan en todo el proceso productivo, para relacionar y consolidar toda la información obtenida en campo, la cual, se va guardando en la base de datos donde se registra: fecha, tiempo (expresado en horas), labor, ubicación geográfica, tratamientos aplicados, dosis de insumos y la precipitación; lo anterior además de facilitar tener un histórico del lote y configurar la trazabilidad en todo el proceso productivo (Pappa *et al.* 2018).

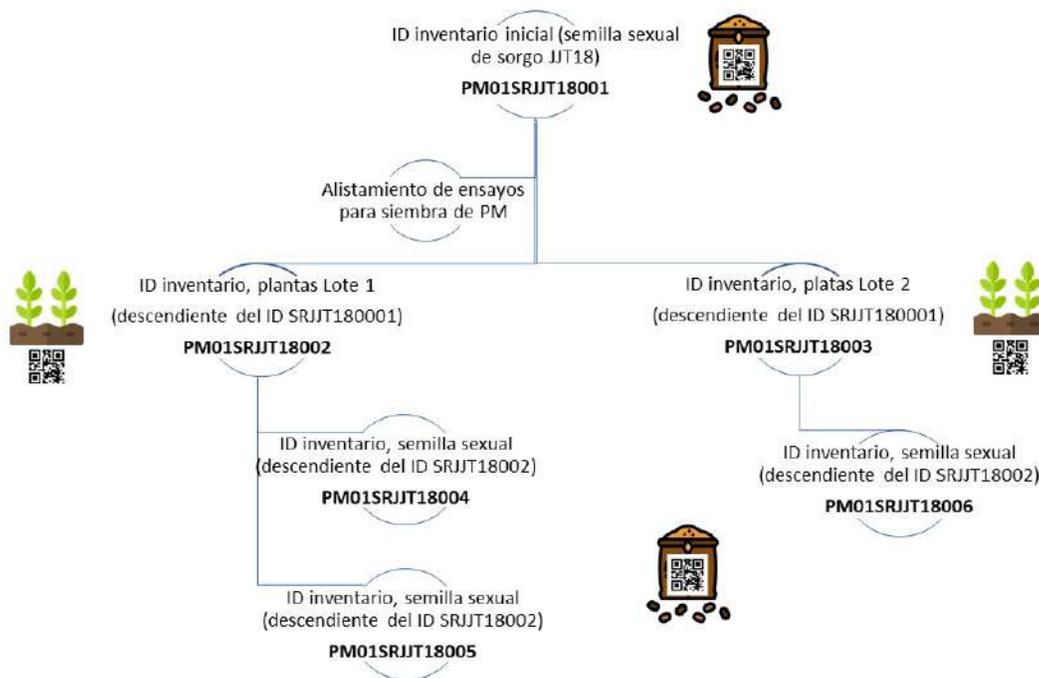
El SIT facilitó dimensionar los eventos climáticos para la programación de riego y manejo preventivo de plagas y enfermedades, lo cual, hace más eficiente la toma de mejores

decisiones, para el establecimiento de los cultivos.

Cabe señalar que, en este proceso, el compromiso del equipo ejecutor del PM garantizó que la información registrada fuera confiable y obtenida en tiempo real; a su vez, se resalta que el SIT ha sido una herramienta útil que facilita la tabulación de la información, con la cual, se realiza el manejo eficaz de inventarios, análisis de costos de producción, trazabilidad para proceso de certificación, entre otros ejercicios económicos y de producción.

Evaluación de la implementación del SIT. El SIT permitió al equipo ejecutor hacer un control en las cuatro dimensiones de calidad de la semilla (Genética, física, fisiológica y Sanitaria), pues en diferentes etapas del proceso, se logra el rastreo de anomalías, que pudiesen afectar alguno de estos atributos y reaccionar a

Figura 2. Descendencia de los códigos ID del SIT para identificar y rastrear los lotes de producción de semilla de calidad.



Fuente iconos: Adaptados de www.flaticon.es/ autores.

tiempo, para minimizar los inconvenientes en la producción. Adicionalmente, facilitó controlar la eficiencia en tiempos de ejecución de las labores programadas, jornales utilizados por cada actividad e insumos requeridos durante todo el proceso de producción. Con este seguimiento detallado, se busca la detección temprana de irregularidades, para dar una respuesta rápida a los problemas evidenciados (Aung & Chang, 2014).

Otro de los análisis realizados a partir del SIT fue el análisis de costos de producción, determinados por los costos fijos y costos variables ejecutados, durante cada semestre de siembra para cada variedad y categoría de semilla producida; este análisis permite conocer la

distribución de la inversión por rubros y determinar el costo final de la producción (Pappa *et al.* 2018). Para la estimación de costos, se generó una base de datos por variedad/categoría con las labores, insumos y otros rubros empleados durante el proceso, dando lugar a la estructura de costos, con la información para la planeación de las próximas siembras: tiempos requeridos para cada etapa desde la siembra, cantidades precisas de insumos, mano de obra requerida, insumos disponibles y de otras variables o elementos requeridos en cada ciclo. Este consolidado permite la estimación de los valores comerciales de la semilla, de acuerdo con las cantidades producidas al final del ciclo y por cada especie.

La trazabilidad sistematizada, además de permitir el seguimiento y monitoreo de la producción, facilita la gestión del riesgo (Corallo *et al.* 2020a), al visualizar acciones o decisiones con impacto negativo a lo largo de la cadena de suministro, al agilizar la respuesta oportuna ante una contingencia al conservar la historia de cada lote de semillas producido, lo que se traduce en confianza del consumidor final, dada la creciente demanda por satisfacer la necesidad de información de los consumidores (Inostroza & Barra, 2018; Chen *et al.* 2019; Corallo *et al.* 2020a; Thakur *et al.* 2020).

Implementar un sistema de trazabilidad, permite a los productores de semilla de cultivos transitorios en los valles interandinos ejercer un control sistemático en cada una de las etapas de proceso productivo, monitorear las actividades realizadas y facilitar la toma de decisiones de manera precisa y eficiente (Cañar *et al.* 2020), que se refleja en la relación de costo y beneficio, haciendo más fácil el sistema de producción agrícola en la región.

La consolidación de los datos obtenidos en campo y en laboratorio, por medio del SIT, permite realizar el monitoreo y el seguimiento de las labores efectuadas en tiempo real y de forma remota (Thakur *et al.* 2020), así como mejorar la productividad, minimizar las mermas, optimizar la competitividad de los lotes de multiplicación de semilla, garantizar la calidad en todo el proceso de multiplicación y, de esta forma, contribuir al fortalecimiento del Sistema Nacional de Semillas del país.

Finalmente, otros beneficios de implementar SIT son facilitar al equipo de colaboradores la toma de decisiones (Pappa *et al.* 2018), para encontrar la mayor eficiencia de sus procesos productivos, mejorar las prácticas de manejo de información y el flujo de datos relacionados con: variedad, origen de la semilla, ubicación, siembra, manejo agronómico, aplicaciones, cosecha, postcosecha y almacenamiento, en la medida que es estandarizada, para compartirla con las cadenas agroalimentarias que realizaran transformaciones, comercializaciones o directamente al consumidor final (Thakur & Donnelly, 2010; Pappa *et al.* 2018).

Agradecimientos: Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), por la financiación de este proyecto “Multiplicación de semilla bajo la estrategia de producción de Plan de Mínimos”, desarrollado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA; asimismo, agradecen a Dubert Cañar, Jose L. Sepúlveda y Julio Ramírez, por el desarrollo del SIT en Agrosavia. **Conflicto de intereses:** El artículo de reflexión fue elaborado y revisado por los autores, quienes declaran ser los que originan el manuscrito y no presentan conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. ABADÍA, B.; BARTOSIK, R. 2013. Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos. Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria. Ediciones INTA. 91p.
2. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE SEMILLAS Y BIOTECNOLOGÍA, ACOSEMILLAS. 2020. Informe Anual de Estadísticas del Subsector de Semillas ACOSEMILLAS. 63p.
3. AUNG, M.; CHANG, Y. 2014. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*. 39(1):172-184. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.007>
4. CAÑAR, D.; TIBADUIZA, L.; SARMIENTO, L.; MEDINA, M.; SEPÚLVEDA, J.; LÓPEZ, L. 2020. Sistema de trazabilidad para productores de semilla: conceptos esenciales. AGROSAVIA (Mosquera, Colombia). 20p. Disponible desde Internet en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36381/Ver_documento_36381.pdf?sequence=1&isAllowed=y (con acceso 09/12/2020).
5. CASTILLO, S.; CAICEDO, P.; SÁNCHEZ, D. 2019. Diseño e implementación de un *software* para la trazabilidad del proceso de beneficio del café. *Rev. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 20(3):523-536. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1588
6. CAVALCANTI, R.; MATA, M.; DANTAS, L.; DUARTE, M. 2011. Modelamento de um banco de germoplasma criogênico para armazenar sementes da região semi-árida, incluindo a rastreabilidade das sementes. *Rev. Bras. Produtos Agroindustriais*. 13(4):443-456. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n4p443-456>
7. CHEN, H.; TIAN, Z.; XU, F. 2019. What are cost changes for produce implementing traceability systems in China? Evidence from enterprise A. *Applied Economics*. 51(7):687-697. <https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1510470>
8. CORALLO, A.; LATINO, M.; MENEGOLI, M.; STRIANI, F. 2020a. The awareness assessment of the Italian agri-food industry regarding food traceability systems. *Trends in Food Science & Technology*. United Kingdom. 101:28-37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.022>
9. CORALLO, A.; LATINO, M.; MENEGOLI, M.; STRIANI, F. 2020b. What factors impact on technological traceability systems diffusion in the agrifood industry? An Italian survey. *J. Rural Studies*. United Kingdom. 75:30-47. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.02.006>
10. EUROPEAN SPROUTED SEEDS ASSOCIATION - ESSA. 2017. Directrices de higiene para la producción de brotes y semillas para germinación de la ESSA. 29-56p. Disponible desde Internet en: <https://www.icoval.org/es/2-Todo-guias-APPCC/2564-Directrices-de-higiene-para-la-produccion-de-brotes-y->

- semillas-para-germinacion-de-la-ESSA.htm (con acceso 24 /11/2020)
11. FERRO, E.; VALDÉS, R.; CHIRINO, E.; MÁRQUEZ, M.; RÍOS, H.; RODRÍGUEZ, C.; SARMIENTO, A. 2009. Aporte del sistema formal en semillas mejoradas de granos básicos y cereales a la seguridad alimentaria del municipio La Palma, provincia Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*. La Habana. 30(2):59-65
 12. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. 2016. Evaluación de la Seguridad de Semillas. Una Guía para Profesionales. FAO. 61p.
 13. GAZOLLA, A.; OLIVEIRA, R.; INGRID, G.; AMARAL, F. 2017. Rastreabilidade e variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes soja em campo de produção. *Rev. Bras. Tecnologia Agropecuária*. 1(1):65-73.
 14. HOLDRIDGE, L.; GRENKE, W.; HATHEWAY, W.; LIANG, T.; TOSI, J. 1971. Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon Press, Oxford, Inglaterra. 747p.
 15. INOSTROZA, K.; BARRA, A. 2018. Creación de valor en los productos Nestlé, a través 34 de la trazabilidad y sus impactos en los resultados de la empresa. *Horizontes empresariales*. Chile. 18(1):66-85.
 16. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO - ICA. 2015. Resolución No. 003168 del 07 de septiembre de 2015 “Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones. 97p.
 17. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. 2007. Norma Técnica Colombiana No. 5522. “Buenas prácticas agrícolas. Trazabilidad en la cadena alimentaria para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas”. 17p.
 18. LEÓN, J.; RE, B.; ROMERO, L. 2020. Ventajas del uso de sistemas de trazabilidad electrónica en procesos de manufactura. *Información Tecnológica*. 31(1):237-244. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642020000100237>
 19. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. 2018. Decreto 931 de 2018. “Por el cual se crea el Sistema de Trazabilidad Vegetal y se incluye como Título 11 de la parte 13 del Libro 2 del Decreto 1071 de 2015, Único reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural.”
 20. MORENO, J.; BLANO, C.; MENDOZA, R. 2009. Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano en la región del Magdalena. Primera edición. Ed. Comunicaciones Augura (Medellín. Colombia).
 21. PACHECO, T. 2018. Regulación de los Bancos de Germoplasma a nivel internacional, europeo y nacional. Acceso a Recursos filogenéticos Ex situ. *Rev. Justicia y Derecho*. 1(1):101-111.
 22. PAPP, I.; LLIPOPOULOS, C.; MASSOURAS, T. 2018. What determines the acceptance and use of electronic traceability systems in agri-food supply chains? *J. Rural Studies*. United Kingdom. 58:123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.01.001>
 23. PIZZUTI, T.; MIRABELLI, G. 2015. The global Track&Trace system for food: general framework and functioning principles. *J. Food Engineering*. United Kingdom. 159:16-35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.001>
 24. PUERTA, G. 2007. Registro de la trazabilidad del café en la finca. *Avances Técnicos Cenicafé*. 355. Disponible desde Internet en: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/375/1/avt0355.pdf> (con acceso 11/08/2020).
 25. QIAN, J.; RUIZ, L.; FAN, B.; ROBLA, J.; MCCARTHY, U.; ZHANG, B.; YU, Q.; WU, W. 2020. Food traceability system from governmental, corporate, and consumer perspectives in the European Union and China: A comparative review. *Trends in Food Science and Technology*. 99:402-412. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.025>
 26. SANTONIERI, L.; BUSTAMANTE, P. 2016. Conservação ex situ e on farm de recursos genéticos: Desafios para promover sinergias e complementaridades. *Boletim Do Museu Paraense Emilio Goeldi: Ciências Humanas*. 11(3):677-690. <https://doi.org/10.1590/1981.81222016000300008>
 27. SOUTH SUDAN RURAL DEVELOPMENT PROGRAMME, SORUDEV. 2018. Good Quality Seed Production Guide Smallholder Farmers in South Sudan A Field Guide for Extension Workers. 59p.
 28. THAKUR, M.; DONNELLY, K. 2010. Modeling traceability information in soybean value chains. *J. Food Engineering*. United Kingdom. 99:98-105. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.02.004>
 29. THAKUR, M.; TVEIT, G.; VEVLE, G.; YURT, T. 2020. A framework for traceability of hides for improved supply chain coordination. *Computers and Electronics in Agriculture*. Netherlands. 174:105478. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105478>

30. TORANZO, M.; CYSNEIROS, G.; GÓMEZ, Y.; RODRÍGUEZ, O. 2012. Towards a framework for improving requirement traceability. *Ingeniería e investigación*. Colombia. 32:48-52.



Evaluación fenotípica de semillas de haba (*Vicia faba* L.) colectadas en Nariño-Colombia

Phenotypic evaluation of broad bean (*Vicia faba* L.) seeds collected in Nariño-Colombia

David Álvarez-Sánchez¹; Claudia Salazar-González²; Benjamín Sañudo-Sotelo³; Carlos Betancourth-García⁴

¹Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: daealvarezsa@udenar.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-3563-2529>

²Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: claudiasalazarg@udenar.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-5461-2761>

³Ing. Agrónomo. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: benjaminsañudo@yahoo.es; <https://orcid.org/0000-0001-9943-5650>

⁴Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: cbet70@udenar.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-6573-4230>

Cómo citar: Álvarez-Sánchez, D.; Salazar-González, C.; Sañudo-Sotelo, B.; Betancourth-García, C. 2021. Evaluación fenotípica de semillas de haba (*Vicia faba* L.) colectadas en Nariño-Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1874. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1874>

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

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

Recibido: febrero 21 de 2021

Aceptado: octubre 25 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El haba es una leguminosa asociada a sistemas campesinos de clima frío. En Colombia, se cultiva, principalmente, en el departamento de Nariño, donde se ha visto reducida el área y el número de materiales sembrados, debido a la disminución en los niveles de rendimiento del cultivo y la agresividad de los problemas fitosanitarios. Este estudio evaluó la diversidad de esta leguminosa, a partir de la forma y color de la semilla, en una colección de 60 accesiones de haba, discriminadas en siete variedades. Mediante el procesamiento de imágenes digitales y medición manual, se determinó la longitud polar (LP), longitud ecuatorial (LE), relación LP/LE, área (AR), grosor (GR) y peso de cien semillas (P100); además, se calcularon los parámetros de color, basados en la escala CIELab (L^* , a^* y b^*). Las variables, se analizaron con estadística descriptiva, correlación de Pearson y el método multivariado de

componentes principales (ACP). Los resultados identificaron alta diversidad de fenotipos, caracterizando, cuantitativamente, las siete variedades. Se presentó correlación alta entre las variables LP, LE y AR, igualmente, entre L^* y b^* . Con el biplot de los resultados de ACP, se ratificó la variabilidad de la colección y permitió generar una agrupación preliminar. La investigación, se puede tomar en cuenta como base para el desarrollo de trabajos de conservación y de evaluación agronómica de esta leguminosa.

Palabras clave: Color; Leguminosas; Morfometría; Recurso genético; Variación fenotípica.

ABSTRACT

Fava bean is a legume associated with cold climate farming systems. In Colombia, it is grown mainly in the department of Nariño,

where the area and number of planted materials have been reduced due to the decrease in crop yield levels and the aggressiveness of phytosanitary problems. This study evaluated the diversity of this legume based on seed shape and color in a collection of 60 bean materials divided into seven varieties. Through digital image processing and manual measurement, polar length (LP), equatorial length (LE), LP/LE ratio, area (AR), thickness (GR) and hundred seed weight (P100) were determined, and color parameters based on the CIELab scale (L^* , a^* and b^*) were calculated. The variables were analyzed with descriptive statistics, Pearson's correlation and the multivariate principal component method (PCA). The results identified a high diversity of phenotypes, quantitatively characterizing the seven varieties. There was a high correlation between the variables LP, LE and AR, as well as between L^* and b^* . The biplot of the PCA results confirmed the variability of the collection and made it possible to generate a preliminary grouping. The research can be taken into account as a basis for the development of conservation and agronomic evaluation of this legume.

Keywords: Legumes; Morphometrics; Phenotypic variation; Color; Genetic resource.

INTRODUCCIÓN

El haba (*Vicia faba* L.) es una especie subcosmopolita, posiblemente, originada en el Cercano Oriente o en Asia Menor, a partir de ancestros desconocidos (Duc *et al.* 2015). Perteneció a la familia *Fabaceae*, que es la más importante del orden *Fabales*, considerada la tercera familia de las Angiospermas, en cuanto al número de especies y, en el segundo lugar, en importancia económica (De la Rosa & Fajardo, 2016).

La migración del haba a Sudamérica, especialmente a los Andes, ocurrió durante el siglo XV, junto con la conquista española y portuguesa (Duc *et al.* 2015), con la introducción de una multiplicidad de materiales, que fueron seleccionados de manera natural, por lo que quedan solo aquellos que se adaptaron a las condiciones de trópico, lo que proporciona una fuente valiosa de variación genética (Horque, 2004).

Las semillas contenidas en vainas, se utilizan, principalmente, para consumo humano secas o frescas; presentan un elevado contenido proteico, que varía entre el 16 y el 35 %, de acuerdo con la variedad y las condiciones ambientales (Pérez *et al.* 2015; Karkanis *et al.* 2018; Khazaei & Vandenberg, 2020). Son una fuente de aminoácidos esenciales y poseen altos contenidos de K, Ca, Mg, Fe y Zn (Khazaei & Vandenberg, 2020).

El haba, también se emplea en la alimentación de animales (Duc *et al.* 2015). Además, por la capacidad que tienen las raíces para establecer simbiosis con las bacterias *Rhizobium leguminosarum* y con la micorriza vesículo-arbuscular, que le permiten fijar nitrógeno atmosférico, es utilizada para preservar la fertilidad del suelo y generar mayor actividad biológica (Karkanis *et al.* 2018; Khazaei & Vandenberg, 2020).

En Colombia, el cultivo se basa en el uso de variedades locales en sistemas campesinos de baja inversión, donde los agricultores destinan la cosecha, especialmente, para autoconsumo. Se registra un promedio de producción de 7.304 toneladas de haba en fresco, en un área sembrada de 1.084 hectáreas, siendo Nariño el principal departamento productor, a nivel nacional, con una concentración del 80 % de la cosecha del país (MADR, 2021).

Cabe señalar que, en las últimas dos décadas, la modificación en la dinámica agrícola de la región altoandina del departamento de Nariño ha causado presión, especialmente, sobre los cultivos de baja rentabilidad económica y de autoconsumo, poniendo en riesgo a diferentes sistemas de producción tradicionales (Álvarez *et al.* 2019). En el caso del haba, se redujo el área sembrada de 2.000 ha, en 1999, a un estimado de 630 ha, para el 2019, con el consecuente impacto en la disminución de la siembra de diferentes variedades comerciales (Sañudo *et al.* 1999; MADR, 2021), en la erosión del germoplasma y en la pérdida irreparable de materiales sobresalientes.

A pesar de esto, la variabilidad genética sigue siendo importante en este departamento, especialmente, en los sistemas campesinos, que han contribuido a la protección, la selección e intercambio de materiales de *V. faba*, conscientes del valor que representa esta leguminosa en la dieta y la dinámica agrícola. Practicando por los productores la conservación *in situ*, en donde se conjugan los saberes del entorno, el comportamiento de la especie y un conocimiento heredado perfeccionado por la experimentación empírica (Díaz *et al.* 2008).

En este sentido, Herrera *et al.* (2013) sustentan la importancia de coleccionar y de estudiar el germoplasma local, dado que esto permite conocer la variación genética e identificar características deseables dentro de la población. Concretamente, en el haba, Duc *et al.* (2015) y Karkanis *et al.* (2018) sugieren la evaluación preliminar de los rasgos asociados a las semillas para diseñar, eficientemente, los programas de conservación o selección.

Por lo anterior, el presente trabajo buscó evaluar la variación fenotípica de semillas de haba colectadas en el departamento de Nariño, Colombia. Lo que permitirá tener una determinación aproximada de la variabilidad de *V. faba*, en las zonas donde se cultiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección y disposición de las semillas. Se evaluaron siete variedades de haba de la colección de trabajo del Grupo de Investigación en Sanidad Vegetal GRISAV, obtenidas de lotes fenotípicamente homogéneos y geográficamente aislados, de la región altoandina del departamento de Nariño. El código empleado para identificar las variedades fue: Alp = Alpargata; Ar = Argentina; Bn = Beso de novia; Bc = Blanca común; Ro = Roja; Rs = Rosada y Sv = Semiverde (Tabla 1).

Tabla 1. Identificación de los materiales de *Vicia faba*, colectados en el departamento de Nariño, Colombia y depositados en la colección GRISAV.

Municipio	Altitud m s.n.m.	Temperatura promedio °C	Código
Pasto	2.520 - 2.870	14,4	Bc-1; Bc-2; Ro-3; Bc-4; Alp-5; Bc-10; Bc-35; Bc-36; Bc-37; Bc-38; Bc-39; Bc-40; Ar-41; Bc-42; Bc-43; Bc-44; Bc-45; Bc-46; Bc-47; Ro-48; Bc-49; Ro-53; Bc-54; Bc-55; Ro-56; Alp-57; Rs-58; Bn-59; Rs-60
Ipiales	2.830 - 2.980	14,3	Ar-15; Ro-17; Sv-26; Ro-27; Ar-28; Ro-29; Bc-30; Ar-33; Bc-34; Bc-51; Bc-52
Córdoba	2.760 - 2.860	13,4	Bc-11; Bc-12; Bc-20; Ro-21; Ro-22; Rs-23; Bc-24; Bn-25
Guachucal	3.160 - 3.188	13,3	Bn-5; Ro-6; Bc-7; Rs-8; Bc-50
Tuquerres	2.580 - 3.023	11,1	Alp-9; Rs-13; Bc-14; Bc-18
Potosí	2.622	12,9	Rs-19; Bc-31; Ro-32
Carlosama	2.985	17,6	Bc-16

Cada variedad contó con un número heterogéneo de accesiones Alp (3), Ar (5), Bn (3), Bc (29), Ro (11), Rs (8) y Sv (1), para un total de 60 materiales. En laboratorio, la evaluación morfológica y la estimación del color requirieron de 30 semillas seleccionadas al azar de cada material, así como tres grupos de cien semillas, para determinar el peso.

Captura de imágenes digitales. Se construyó un escenario con luz artificial, porta cámara y una placa de cerámica blanca no refractante, que permitió la captación de imágenes estandarizadas, mediante cámara digital (SONY®, HX300), dotada con zoom óptico de 50x.

Las fotografías con resolución de 15 MP, se procesaron en el software ImageJ 1.53e (National Institutes of Health, Bethesda, USA), teniendo una medida de referencia de tamaño de 10 cm.

Morfología de la semilla. A cada semilla, se le tomaron medidas de longitud en cm. Longitud polar (LP), estimada en el paralelo más alto al hilio y longitud ecuatorial (LE), estimada en la zona media de la semilla; con éstas, se midió la relación longitud polar/longitud ecuatorial (LP/LE); además, en cm², se calculó el área de la semilla (AR). Los valores obtenidos fueron sometidos sistemáticamente a una comparación manual, usando un calibrador digital (Vinca, DCLA), con una lectura de $\pm 0,01$ cm, para comprobar la coincidencia entre los dos métodos.

El grosor (GR), se estimó en la zona media de cada semilla con el calibrador digital y el peso de cien semillas (P100), se determinó en tres repeticiones, utilizando una balanza electrónica, con un error de 0,01g.

Color de la semilla. Con el uso de las fotografías digitales, se cuantificaron los parámetros de color en el software ImageJ 1.53e, basado en la escala CIELab (International Commission on Illumination), descrita por Yildiz *et al.* (2016), como: L* (luminosidad) de negro = 0 a blanco = 100; cromaticidad a* de rojo-púrpura =

valor positivo a verde-azul = valor negativo y cromaticidad b* de amarillo = valor positivo al azul = valor negativo. Al igual que en la estimación morfológica, se realizó comparación de los resultados proporcionados por el software, con un equipo espectrofotómetro Konica Minolta, CM-5.

Adicionalmente, se identificó el color de hilio (CH), con las categorías: oscuro/claro y color secundario de la semilla (CS) con las categorías: presencia/ ausencia.

Análisis estadístico. Las variables morfológicas y de color de la semilla fueron estudiadas, mediante estadística descriptiva, correlación lineal de Pearson (r) y el método estadístico de componentes principales (ACP). Este último, buscó transformar el conjunto de p variables en componentes independientes, con el fin de estimar la variabilidad existente en la colección y la explorar la posibilidad de generar una agrupación para las 60 accesiones de haba.

Además, a partir de las mediciones realizadas sobre una muestra aleatoria de 100 semillas, se aplicó la prueba de T Student, con un grado de significancia de $p < 0,05$, para contrastar las medias entre el método de estimación manual y digital en las variables LP y LE, así como los parámetros de color L, a* y b*, por el método digital y el espectrofotómetro.

Para el análisis de los estadísticos, se utilizó el lenguaje de programación R v.4.1.1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria), utilizando la función t.test y el paquete Factoextra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfología de la semilla. El análisis de imágenes digitales no mostró diferencias significativas respecto a las estimaciones morfológicas realizadas manualmente, como se observa en la tabla 2, en donde se registró, para las variables LP y LE, un p-valor mayor a $\alpha = 0,05$. Al considerar los 1.800 registros de semillas que

se analizaron, se confirman los beneficios referidos respecto a la confiabilidad y rapidez de la metodología digital, indicados en otras investigaciones (Varga *et al.* 2019; Di Cecco *et al.* 2019).

Como resultado, las mediciones resumidas en la tabla 3, sugieren variación entre y dentro de las variedades de haba en la colección. Las primeras variables refieren semillas maduras, con valores promedio en LP, desde 2,28 a 3,05 cm y en LE, desde 1,78 a 2,28 cm.

Tabla 2. Prueba T Student para la igualdad de medias, entre la forma y el color de las semillas de haba, colectadas en el departamento de Nariño, Colombia y depositadas en la colección GRISAV (n=100)*.

Parámetro	Intervalo de Confianza	t	P-valor
LP	-0,13 - 0,20	0,433	0,669
LE	-0,02 - 0,18	1,72	0,107
L*	-6,87 - 5,78	-0,18	0,859
a*	-1,32 - 8,94	1,61	0,132
b*	-3,26 - 2,77	-0,17	0,863

LP: longitud polar; LE: longitud ecuatorial; L*: (luminosidad) de negro; a*: cromaticidad de rojo-púrpura; b*: cromaticidad de amarillo.

Tabla 3. Morfología de 60 accesiones de semilla en *Vicia faba*, colectadas en Nariño, Colombia y depositadas en la colección GRISAV.

Parámetros		Variedades de haba						
		Alp	Ar	Bn	Bc	Ro	Rs	Sv
LP	\bar{x}	3,05	2,28	2,32	2,55	2,51	2,41	2,49
	ds	0,17	0,10	0,21	0,18	0,01	0,25	-
LE	\bar{x}	2,28	1,83	1,78	2,00	1,90	1,80	1,85
	ds	0,03	0,10	0,17	0,15	0,11	0,19	-
AR	\bar{x}	4,83	3,11	3,10	3,77	3,56	3,33	3,58
	ds	0,47	0,31	0,54	0,51	0,25	0,63	-
LP/LE	\bar{x}	1,31	1,23	1,30	1,27	1,32	1,35	1,34
	ds	0,05	0,05	0,04	0,07	0,07	0,05	-
GR	\bar{x}	0,65	0,66	0,56	0,64	0,64	0,63	0,62
	ds	0,14	0,04	0,06	0,05	0,04	0,07	-
P100	\bar{x}	244,5	160,9	144,2	177,9	183,0	171,2	191,4
	ds	12,33	40,47	18,90	33,87	27,52	23,51	-
Número de accesiones		3	5	3	29	11	8	1

*LP: Longitud polar; LE: Longitud ecuatorial; AR: Área de la semilla; GR: Grosor de la semilla; P100: Peso 100 semillas; dc: desviación estándar; Alp= Alpagata; Ar= Argentina; Bn= Beso de novia; Bc=Blanca común; Ro=Roja; Rs=Rosada; Sv=Semiverde.

Estos valores son similares a los estudios realizados en México, por Pérez *et al.* (2015) y Salamanca *et al.* (2018), quienes reportan un rango de LP, entre 2,03 a 3,17 cm y LE desde 1,41 a 2,14 cm, pero menor al valor obtenido por De Cillis *et al.* (2019), quienes evaluaron seis materiales de la región de Puglia, Italia, registrando una LP, entre 2,1 a 2,3 cm y una LE, de 1,3 a 1,5 cm, posiblemente, esta diferencia se deba al hecho que estos autores evaluaron semillas de agricultor, normalmente, de menor tamaño que las variedades comerciales.

La estimación de la LP superior a 2,0 cm permitió clasificar la totalidad de la colección de *V. faba* dentro de la subespecie botánica *major*, cultivada para consumo humano, a nivel mundial, que se

diferencia de las subespecies *minor* y *equina*, por el tamaño de la semilla (Alghamdi *et al.* 2017; Alharbi & Adhikari, 2020).

Por otra parte, se destaca alta dispersión en el AR promedio de las semillas, mostrando un rango de 3,10 - 4,83 cm² (Tabla 3). Para Duc *et al.* (2015), esta variable junto a los valores de longitud, son considerados como descriptores relevantes para la especie, lo que permite captar información de la diversidad genética entre accesiones. También, pueden ser utilizados como indicadores de selección en el mejoramiento genético, por su relación con el rendimiento en campo (Yildiz *et al.* 2016; Di Cecco *et al.* 2019; Alharbi & Adhikari, 2020).

A partir de los valores morfológicos, las variedades Beso de novia, Argentina y Rosada fueron catalogadas como pequeñas; las variedades Semiverde, Roja y Blanca común, se agruparon con tamaño medio y la variedad Alpargata fue definida como un material de semillas grandes (Tabla 3). Este agrupamiento propuesto para describir las variedades de haba cultivadas en Nariño, se generó a partir de los criterios cuantitativos, que concordaron con las categorías de tamaño de semilla y la asignación realizada por Sañudo *et al.* (1999).

En esta región, la comercialización de materiales con semilla mediana a grande y de color blanco es mayor, razón por la cual, las variedades Alpargata y Blanca común representan 80 % de los cultivos de Nariño (Sañudo *et al.* 1999). Las variedades de haba con semillas de menor tamaño son, usualmente, empleadas como un cultivo para el autoconsumo y como una estrategia de recuperación de suelos de baja fertilidad, por la incorporación de material vegetal y el aporte de nitrógeno, cualidades también referidas en México, por Díaz *et al.* (2008).

Además, se pudo establecer que el tamaño de la semilla para el productor constituye un carácter importante al momento de planificar la siembra, al realizar selección de semillas grandes dentro de la variedad utilizada, con el fin de mejorar la tasa de emergencia y vigor de la planta. Al respecto, se ha determinado que, efectivamente, la morfología de la semilla presenta una correlación estadística significativa con las variables altura de planta, número de folíolos, número de vainas y número de tallos (Pérez *et al.* 2015; Alharbi & Adhikari, 2020).

Otro rasgo abordado fue la relación entre las dos longitudes, en el índice LP/LE, que permitió aproximarse a la forma observada en las semillas. Valores menores a 1,24 fueron característicos de semillas con morfología ovada ancha, en donde el ápice inferior de la semilla fue más amplio que el superior; a medida que la relación fue mayor, las semillas presentaron una forma arriñonada, ovada-reniforme (LP/LE de 1,24 a 1,32) y elipsoide-reniforme (LP/LE mayor a 1,32).

A partir de los valores de referencia propuestos, 13 % de los cultivares fueron clasificados en la forma ovada ancha, característico de la variedad Argentina. La forma ovada-reniforme fue la más frecuente en la colección, con el 64 %, distintiva en las variedades Alpargata, Beso de novia, Blanca común y Roja, igualmente, típica en materiales peruanos y mexicanos (Horque, 2004; Salamanca *et al.* 2018). Por el contrario, las variedades Rosada y Semiverde presentaron una característica elipsoide-reniforme, que representó el 23 %, que agrupa a las semillas más largas.

Al continuar con esta descripción, se observó que en las accesiones el grosor de la semilla presentó un valor semejante, con un promedio entre 0,62 cm, en la variedad Semiverde, a 0,66 en la variedad Argentina (Tabla 3); estos valores estuvieron por debajo del rango reportado por Pérez *et al.* (2015) y Salamanca *et al.* (2018), de 0,68 a 1,40 cm y dado que no hay una descripción detallada de la metodología empleada para conocer GR por los anteriores autores,

esta diferencia, se podría deber al lugar, en el cual, se realizó la medición, presumiblemente, con mayor coincidencia, si en este estudio se hubiese realizado en el extremo superior de la semilla.

Sobre esta variable no se encontró una asociación clara respecto a las variedades evaluadas. También, Salamanca *et al.* (2018) pudieron establecer este rasgo, al indicar que el grosor no varía proporcionalmente con el peso o tamaño de las semillas de los materiales de haba.

La variable peso de cien semillas registró valores promedios entre variedades de 144,2 - 244,5 g (Tabla 3). Que, al seguir con los planteamientos de Duc *et al.* (2015) y Alharbi & Adhikari (2020), materiales de haba, con un valor mayor a 100 g, están relacionados con el grupo taxonómico *major*, lo que confirma la clasificación que se había sugerido a partir de LP.

Las variedades de semillas pequeñas de forma general mostraron un P100 menor a 180 g; las de tamaño mediano, entre 180 a 230 g y en el tamaño grande, un valor superior 230 g; de estos dos últimos grupos, se destacan, por el peso, las accesiones Alp-57 (253,2 g), Alp-9 (243,6 g), Alp-5 (235,8 g), Bc-16 (226 g) y Bc-14 (221,6 g), colectados en los municipios de Pasto, Tuquerres y Carlosama.

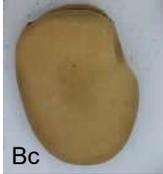
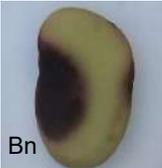
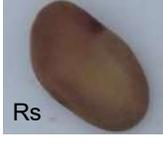
Si se comparan estos valores con el promedio reportado por Horque (2004), de 144,7 g, Rebaa *et al.* (2017), con 161,0 g y Salamanca *et al.* (2018), con 185,5 g, es posible identificar a diferentes accesiones de la colección GRISAV, como altamente deseadas en el mercado de grano seco en esta leguminosa, por lo cual, se debería explorar el potencial de aceptación nacional y de exportación.

Color de la semilla. En apoyo a la identificación cualitativa de los productores de haba, los materiales se distribuyeron en semillas blancas (59 %), rojas (17 %), rosadas (13 %) y verdes (3 %). Además, la colección contó con tres accesiones de la variedad Beso de novia (8 %), con presencia de color secundario.

En la tabla 4, se puede visualizar representantes de las variedades de *Vicia faba* estudiadas y el valor promedio de los parámetros CIELab. La clasificación, a partir del color de la semilla, coincide con varios registros de la especie, además, concuerda con un mayor reporte de frecuencia de color blanco o crema (Duc *et al.* 2015; Karkanis *et al.* 2018; De Cillis *et al.* 2019); sin embargo, no se identificaron materiales negros, grises o amarillos, también referidos por Horque (2004) y Karkanis *et al.* (2018).

Es necesario indicar que el color está relacionado con el cambio de las semillas de verde a otras tonalidades, ya que la clorofila se descompone y se acumulan nuevos compuestos durante la maduración (De Cillis *et al.* 2019), por lo cual, la diversidad presentada en el haba, posiblemente, se deba a mutaciones específicas en algunos genes, que se estabilizan en las poblaciones y han permitido realizar selección y clasificación, tanto a productores como a mejoradores (Yildiz *et al.* 2016).

Tabla 4. Estimación de parámetros CIELab de semilla de *Vicia faba*, colectadas en Nariño, Colombia y depositadas en la colección GRISAV.

Variedad*	CIELab	dst.	Variedad*	CIELab	dst.
 Alp	L: 50,53 a*: 3,69 b*: 32,17	L: $\pm 4,8$ a*: $\pm 0,1$ b*: $\pm 4,4$	 Bc	L: 57,28 a*: -6,24 b*: 32,13	L: $\pm 6,9$ a*: $\pm 6,0$ b*: $\pm 2,7$
 Ar	L: 60,95 a*: -4,79 b*: 31,24	L: $\pm 5,3$ a*: $\pm 3,9$ b*: $\pm 2,3$	 Ro	L: 16,43 a*: 13,48 b*: 5,09	L: $\pm 4,3$ a*: $\pm 3,3$ b*: $\pm 2,5$
 Bn	L ₁ : 59,07 a ₁ *: -6,98 b ₁ *: 32,77	L: $\pm 8,3$ a*: $\pm 3,9$ b*: $\pm 0,9$	 Rs	L: 31,90 a*: 15,44 b*: 17,60	L: $\pm 2,9$ a*: $\pm 5,3$ b*: $\pm 1,2$
	L ₂ : 12,11 a ₂ *: 5,58 b ₂ *: 1,30	L ₂ : $\pm 8,6$ a ₂ *: $\pm 4,2$ b ₂ *: $\pm 6,1$	 Sv	L: 49,77 a*: -12,45 b*: 29,04	L: $\pm 2,0$ a*: $\pm 0,9$ b*: $\pm 1,7$

*Alp= Alpargata; Ar= Argentina; Bn= Beso de novia; Bc=Blanca común; Ro=Roja; Rs=Rosada; Sv=Semiverde.

La cuantificación de esta característica, resumida en la tabla 4, puede reducir la subjetividad vinculada con la inspección visual, dotando de valores numéricos para la comparación del germoplasma entre variedades y accesiones, respaldado, además, en el hecho, que no se encontraron diferencias estadísticas, mediante la prueba de T Student, entre el método digital y el espectrofotómetro, presentando una variación inferior a 17 %, que es asumido como aceptable, por Varga *et al.* (2019), al comparar los mismos métodos en semillas de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

El grupo de semillas de las variedades Argentina, Alpargata, Blanca común y Beso de novia (color principal) mostraron un valor de luminosidad (L*) por encima de 50, describiendo una tonalidad clara que, junto a valores bajos y negativos en el eje a*, con valores altos y positivos en el eje b*, alude una combinación que tiende al amarillo (Tabla 4).

Khazaei & Vandenberg (2020) encontraron que los colores claros en estas semillas, se relacionan con mayores contenidos de proteína, en comparación con semillas de otro color; además, estos autores registraron proporciones importantes de Ca, Mg, Fe y Zn, en las semillas claras, que son minerales que, a menudo, faltan en la dieta humana.

Por el contrario, las semillas rosadas y rojas están asociadas con la presencia de compuestos flavonoides, antocianinas y taninos (Yildiz *et al.* 2016; Khazaei & Vandenberg, 2020). En este trabajo, los parámetros CIELab presentaron un valor positivo y alto en el

eje a*, que indica mayor influencia del color rojo; un valor bajo en el eje ortogonal b* y la luminosidad fue distintiva, siendo mayor en la variedad Rosada y menor en la variedad Roja (Tabla 4).

La variedad identificada como Semiverde presentó el valor negativo más alto en el parámetro a* (tonalidad verde), junto a valores de L* y b*, que indican alta luminosidad y tonalidad secundaria amarilla (Tabla 4); posiblemente, estas semillas presenten concentraciones residuales de clorofilas a y b, como lo ha mencionado De Cillis *et al.* (2019).

Finalmente, relacionado al color, se identificó que solo los materiales Bc-55 y Rs-58 presentaron semillas con hilio claro en la colección, una característica poco común, debido al predominio del color negro. Respecto a esto, Duc *et al.* (2015) determinaron que esta condición involucra a los genes recesivos *zt-1* y *zt-2*, que controlan la ausencia de taninos en esta estructura. Al ser una característica poco estudiada, no se encontraron reportes sobre relaciones funcionales o diferencias productivas, por lo cual, sería importante estudiar esta condición, en trabajos futuros.

Análisis de correlación. A partir de la tabla 5, se destaca la relación que se presentó entre la longitud polar y ecuatorial con las demás variables evaluadas, lo que confirma la importancia de estas mediciones, al estudiar la morfología de las semillas de haba (Duc *et al.* 2015; De Cillis *et al.* 2019).

cuadrante ortogonal, se situó un segundo grupo de accesiones con características inversas, donde sobresalen materiales, como Bn-59, Bc-55 y Ar-41, Ar-33 y Ar-15.

Un tercer grupo presentó características intermedias respecto a la morfología de la semilla y, particularmente, una forma más alargada por la relación LP/LE; además, éste fue separado a partir del color, ubicándose en referencia al eje 2, en el cuadrante positivo. Todos los materiales de la variedad Roja y Rosada integraron este tercer grupo, opuesto a las semillas claras, que se ubicaron en el cuadrante negativo, del mismo eje (Figura 1).

A propósito, Varga *et al.* (2019) identificaron en semillas de frijol, que los parámetros de color, cuando son integrados al análisis de diversidad, aportan una cantidad indispensable de información en el ACP y contribuyen, de forma significativa, a la conformación de grupos, dentro de una colección.

En trabajos similares, se explica que, parte de la diferenciación morfológica y de color de las semillas de haba, se dio como resultado de la selección dirigida a favorecer características de interés y del intercambio por parte de los productores entre regiones (Herrera *et al.* 2013; Rebaa *et al.* 2017; Karkanis *et al.* 2018), una práctica común, a partir del “trueque” o cambio y del préstamo de semilla, entre agricultores en Nariño.

El ambiente, también es considerado como un factor que puede influir sobre el genotipo y el fenotipo de los materiales de haba, lo que provoca respuestas cuantificables sobre la morfología de las semillas (Salamanca *et al.* 2018; Alharbi & Adhikari, 2020), es decir, en ambiente favorable, el tamaño de las semillas aumenta y en ambientes restrictivos, el tamaño disminuye, por lo que se ha propuesto una alta plasticidad fenotípica en las especies leguminosas. Incluso, Di Cecco *et al.* (2019) establecieron la relación entre la precipitación de una región y cambios en la tonalidad del color de las semillas de *Astragalus aquilannus*.

Basados en la tasa de polinización cruzada natural del haba, que oscila entre 10 y 70 %, se debe considerar el flujo genético como un factor de variabilidad en el genotipo y el fenotipo (Duc *et al.* 2015; Alghamdi *et al.* 2017), lo que indica que, bajo situaciones de polinización cruzada, el color de las semillas podría cambiar de una generación a otra. Al respecto, Rebaa *et al.* (2017) encontraron, en estudios realizados en Tunes, elevado flujo de genes entre localidades geográficas, debido a la acción de los insectos polinizadores, como abejorros y una gran diversidad de abejas solitarias, de los géneros *Anthopora* y *Xylocarpa*.

Lo anterior indica, que evaluar la semilla de haba para conocer su diversidad a partir de la forma y color de la semilla debe, ser acompañada de evaluaciones complementarias, porque puede no ser repetible, por el efecto del ambiente, del cruzamiento y de la interacción genotipo por ambiente; sin embargo, le da a la especie varias estrategias para adaptarse al entorno ecológico, en donde la producción de semillas heterogéneas, probablemente, sea una consecuencia de ello y que permite confirmar que en Nariño

existe diversidad asociada al cultivo, un recurso fundamental para establecer y gestionar acciones de conservación, responder a las necesidades de los productores y proporcionar fuentes de germoplasma, útiles para los mejoradores.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue financiada por la Gobernación de Nariño y CEIBA, proyecto “Fortalecimiento de Capacidades Regionales en Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en el Departamento de Nariño”.

REFERENCIAS

1. ALGHAMDI, S.; AL-FAIFI, S.; MIGDADI, H.; AL-ROWAILY, S.; EL-HARTY, E.; FAROOQ, M. 2017. Genetic diversity and field performance of mung bean, faba bean and lentil genotypes in the Kingdom of Saudi Arabia. *Internal J. Agriculture and Biology (Pakistán)*. 19(4):689-696. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0336>
2. ALHARBI, N.; ADHIKARI, K. 2020. Factors of yield determination in faba bean (*Vicia faba*). *Crop and Pasture Science (Australia)*. 71(4):305-321. <https://doi.org/10.1071/CP19103>
3. ÁLVAREZ, D.; GÓMEZ, E.; ORDÓÑEZ, H. 2019. Tipología de fincas productoras de arveja (*Pisum sativum* L.) en la subregión Sur de Nariño, Colombia. *Cienc Tecnol Agropecuaria (Colombia)*. 20(3):659-677. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1593
4. DE CILLIS, F.; LEONI, B.; MASSARO, M.; RENNA, M.; SANTAMARIA, P. 2019. Yield and quality of faba bean (*Vicia faba* L. var. *major*) genotypes as a vegetable for fresh consumption: A comparison between Italian landraces and commercial varieties. *Agriculture (Suiza)*. 9:253-267. <https://doi.org/10.3390/agriculture9120253>
5. DE LA ROSA, L.; FAJARDO, J. 2016. La agrobiodiversidad como elemento de la seguridad alimentaria y ambiental. *Arbor (España)*. 192(779):a316. <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3006>
6. DI CECCO, V.; DI MUSCIANO, M.; D'ARCHIVIO, A.; FRATTAROLI, A.; DI MARTINO, L. 2019. Analysis of intraspecific seed diversity in *Astragalus aquilannus* (Fabaceae), an endemic species of Central Apennine. *Plant Biology (Holanda)*. 21(3):507-514. <https://doi.org/10.1111/plb.12844>
7. DÍAZ, M.; HERRERA, B.; RAMÍREZ, J.; ALIPHAT, M.; DELGADO, A. 2008. Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) en la

- sierra norte de Puebla México. *Interciencia* (México). 33(8):610-615.
8. DUC, G.; ALEKSIC, J.; MARGET, P.; MIKIC, A.; PAULL, J.; REDDEN, R.; TORRES, A. 2015. Faba bean. En: De Ron, A. (Ed.). *Grain legumes*. Ed. Springer (UK). p.141-178.
 9. HERRERA, B.; CASTILLO, F.; ORTEGA, R.; DELGADO, A. 2013. Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* (México). 36(1):33-43.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2013.1.33>
 10. HORQUE, R. 2004. *Cultivo del haba*. Ed. INIA (Perú). 52p.
 11. KARKANIS, A.; NTATSI, G.; LEPSE, L.; FERNÁNDEZ, J.; VÅGEN, I.; REWALD, B.; SAVVAS, D. 2018. Faba bean cultivation: revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science* (Suiza). 9:1-14.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01115>
 12. KHAZAEI, H.; VANDENBERG, A. 2020. Seed mineral composition and protein content of faba beans (*Vicia faba* L.) with contrasting tannin contents. *Agronomy* (Suiza). 10(511):2-10.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10040511>
 13. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. 2021. Área, producción, rendimiento y participación municipal de haba. Disponible desde Internet en:
<https://n9.cl/j0pav> (con acceso 4/10/2021).
 14. PÉREZ, D.; GONZÁLEZ, A.; RUBÍ, M.; MORA, F.; PASCUAL, J.; PADILLA, A. 2015. Análisis de 35 cultivares de haba por su producción de vaina verde y otros componentes del rendimiento. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* (México). 6(7):1601-1613.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v6i7.553>
 15. REBAA, F.; ABID, G.; AOUIDA, M.; ABDELKARIM, S.; AROUA, I.; MUHOVSKI, Y.; JEBARA, M. 2017. Genetic variability in Tunisian populations of faba bean (*Vicia faba* L. var. *major*) assessed by morphological and SSR markers. *Physiology and Molecular Biology of Plants* (India). 23(2):397-409.
<https://doi.org/10.1007/s12298-017-0419-x>
 16. SALAMANCA, G.; DELGADO, A.; HERRERA, B.; MENDOZA, M.; CONDE, V. 2018. Variación en tamaño de grano y rendimiento de almidón en cultivares de *Vicia faba* L. *Agro Productividad* (México). 11(7):67-72.
 17. SAÑUDO, B.; CHECA, O.; ARTEAGA, G. 1999. Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas de Nariño. Ed. Universidad de Nariño (Colombia). 59p.
 18. VARGA, F.; VIDAK, M.; IVANOVIĆ, K.; LAZAREVIĆ, B.; ŠIRIĆ, I.; SREČEC, S.; CAROVIĆ-STANKO, K. 2019. How does computer vision compare to standard colorimeter in assessing the seed coat color of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)? *J. Central European Agriculture* (U.E.). 20(4):1169-1178.
<http://dx.doi.org/10.5513/JCEA01/20.4.2509>
 19. YILDIZ, G.; CIL, A.; TIRYAKI, I. 2016. Revealing seed coat colour variation and their possible association with seed yield parameters in common vetch (*Vicia sativa* L.). *International Journal of Agronomy* (E.E.U.U.). 2016:1-10.
<http://dx.doi.org/10.1155/2016/1804108>



Effect of regulated deficit irrigation (RDI) on the vegetative growth of pear variety Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.)

Efecto del riego deficitario controlado (RDC) en el crecimiento vegetativo del peral variedad Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.)

Javier Enrique Vélez-Sánchez¹; María Jaqueline Molina-Ochoa²; Pedro Rodríguez-Hernández³

¹Agricultural Engineer. Universidad Nacional de Colombia, Department of Civil and Agricultural Engineering. Bogotá, Colombia; e-mail: jevelezs@unal.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0002-1361-8374>

²Agricultural Engineer. Universidad Nacional de Colombia, Department of Civil and Agricultural Engineering. Bogotá, Colombia; e-mail: mjmolinao@unal.edu.co;

<https://orcid.org/0000-0001-7839-9988>

³Agricultural Engineer. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -Agrosavia-, Department of plant Physiology. C.I. Obonuco. Colombia; e-mail: pedror@agrosavia.co;

<https://orcid.org/0000-0001-7351-0595>

How to cite: Vélez-Sánchez, J.E.; Molina-Ochoa, M.J.; Rodríguez-Hernández, P. 2021. Effect of regulated deficit irrigation (RDI) on the vegetative growth of pear variety Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e2007. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2007>

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

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

Received: February 20, 2020

Accepted: June 6, 2021

Edited by: Ingeborg Zenner de Polanía

ABSTRACT

One of the consequences of a water deficit in the vegetative growth is the modification of the plant vigor, which determines the extent and the rate of growth and lengthening in shoots, which, in this phase, is more important than fruit growth, which is very slow in terms of dry mass accumulation. The objective of this research was to determine the effect on the vegetative growth of the pear variety Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.) of regulated deficit irrigation (RDI), which was compared with a control irrigated at 100% crop evapotranspiration (ETc). The irrigation treatments consisted of the application of watering regimes of 74 and 48% ETc in treatment T2 and 60 and 27% ETc in treatment T3 in 2014 and 2015, respectively, during the period of rapid fruit growth with the same watering regime used in T1 (control) applied during the

rest of the season. The irrigation reduction used in T2 and T3 represented water savings of 26% and 40% in 2014 and 52% and 73% in 2015, respectively. In the deficit treatments, there were no significant differences with respect to the control for the length, or absolute and relative growth rates (AGR and RGR) of the shoots. The weight of the wood from the fructification pruning had a significant difference between T3 and the control.

Keywords: Water; Wood; Pear; Fruit; Irrigation.

RESUMEN

Una de las consecuencias del déficit hídrico en el crecimiento vegetativo es la modificación del vigor de la planta, que determina la extensión y el ritmo de crecimiento y de alargamiento de los brotes

que, en esta fase, es más importante que el crecimiento del fruto, el cual, es bastante lento, en términos de acumulación de masa seca. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto sobre el crecimiento vegetativo del peral variedad Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.) del riego deficitario controlado (RDC), que se comparó con un Control, regado al 100%, de la evapotranspiración del cultivo ETc. Los tratamientos de riego consistieron en la aplicación de láminas de agua, correspondiente al 74 y 48% de la ETc, en el tratamiento T2 y 60 y 27% de la ETc, en el tratamiento T3, en 2014 y 2015, respectivamente; durante el periodo de crecimiento rápido del fruto, mientras el resto de la temporada, todos se regaron igual que el T1 (control). La reducción de la lámina de riego en T2 y T3, durante este periodo, representó un ahorro de agua de 26 y 40%, en 2014 y 52 y 73%, en 2015, respectivamente. En los tratamientos deficitarios no hubo diferencias significativas respecto al control, en el diámetro, la longitud, la tasa absoluta y la relativa de crecimiento (TAC y TRC) de brotes. En la masa de madera correspondiente a la poda de fructificación, se presentó diferencia significativa, entre el T3 y el control.

Palabras clave: Agua; Madera; Pera; Fruta; Riego.

INTRODUCTION

An alternative that improves water use efficiency in fruit trees is RDI, which consists of making small water applications during periods of the crop cycle that have low sensitivity to water deficits and applying the necessary amount during the rest of the phenological cycle (Vélez Sánchez *et al.* 2012). Monitoring the evolution of the daily growth of buds allows for controlling the intensity of deficits to avoid losses in fruit production and quality (Moreno Hernández *et al.* 2017).

The vigor conditions of plants determine the extent, rate of growth, and elongation of shoots; a high-water deficit can affect trees or their parts (Bolat *et al.* 2014). The effect depends on the intensity, duration, and timing of the deficit. Imposing moderate levels of water stress during crop development improves fruit quality and saves water (Silveira *et al.* 2020).

The initiation and differentiation of vegetative and reproductive structures and cell lengthening once the cells are differentiated are very sensitive to water stress and, physiological processes, are not necessarily affected to the same degree (Marsal *et al.* 2002). Wu *et al.* (2013) and Molina Ochoa *et al.* (2015b), in the pear, found that the effect of water stress manifests itself clearly in vegetative growth, so one of the objectives of RDI is to avoid the excess vigor that affects fructification (Vélez Sánchez *et al.* 2007). Vegetative development is limited proportionally to reductions in the water supply (Moreno Hernández *et al.* 2017).

Growth curves show the behavior of a plant in a particular ecosystem over time, irreversible increases in dry matter or volume, and changes in size, mass, shape, or number of structures as a function of genotype and environment, resulting in a quantitative increase in the size and weight of the plant or a specific organ

(Álvarez *et al.* 2021). The growth rates commonly used for analyses are absolute growth rate (AGR), which indicates changes in size per unit of time, and relative growth rate (RGR), which indicates variation in size per unit of initial size (Ardila *et al.* 2011).

The objective of the research was to determine the effect on the vegetative growth of the pear variety Triunfo de Viena of regulated deficit irrigation RDI during the rapid fruit growth stage in 2014 and 2015, taking into account the water status of the soil and of the plants.

MATERIALS AND METHODS

This experiment was carried out during 2014 and 2015 in the municipality of Sesquilé, Cundinamarca, Colombia, on a plot of 0.32ha, with 172 pear trees of the variety Triunfo de Viena, planted in 1998 at 4 x 4m. The soil, typical of the area has a clay-loam texture (IGAC, 2010). The weather information was obtained from a WS-GP1 portable weather station (AT delta-T Devices, USA) located next to the plot. The climate is cold and dry, the average temperature was 13.0°C and 13.14°C, relative humidity was 80.17 and 79.78%, and accumulated precipitation was 509.6mm and 820mm for 2014 and 2015. The mean potential evapotranspiration (ETo), calculated with the Penman-Monteith equation (Allen *et al.* 1998; Cleves Legizamo *et al.* 2016), was 2.09 and 2.03mm day⁻¹ in 2014 and 2015, respectively.

The experiment design consisted of randomized complete blocks, taking into account the slope of the land and the distribution of the trees in the plot, with three treatments and four repetitions (12 plots); the experimental plot was formed by 4 or 5 contiguous rows of three, four and five trees each (with a total of 12, 15, 16 and 20 interior trees per plot).

The irrigation regime was determined by taking into account crop evapotranspiration (ETc). During the crop cycle, all treatments were irrigated at 100% ETc; in the rapid fruit growth phase, the following were applied: **Control Treatment (T1)**, irrigated for two years at 100% ETc; and **Deficit Treatments (T2)**, irrigated at 74% and 48% ETc, and **(T3)**, irrigated at 60% and 27% ETc, in 2014 and 2015, respectively. The volume of water applied to each treatment was controlled by varying the irrigation time, maintaining the same frequency, every two days. The water was measured with 13mm volumetric counters (Zenner®) installed in each plot. The drip irrigation system used six 8Lh⁻¹ emitters per tree.

The water matrix potential in the soil (Ψ_s) was measured every three days with eight granular matrix sensors (Watermark Mod. 200ss Irrrometer Co., USA) per treatment, installed at depths of 15 and 30cm every 25cm on the emitter and drip line.

The leaf water potential was measured with a pressure chamber (PMS Instrument Company, Model 600, PMS Instrument Company, Oregon, USA). The determinations were made on leaves before dawn (potential at dawn, Ψ_a) and at solar noon (potential stem, Ψ_t) on leaves in which transpiration was prevented by covering

them two hours before the measurement with hermetically sealed plastic bags covered with aluminum foil. For both the Ψ_a and Ψ_t , two and three adult leaves were used per tree from three and four representative trees per treatment in 2014 and 2015, respectively, which were located in the lower third on the north side of the tree. The determinations were made at the beginning of the water restrictions and every month thereafter for the Ψ_a and every 15 days for the Ψ_t .

On October 1 and 2 of 2013 and 2014 and September 20 of 2015, fruit pruning was carried out; after the harvest, the wood corresponding to two trees was weighed per repetition, for a total of eight per treatment, to determine whether the water regimes affected the vegetative development.

In November 2013 and 2014, 12 shoots, with an average length of 10cm, were selected and labeled by three in two trees per repetition, for a total of 96 per treatment, half on the north side and half on the south side, on which the length was measured in 2014 and 2015, every eight days with a precision flexometer (0.01mm) until harvest (May 9 of 2014 and April 10 of 2015). The growth curves were fitted to a three-parameter sigmoid logistic (Equation 1).

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-c}{b}\right)}} \quad \text{equation 1.}$$

The (AGR) of the bud length corresponded to the growth derivative ($\delta y / \delta t$), which resulted in equation 2, with the parameters of the models obtained from the growth curves sigmoid logistic equation.

$$\frac{dy}{dt} = \frac{ae^{-\left(\frac{x-c}{b}\right)}}{b\left(1 + e^{-\left(\frac{x-c}{b}\right)}\right)^2} \quad \text{equation 2.}$$

The absolute growth rate was calculated with equation 3

$$(1/y) (\delta y / \delta t) \quad \text{equation 3.}$$

With the SAS/STAT program (SAS Institute Inc, 2010), the statistical analysis was carried out using analysis of variance and Tukey test, $p < 0.05$, to compare the treatments and the control with the “glm” procedure.

RESULTS AND DISCUSSION

The volume of water applied. The irrigation treatments applied during the restriction from January 1 to February 28, 2014, 67.6, 49.8, and 40.9mm ha⁻¹ and, from December 23, 2014, to February 22, 2015, 48.3, 23.3, and 13.1mm ha⁻¹ to T1, T2, and T3, respectively. The amount of water supplied during the restriction was greater in 2014, coinciding with the weather conditions. The irrigation reduction in T2 and T3 during this period represented water savings of 26 and 40% (179 and 268m³ ha⁻¹), in 2014 and 52 and 73% (249 and 351m³ ha⁻¹), in 2015, respectively. The irrigation

was carried out taking into consideration the precipitation lost through deep infiltration and runoff. The considered factor was the net storage in the soil. It permitted the planning of the deficit in each treatment with minimal differences in production. The water reserve in the soil coming from rain and irrigation before the rapid fruit growth phase mitigates the effects of reductions of water.

Bud length. The longitudinal growth of the shoots in 2014 and 2015 showed a sigmoid curve, defined by three characteristic phases: The first one with cell division from flowering to 44 and 46 days after flowering (DAF) and rapid growth; the second one 45 and 47 to 92 and 116 DAF with slow cell growth; and the third one with a constant increase from 93 and 117 DAF until after the harvest stage, in which the maximum length was reached, figure 1.

The parameters of the model obtained in 2014 and 2015, with coefficients of determination greater than 0.99, are shown in table 1, corresponding to Equation 1.

The bud lengths in T1, T2, and T3 in 2014 were, at the beginning of the restriction (41 DAF) 39.12, 41.45 and 39.53cm; 70.41, 72.04, and 68.43cm at the end of the restriction (99 DAF); and 83.17, 82.12, and 77.14cm (142 DAF) at harvest, respectively, without any significant differences between treatments. In 2015, the bud lengths were, at the beginning of the restriction (53 DAF) 27.14, 30.53, and 28.02cm; 45.94, 50.58, and 48.15cm at the end of the restriction (114 DAF); and 57.79, 60.20, and 60.16cm (180 DAF), respectively, without any significant differences between treatments. After 77 DAF (35 days after the restriction, DAR), in 2014 and 101 DAF (48 DAR), in 2015. All this presumably because the stress levels reached were not severe enough, despite significant water savings. With the lowest rainfall, the soil water potential (Ψ_s) and stem potential (Ψ_t), as seen in T3, decreased vegetative growth as a result of the effect of water restriction (Vélez Sánchez *et al.* 2007; Podesta *et al.* 2010; Hueso *et al.* 2019).

The maximum bud length in T1, T2, and T3, measured 154 DAF, in 2014 was 85.18, 83.53, and 78.29cm and in 2015 186 DAF was 58.40, 60.60, and 60.74cm, respectively, without any significant differences. The shortest shoot length was seen in 2015, because of the lower water regimes applied, as compared to those of 2014. Figure 1, shows that T3 in 2014 during the restriction and most of the crop cycle presented the shortest bud length, fulfilling one of the purposes of (RDI), to reduce the water consumption of the plants through transpiration; in 2015, T1 had the shortest bud length, following the weight of the pruned wood in T2 and T3, which were 15.07% and 44.23% lower than the control in 2014 and 6.98% and 10.47% lower in 2015, possibly because of the effect of alternating on deciduous trees (Molina Ochoa *et al.* 2015a).

The daily growth of the shoot length in 2014 had a difference, between T1 (0.513cm day⁻¹) and T3 (0.443cm day⁻¹) 63 DAF, while in 2015 there was no difference. The daily growth of the deficit treatments at the end of the crop cycle was lower than that of the control in 2014 and higher in 2015, possibly because of the compensatory growth of the fruits once 100% ETc irrigation was resumed (Figure 1).

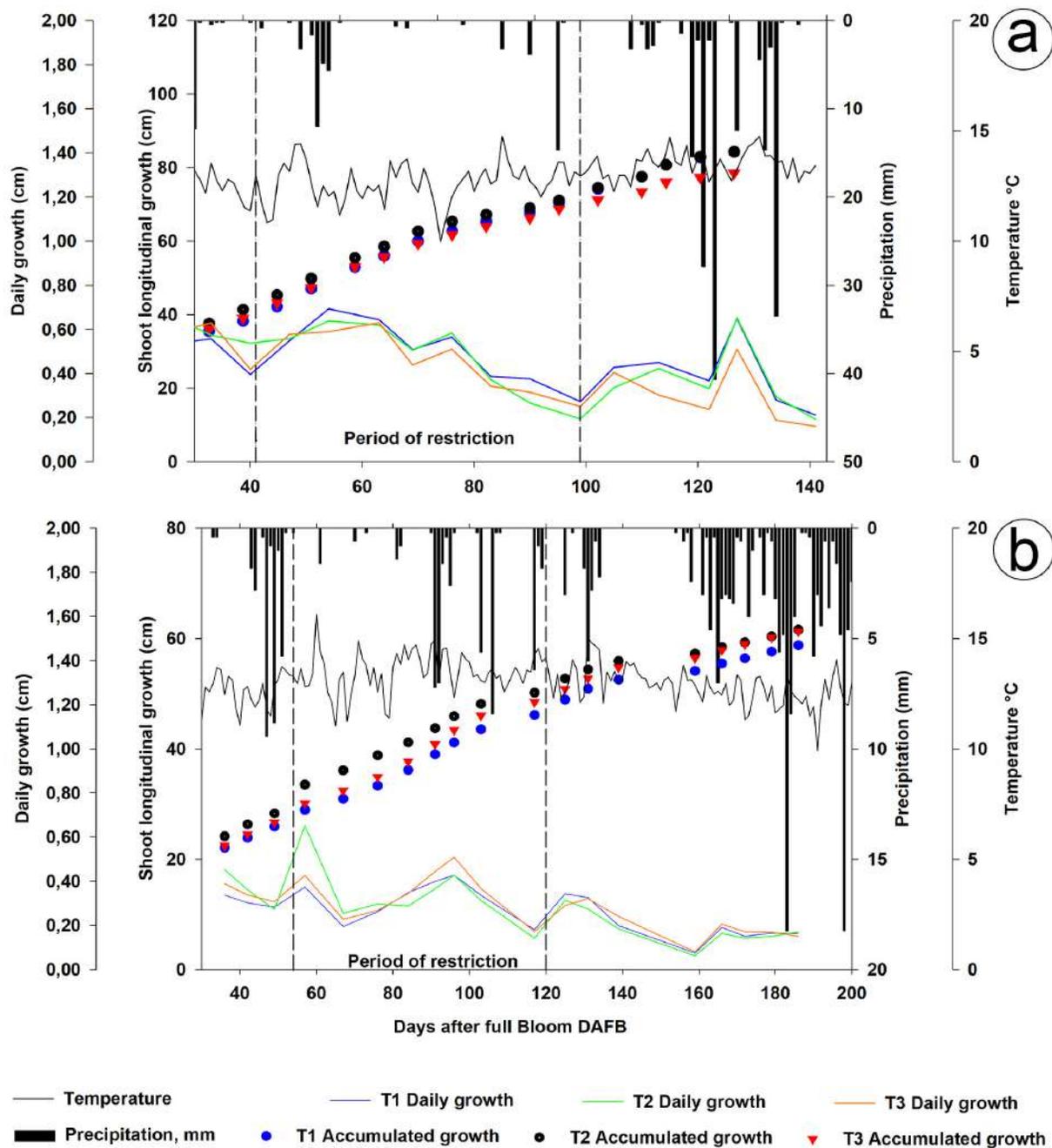


Figure 1. Evolution of length and longitudinal growth of the outbreaks. a. 2014; b. 2015. The values correspond to the average of 96 shoots: 12 per tree, in two trees per repetition, and eight per treatment. Temperature and precipitation (place restriction period).

The absolute rate of growth (AGR) of shoot length. The curve of the (AGR) of the shoot length corresponding to a Gaussian bell that described the daily growth and defined the maximum and the inflection point for T1, T2, and T3 as 0.592 (52 DAF), 0.623 (44 DAF), and 0.607 cm day^{-1} (44 DAF), respectively, in 2014 and as 0.302 (70 DAF), 0.375 (60 DAF) and 0.352 cm day^{-1} (71 DAF), respectively, in 2015, without significant differences between treatments, which means that, during the two years, T3 accumulated enough dry matter for the fruits to achieve the respective compensatory growth once irrigation was resumed.

The (AGR) of the bud length in 2014 and 2015 corresponded to the growth derivative ($\delta y / \delta t$), which resulted in equation 2, with the parameters of the models obtained from table 1.

The AGR of the bud length in 2014 for T1, T2, and T3 was, before the restriction (25 DAF), 0.525, 0.578, and 0.567 cm day^{-1} ; 0.580, 0.622, and 0.607 cm day^{-1} at the beginning of the restriction (41 DAF); 0.417, 0.357 and 0.320 cm day^{-1} at the end of the restriction (99 DAF); and 0.146, 0.100 and 0.085 cm day^{-1} at harvest (154 DAF), respectively, without any significant differences.

Table 1. Parameters of the sigmoid and logistic curve corresponding to the growth length model of the outbreaks and coefficients of determination in 2014 and 2015, respectively.

Treatment, 2014	a	b	c	R ²
T1	91.210	38.520	52.030	0.995
T2	87.160	34.960	44.420	0.993
T3	81.070	33.370	42.650	0.996
Treatment, 2015				
T1	63.470	48.620	67.170	0.998
T2	63.372	42.130	56.070	0.997

In 2015, it was, before the restriction (25 DAF), 1.282, 1.459 and 1.420cm day⁻¹; 1.205, 1.239 and 1.319cm day⁻¹ at the beginning of the restriction (53 DAF); 0.481, 0.374 and 0.488cm day⁻¹ at the end of the restriction (114 DAF); and after harvest (186 DAF), 0.113, 0.069 and 0.106cm day⁻¹, respectively, without any significant differences. Contrary to that seen for the diameter of the fruits; the AGR of the bud length in 2014 in all treatments was on average lower than in 2015.

In the two years at the beginning of the restriction, the AGR in T2 and T3 was higher than in T1, because of the water reserve in the soil coming from the rain and the irrigation before the rapid fruit growth phase. In 2014 at the end of the restriction before the harvest was lower, while in 2015, T2 was lower than T1 and T3 (Figure 2).

Relative growth rate (RGR) of shoot length. The relative growth rate (RGR) of the shoot length during the two years showed a decreasing trend in all treatments, with a rapid decrease at the beginning. The RGR of the bud length in 2014, in T1, T2 and T3 was, before the restriction (25 DAF) 0.0174, 0.0182 and 0.0189cm day⁻¹; at the beginning of the restriction (41 DAF), 0.0148, 0.0150 and 0.0154cm day⁻¹; at the end of the restriction (99 DAF), 0.0059, 0.0050 and 0.0047 cm day⁻¹ and, before harvest (154 DAF), 0.0017, 0.0012 and 0.0010cm day⁻¹, respectively, without any significant differences. In 2015, before the restriction (25 DAF), it was 0.0683, 0.0711 and 0.0747cm day⁻¹; at the beginning of restriction (53 DAF), 0.0444, 0.0406 and 0.0471cm day⁻¹; at the end of the restriction (114 DAF), 0.0105, 0.0074 and 0.0101cm day⁻¹ and, after harvest (186 DAF), 0.0019, 0.0011 and 0.0017cm day⁻¹, respectively, without any significant differences.

In the two years before the start of the restriction, the RGR in T2 and T3 was higher than in T1, and, at the end of the restriction and before the harvest, they were smaller, coinciding with the conditions of the treatments. The RGR in T1, T2, and T3 reached its maximum at the beginning of growth: 0.0174, 0.0182, and 0.0189cm day⁻¹, respectively, in 2014. In 2015, the RGR was 0.0683, 0.0711 and 0.0747cm day⁻¹, without significant difference between treatments, similar to the results reported by Molina Ochoa *et al.*

(2015b), Díaz Abril *et al.* (2016) and Vélez Sánchez *et al.* (2007) (Figure 3). The (RGR) of the bud length in 2014 and 2015 was determined with the models of the absolute growth rate calculated with Equation 3, and the resulting parameters of table 1.

Comparison between the growth of the fruits and the buds.

In 2014 for all treatments, the percentage of fruit growth was greater than the one for the buds in the initial stage. In 2015 the opposite occurred, possibly because of rainfall occurring between 40 and 55 DAF.

The percentage growth of the buds was greater than the fruits for all the treatments as a result of the water restrictions for two years. It coincided with the period of the slow growth of the fruits, and the rapid growth of the buds, resulting from the competition between them (Yang *et al.* 2016).

T2 and T3 presented the highest percentage of shoot growth and the lowest percentage of fruit growth. The greatest differences in percentages of growth between the shoots and fruits were seen in T2 (17.29%), higher than T3 (14.90%) and T1 (8.47%) at 76, 69, and 90 DAF in 2014, respectively. In 2015, T2 (15.81%) was higher than T3 (13.93%) and T1 (11.06%) up to 103 DAF (Figure 4).

This behavior occurs when plants have decreased water supply and accumulate carbohydrates in the cellular structures that maintain it until transferred to the fruits or stored after harvest for use in the following season. This could be verified with the lower pruned wood weights in the deficit treatments, along with the volumetric humidities (Θ_v), soil water potentials (Ψ_s), stem potentials (Ψ_t) and rainfall, but with the same number and average weight of the fruits, which presented no differences in 2014 and 2015.

The lower percentage of fruit growth in 2014 and 2015 in the deficit treatments was also due to other factors, such as pruning and the level of stress to which the plant was subjected. This allowed for the separation of the vegetative and fruit growth, which occurs after the end of shoot growth, similar to that found by Marsal *et al.* (2002), in the pear.

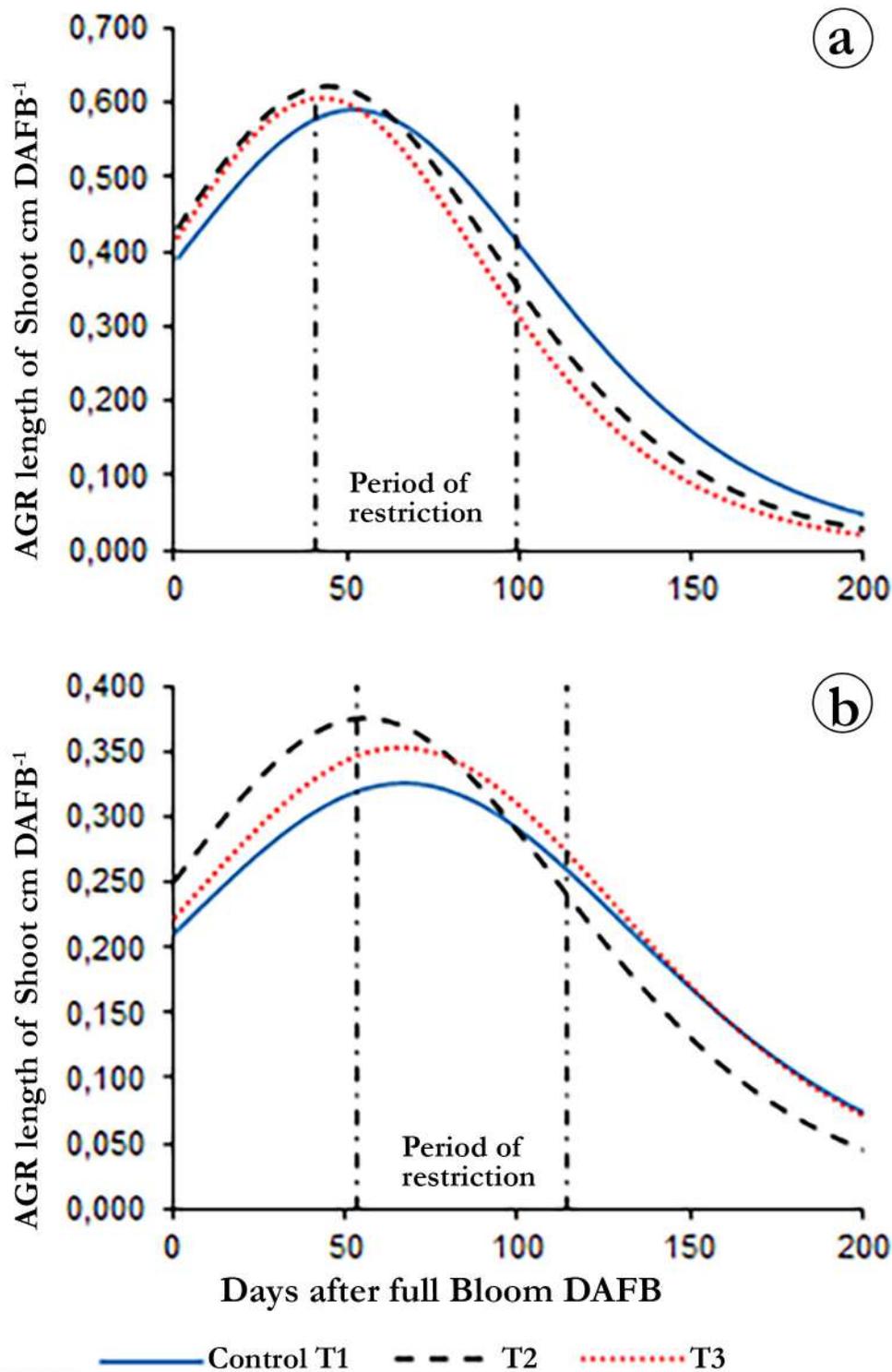


Figure 2. Longitudinal absolute growth rate (AGR) of the outbreaks. a. 2014; b. 2015. The values correspond to the average of 96 shoots: 12 per tree, in two trees per repetition and eight per treatment.

Figure 5 summarizes the evolution of the different water status indicators of soil and plants during the trial and show that, as the Ψ_s decreased, the leaf water potentials at dawn (Ψ_a) decreased as did the stem potential (Ψ_t), suggesting a relationship between these variables with the use of the water reserves of the plants. The influence of precipitation on each one was also observed:

when it rained or the potentials were irrigated, they were equal and decreased, and even became smaller in the deficit treatments with respect to the control. This potential was a good indicator of state hydric of plant.

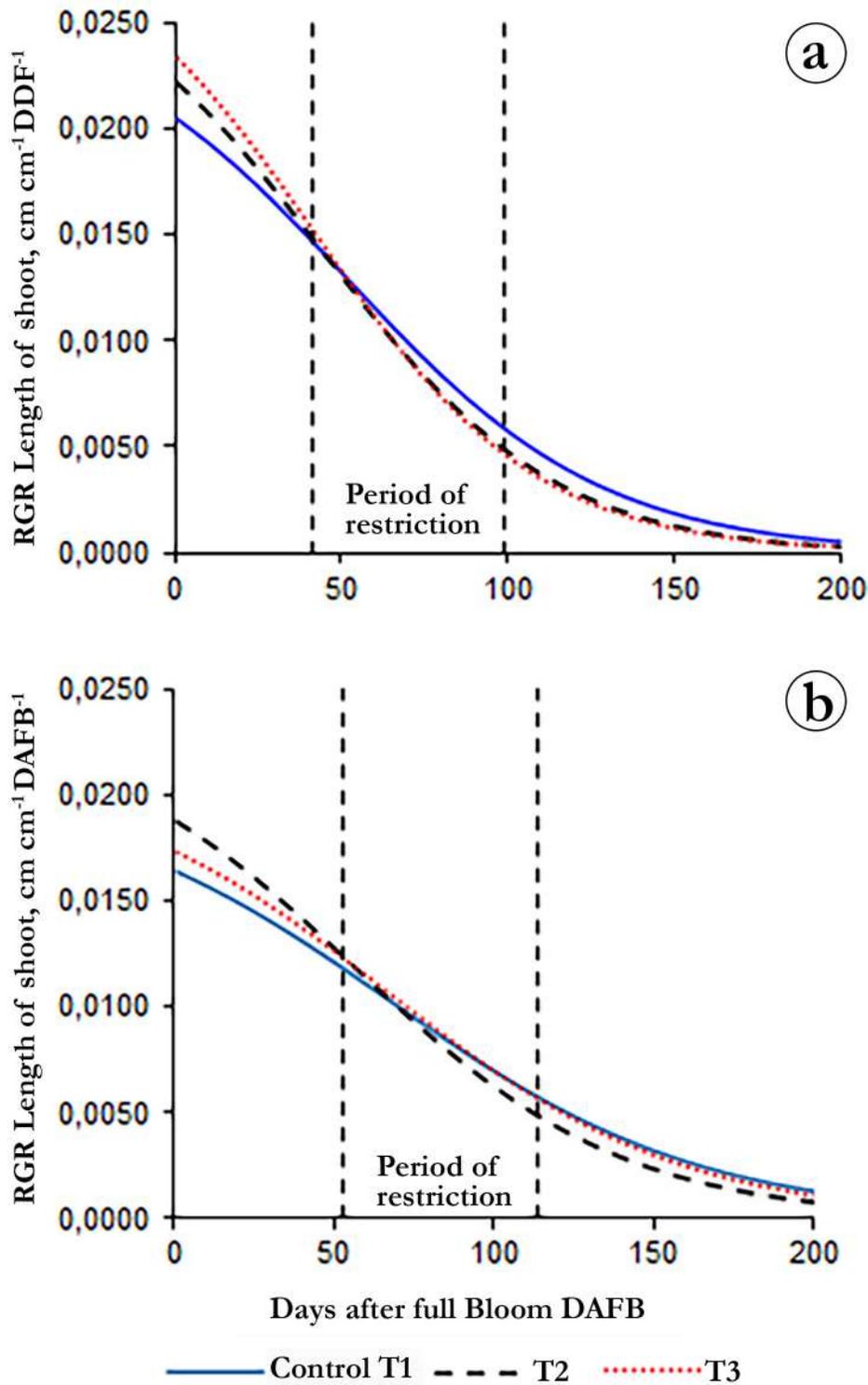


Figure 3. Relative growth rate (RGR) of shoot length. a. 2014; b. 2015. The values correspond to the average of 96 shoots: 12 per tree, in two trees per repetition and eight per treatment.

With the imposition of the deficit, the Ψ_a and Ψ_t , as expected, tended to decrease: the smallest regime (T3) had Ψ_a values of -0.29 MPa and Ψ_t values of -0.80 and 0.99MPa in 2014 and 2015, respectively. T2 had similar values of Ψ_a (-0.26 MPa) and Ψ_t (-0.78 MPa and 0.96MPa), in 2014 and 2015, respectively, while, in the control, the Ψ_a was -0.30 MPa and the Ψ_t was -0.70 and 1.03 MPa in 2014

and 2015, respectively.

Pruned wood weight. One of the objectives of the RDI was to avoid excess plant vigor so as not to have negative effects on the production, which was achieved because of the clear separation that was found in this variety between the vegetative growth of the

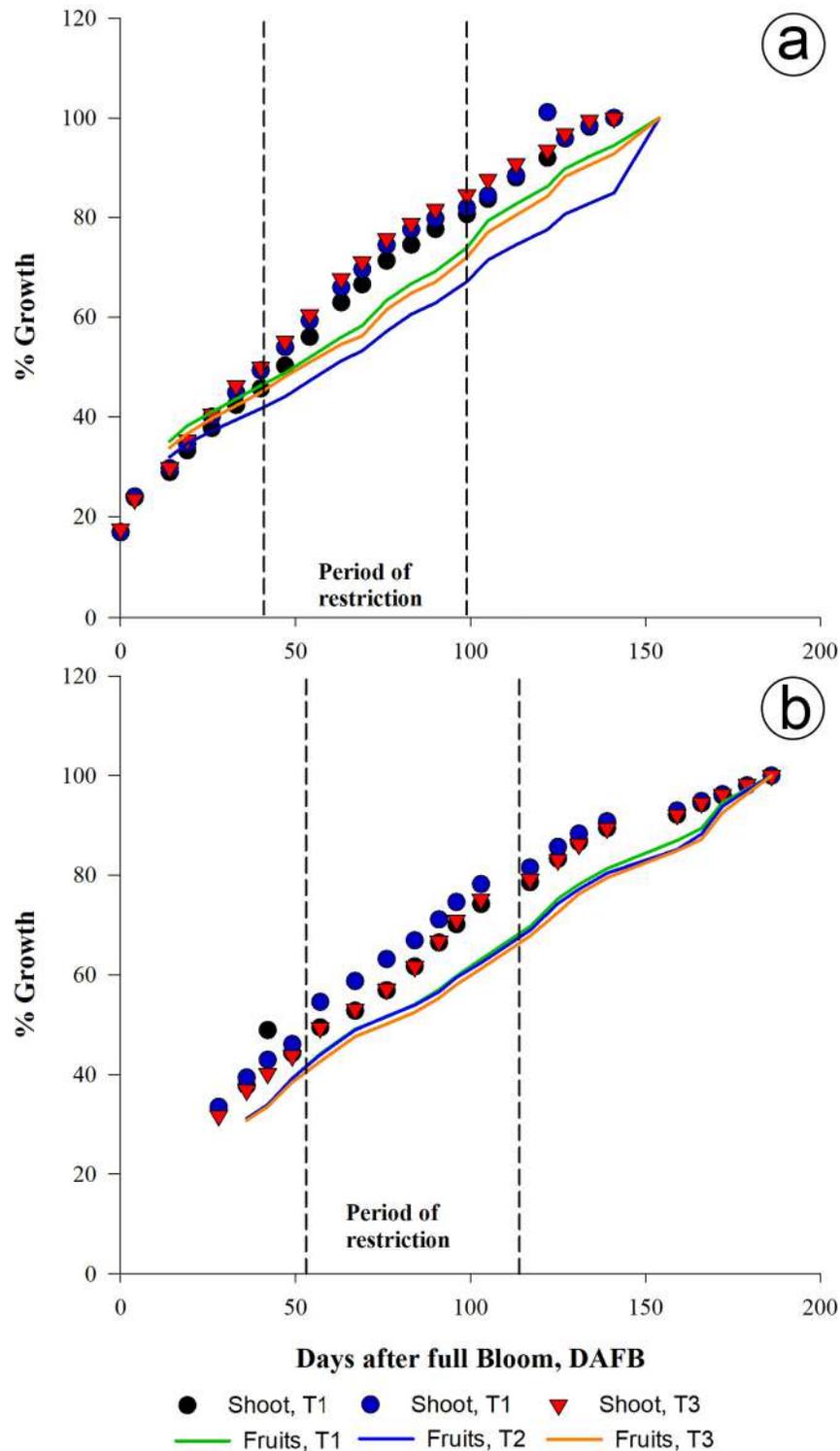


Figure 4. Comparison of the percentage of longitudinal growth of shoots and diameter of fruits. a. 2014; b. 2015. The values correspond to the average of 96 shoots and fruits, respectively: 12 per tree, in two trees per repetition and eight per treatment.

shoots and the growth of the fruits, where part of the growth of the fruit occurred after the end of the vegetative growth (Figure 4).

The results in 2014 showed an increase in the weight of the pruned wood in T1, which had the greatest volume of water applied, as

compared to T2 and T3, 17.75% and 79.31%, respectively, with a difference, from that of T3. In 2015, there was no difference, between the treatments although the wood weight was lower in T3 and T2, 9.35% and 5.25%, than in T1. This indicates that the decrease in the vigor of the trees was achieved through the RDI.

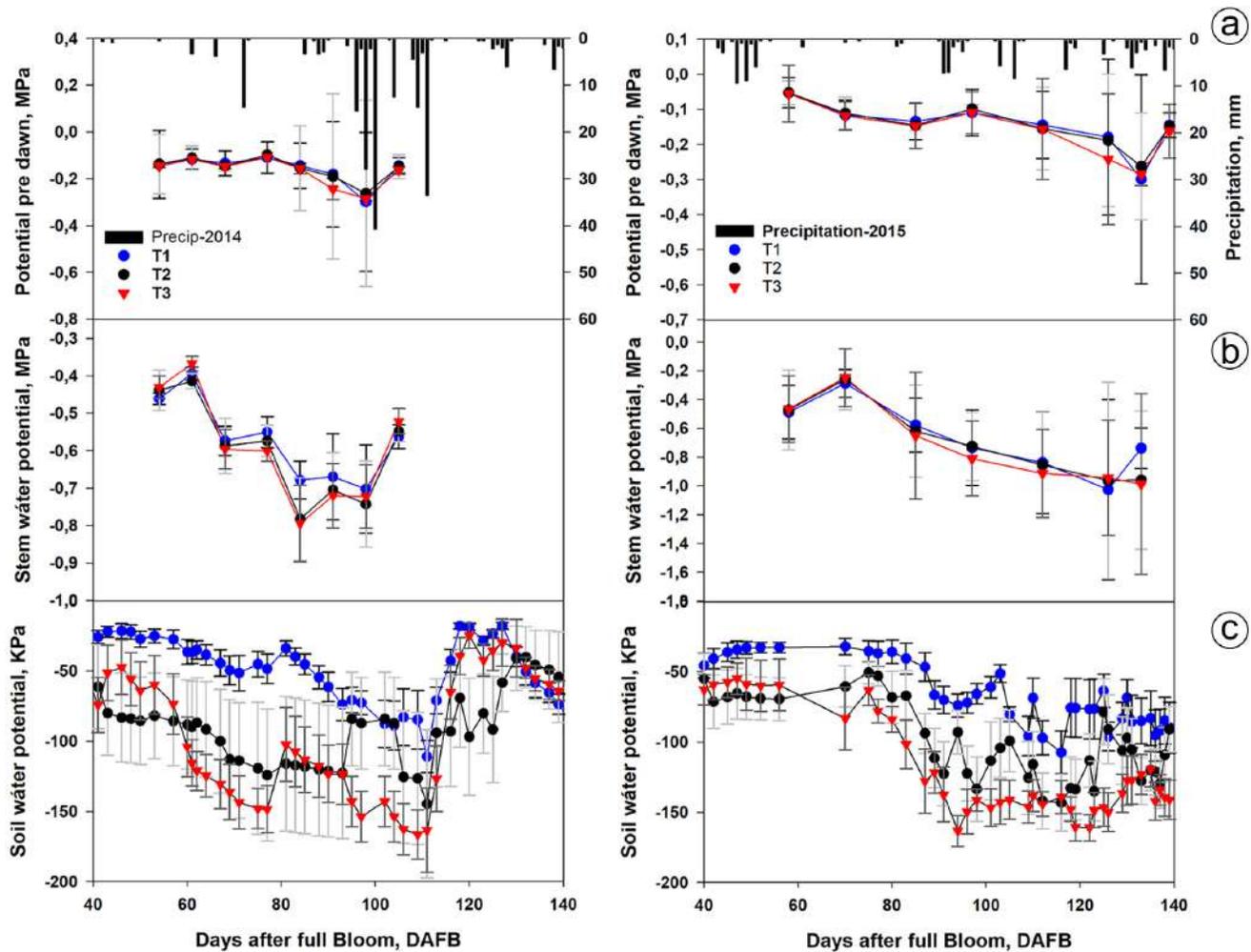


Figure 5. Evolution of the indicators of soil and plant water status in irrigation treatments in 2014 and 2015. a. water potential of the leaf at dawn (Ψ_a) and precipitation; b. water potential of the leaf to the stem (Ψ_t), c. soil water potential (Ψ_s), The values correspond to the means of two leaves per tree in each repetition, in eight trees per treatment. The bars correspond to the standard error.

However, in the control T1 treatment, there was no difference between the two years, while in T2 and T3 there was. The vigor increased, which could be verified in the same plot in 2013 through the effect of the deficit treatments carried out in 2012 (Molina Ochoa *et al.* 2015b). This variation was very marked in the pome fruit trees because the floral buds can also develop leaves and short branches, which does not happen in drupe fruit trees, where the formation of fruits and flowers has a greater separation (Fischer, 2012). The lower volumes of wood also mean important savings because of the high labor costs for pruning (Martínez *et al.* 2019).

When there is a decrease in the slope of the daily growth curve of the outbreaks longitudinal, the plant begins to experience slight water stress that signals the start of irrigation, which is why it is used as a highly sensitive indicator of stress.

The bud growth curve was fit to a sigmoid logistic type with three parameters, with which the AGR and RGR were determined, which allows for coordination of the irrigation in such a way that the vegetative growth is controlled to reduce water consumption through transpiration (Panigrahi & Srivastava, 2016).

These results indicate the possibility of programming the automating irrigation when there is no previously established reference equation, and well-watered trees are available in the same plot. It is needed to monitor the water status of the plants continuously, so the imposed deficit does not reach too severe stress situations that could compromise productivity (Vélez Sánchez *et al.* 2012).

Acknowledgments: We are grateful to the Universidad Nacional de Colombia and Acqua Irrigacion Ltda, for funding this research through the deficit irrigation project. **Conflicts of interest:** The manuscript was prepared and revised by all authors, who declare the absence of any conflict which can put the validity of the presented results at risk.

REFERENCES

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Roma.

2. ÁLVAREZ, J.; FISCHER, G.; VÉLEZ, J. 2021. Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 45(174):109-121. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1239>
3. ARDILA, G.; FISCHER, G.; BALAGUERA-LÓPEZ, H. 2011. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. Rev. Col. Ciencias Hortícolas. 5(1):44-56. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i1.1252>
4. BOLAT, I.; DIKILITAS, M.; ERCISLI, S.; IKINCI, A.; TONKAZ, T. 2014. The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. The Scientific World J. 8:769732. <https://doi.org/10.1155/2014/769732>
5. CLEVES-LEGUIZAMO, J.A.; TORO-CALDERÓN, J.; MARTÍNEZ-BERNAL, L. 2016. Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 10(1):149-163. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>
6. DÍAZ ABRIL, D.M.; VÉLEZ SÁNCHEZ, J.E.; RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, P. 2016. Efecto de la aplicación de riego controlado en la producción y calidad del fruto de *Pyrus communis* L. cv. Triunfo de Viena. Acta Agronómica. 65(2):156-163. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n2.49650>
7. FISCHER, G. 2012. Comportamiento de los frutales caducifolios en el trópico. En: Miranda, D.; Fischer G.; Carranza, C. (eds). Los frutales caducifolios en Colombia: Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. Bogotá. p.25-40.
8. HUESO, A.; TRENTACOSTE, P.R.; JUNGUERA, P.; GÓMEZ-MIGUEL, V.; GÓMEZ DEL CAMPO, M. 2019. Differences in stem water potential during oil synthesis determine fruit characteristics and production but not vegetative growth or return bloom in an olive hedgerow orchard (cv. Arbequina). Agricultural Water Management. 223:105589. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.006>
9. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2010. Clasificación de suelos en el departamento de Cundinamarca. En asociación con la Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia. Departamento Nacional de Estadística, subdirección de Agrología. 169:325-327.
10. MARSAL, J.; MATA, M.; ARBONÉS, A.; RUFAT, J.; GIRONA, J. 2002. Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young pear trees; an evaluation based on vegetative and productive response. European J. Agronomy. 17:111-122. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00002-3)
11. MARTÍNEZ, J.; GALINDO, A.; GRINÁN, I.; RODRÍGUEZ, P.; CRUZ, Z.N.; MARTÍNEZ-FONT, R.; CARBONEL BARRACHINA, A.; NOURI, H.; MELGAREJO, P. 2019. Irrigation water saving during pomegranate flowering and fruit set period do not affect Wonderful and Mollar de Elche cultivars yield and fruit composition. Agricultural Water Management. 226:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105781>
12. MOLINA OCHOA, M.J.; VÉLEZ SANCHEZ, J.E.; GALINDO-EGEA, A. 2015a. Resultados preliminares del efecto del riego deficitario durante el periodo de crecimiento rápido del fruto de pera (var. Triunfo de Viena) en la producción y calidad del fruto. Agr. Col. 9(1):38-45. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3744>
13. MOLINA OCHOA, M.J.; VÉLEZ SANCHEZ, J.E.; RODRIGUEZ HERNÁNDEZ, P. 2015b. Effect of regulated deficit irrigation on tree growth of pear cv. Triunfo de Viena. Agr. Col. 33(3):330-338. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n3.50756>
14. MORENO HERNANDEZ, A.; VÉLEZ SANCHEZ, J.E.; INTRIGLIOLO, D. 2017. Effect of deficit irrigation on yield and quality of pear (*Pyrus communis* cv. Triumph of Vienna). Agr. Col. 35(3):350-356. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n3.64313>
15. PANIGRAHI, P.; SRIVASTAVA, A.K. 2016. Effective management of irrigation water in citrus orchards under a water-scarce hot sub-humid región. Scientia Horticulturae. 210:6-13. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.008>
16. PODESTA, L.; SÁNCHEZ, E.; VALLONE, R.; MORABITO, J.A. 2010. Efecto del riego deficitario controlado sobre el crecimiento vegetativo en plantaciones jóvenes de cerezo (*Prunus avium* L.). Rev. FCA UN Cuyo. 42(1):73-91.
17. SAS INSTITUTE INC. 2010. Statistical Analysis System Version 8 for Windows Inc. Cary, NC. USA.
18. SILVEIRA, L.K.; PAVAO, G.C.; SANTOS DIAS, C.T.; QUAGGIO, J.A.; MATOS PIRES, R.C. 2020. Deficit irrigation effect on fruit yield, quality and water use efficiency: A long-term study on Pera-IAC sweet Orange. Agricultural Water Management. 231:106019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106019>

19. VÉLEZ SÁNCHEZ J.E; INTRIGLIOLO, D.S.; CASTEL SÁNCHEZ, J.R. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management*. 90(3):197-204.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.03.007>
20. VÉLEZ SÁNCHEZ, J.E; INTRIGLIOLO, D.S.; CASTEL SÁNCHEZ, J.R. 2012. Programación de riego en cítricos en base a sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 14(2):65-73.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v14.n2.2011.776>
21. WU, Y.; ZHAO, Z.; WANG, W.; MA, Y.; HUANG, X. 2013. Yield and growth of mature pear trees under water deficit during slow fruit growth stages in sparse planting orchards. *Scientia Horticulturae*. 164:189-195.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.025>
22. YANG, W.; PALLAS, B.; DURAND, J.; MARTINEZ, S.; HAN, M.; COSTES, E. 2016. The impact of long-term water stress on tree architecture and production is related to changes in transitions between vegetative and reproductive growth in the ‘Granny Smith’ apple cultivar. *Tree Physiology*. 36(11):1369-1381.
<https://doi.org/10.1093/treephys/tpw068>



El uso del lisímetro de pesada en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) genera ahorro en fertirriego

The use of the weighing lysimeter in carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) generates saving in fertigation

Germán A. Moreno-Poveda¹; Víctor J. Flórez-Roncancio²; Carlos A. González-Murillo³

¹Ing. Agrónomo, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: gamorenop@unal.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-6644-3213>

²Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: vj_lorezr@unal.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-3081-2400>

³Ing. Agrónomo. M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: cagonzalezmu@unal.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-2920-8425>

Cómo citar: Moreno-Poveda, G.A.; Flórez-Roncancio, V.J.; González-Murillo, C.A. 2021. El uso del lisímetro de pesada en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) genera ahorro en fertirriego Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1940. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1940>

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

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

Recibido: abril 19 de 2021

Aceptado: septiembre 10 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El exceso o déficit en el volumen de fertirriego genera desbalances nutricionales, en razón a que influyen en el pH y la CE, afectando el desempeño de las plantas. Además, el descontrol del volumen de fertirriego puede causar excesos de lixiviados con efectos perjudiciales en el medioambiente. La fertirrigación en la producción de clavel en la Sabana de Bogotá, se hace de forma empírica, por tanto, es indispensable ajustar el volumen de fertirriego a las necesidades del cultivo, para evitar los problemas mencionados. Por esta razón, se evaluó el efecto del control del volumen de fertirriego con lisímetro de pesada, en comparación con el manejo del fertirriego tradicional, en el desempeño de las plantas de miniclavel, sembradas en sustrato, en condiciones de invernadero. Para la evaluación, se realizó un diseño experimental

en bloques completos al azar, con los tratamientos de sistema de cultivo con lisímetro (CL) y sistema de cultivo con fertirriego tradicional sin lisímetro (SL). Las variables evaluadas fueron volumen de riego, contenido nutricional de planta completa en cinco estadios fenológicos, pH y nutrientes mayores y secundarios (Ca-Mg), en el sustrato y en la solución drenada. El CL genera un ahorro en el volumen de fertirriego en comparación con el SL. Se encontraron diferencias en el continuo planta - sustrato - lixiviado, en N, K, Mg, así como en el pH del sustrato. El CL fue más eficiente, al generar mayor acumulación de masa seca, con el uso de menos agua y nutrientes, sin afectar el rendimiento, ni la calidad.

Palabras clave: Cultivo sin suelo; Nutrientes; pH; Masa seca; Lisimetría.

ABSTRACT

The amount of fertigation excess or deficit generates nutritional unbalances given it affects pH, CE, and the nutrients balance influencing the plant development performance. In addition, the uncontrolled fertigation volume can cause an excess of leachates with detrimental effects on the environment. The Fertigation in carnation production in the Bogotá savanna is done empirically, therefore, it is essential to adjust the fertigation volume to the needs of the crop to avoid the mentioned problems. For this reason, the effect of the control of the fertigation volume with weighting lysimeters was evaluated in comparison with the management of traditional fertigation in the performance of the spray carnation plants sown in substrate under greenhouse conditions. For the evaluation, an experimental design was carried out in complete randomized blocks with a lysimeter crop system (LCS) and a traditional crop system without a lysimeter (WLS) as treatments. Irrigation volume, whole plant nutritional content in five phenological stages, pH, primary and secondary (Ca - Mg) nutrients in the substrate, and drainage solution were the variables evaluated. The LCS generates saving in the use of fertigation compared with WLS. Differences were found in the continuum plant - substrate - leached in N, K, Mg, as well as in the pH of the substrate. The LCS treatment was more efficient by generating greater dry mass accumulation, with the use of less water and nutrients without affecting the yield or quality.

Keywords: Soilless culture system; Nutrients; pH; Dry mass; Lysimetry.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, las plantas de clavel (*Dianthus caryophyllus* L.), se siembran en contenedores con sustrato; el aporte de los nutrientes, se realiza por concentración y el fertirriego por goteo, con bajos volúmenes en periodos cortos (2 a 8 min) y altas frecuencias, buscando ofertar entre 1000 y 1700 L/m²-año (Baracaldo *et al.* 2018; González-Murillo *et al.* 2021).

El pH óptimo para cultivos de plantas ornamentales en medios sin suelo está entre 5,2 y 6,3; pH alcalinos generan problemas de absorción de P, Fe, Mn, B, Zn y Cu y los pH ácidos, problemas de absorción en N, K, Ca, Mg y Mo (Kafkafi & Tarchitzky, 2011). El pH incrementa o disminuye principalmente, en razón a la diferencia entre la absorción de aniones y cationes, respectivamente: la primera está relacionada con la emisión de HCO₃⁻ u OH⁻ por parte de las plantas, mientras la absorción de cationes, se relaciona con la emisión de H₂O (Sonneveld & Voogt, 2009); cuando la absorción de NH₄⁺ excede la de NO₃⁻, disminuye el pH de la solución y aumenta la absorción de la mayoría de los micronutrientes y al contrario el pH de la solución aumenta y disminuye la absorción de micronutrientes (Fageria, 2009). El curso del pH en el ambiente radical, sin suministro de NH₄⁺ en la solución nutriente, alcanzaría valores próximos a 7,0, mientras que con 15 % de N-NH₄⁺ disminuye por debajo de 5,0 (Sonneveld & Voogt, 2009).

La disminución del pH también aumenta la disponibilidad de P y disminuye la absorción de cationes, como Ca, Mg y K (Abasi *et al.* 2016) y, en consecuencia, serían fácilmente lixiviados. Con pH menor a 6, la mayoría del Ca adsorbido sigue siendo intercambiable, pero a medida que el pH aumenta, más cationes divalentes se adsorben específicamente. La absorción de cationes a pH bajo es menor que a mayores valores de pH y la absorción de Ca, se deprime más que la absorción de otros cationes (Hawkesford *et al.* 2012).

La lisimetría caracteriza el balance hídrico generado entre la oferta de agua y los nutrientes a las plantas, la absorción de los mismos y el proceso de salida del sistema por lixiviación y evapotranspiración. El equipo provee una medida directa de la cantidad de agua usada en evapotranspiración por aislamiento y monitoreo continuo de un área de cultivo y como las mediciones se realizan en el sitio del cultivo, lo convierte en un método directo de medición (Rodríguez & Pire, 2008).

Por tanto, los lisímetros de pesada, generalmente, disponen de un sistema hidráulico o una celda de carga conectada a un sistema electrónico, que permiten obtener la pérdida de peso del contenedor, midiendo directamente la evapotranspiración del cultivo. Este es el caso del sistema UNLisitrón, descrito en González Murillo *et al.* (2017) y de los lisímetros para estudios en algodón (Fisher, 2012), en tomate (Meijer *et al.* 1985) y en lechuga (Casanova P. *et al.* 2009). Aunque en los cultivos en sustrato se generan lixiviados entre el 20 y el 50 % (Flórez R. *et al.* 2006) de la solución nutriente aplicada, en Colombia, no hay reportes del uso de lisímetros que propendan por el uso eficiente del agua, en el cultivo de clavel.

El objetivo de la investigación fue evaluar el control del volumen de fertirriego, monitoreado con lisímetro de pesada, en comparación con el manejo del fertirriego tradicional, sobre el desempeño de las plantas de clavel estándar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo, se realizó en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, ubicado a una altitud de 2.543 m s.n.m., con promedios de temperatura y humedad relativa de 13,2 °C y 83 %, respectivamente; 4,6 h de brillo solar diario medio, 1,7 m s⁻¹ de velocidad del viento y 690,6 mm de precipitación anual media (IDEAM, 2021).

Se dispuso de dos naves de un invernadero con estructura metálica y ventilación lateral y cenital pasiva, cada una de 6,8 x 50 m (340 m²). Se construyeron 12 camas en madera (15 x 0,7 m), a doble contenedor (0,25 m de ancho x 0,15 m de profundidad cada uno) y levantadas a 0,4 m del suelo. Se sembraron esquejes con raíz de miniclavel cv. Rony, de color rojo, a una densidad de 24,7 plantas/m² de área de invernadero, en un sustrato compuesto de cascarilla de arroz tostada reutilizada, cascarilla de arroz tostada nueva y compost de residuos vegetales, en porcentajes de 60, 30 y 10, respectivamente.

Lisímetros y sistema de fertirriego. En los tratamientos con lisímetro, el lisímetro se instaló sobre una base metálica (1 x 0,3 m). El equipo descrito en González Murillo *et al.* (2017), cuenta con un contenedor para las plantas y otro para la recolección del drenaje. Para el suministro de riego y fertirriego, se instaló un sistema de bombeo independiente para cada cama del experimento, operado con un programador automático de riego (controlador), tipo jardín.

Se utilizaron cuatro bombas de 1/2 HP: cada una de tres de ellas aportaba el riego de dos camas de cultivo, según la información obtenida del lisímetro de pesada y la cuarta bomba, el riego para las camas testigo. Por cama, se utilizaron dos líneas de goteo de 16 mm, con goteros de tipo autocompensado y caudal de 1,1 L h⁻¹, insertados en línea cada 15 cm. El volumen de fertirriego, se ajustó al desarrollo del cultivo, en semanas después de la siembra (SDS): entre 3 y 14 SDS, el promedio suministrado fue de 60L/cama/día; de 15 a 26 SDS, se incrementó a 80L/cama/día y se finalizó con un promedio de 50L/cama/día.

Durante las dos primeras semanas, después de la siembra, se regó con agua y, en seguida, hasta la 16 SDS, se aplicó la fórmula de fertirriego para la fase vegetativa, con (mg.L⁻¹): N(220), P(30), K(130), Ca(120), Mg(40), Fe(3), Zn(0,5), Cu(1), B(2) y Mo(0,1); luego, manteniendo Ca, Mg, Fe, Cu y Mo, se cambió en la fórmula para la fase productiva a N(165), P(25), K(190), Zn(1) y B(1,5).

Variables evaluadas. En las semanas 0 (semana de siembra), 7 SDS (dos semanas después de pinch), 14 SDS (transición de vegetativo a reproductivo), 21 SDS (pico de desbotone) y 28 SDS (punto de corte), se realizaron pesajes de la masa seca y análisis de tejido en planta completa, así como caracterización química del sustrato y de la solución drenada, para un total de 30 muestreos durante el ciclo (5 muestreos * 2 tratamientos * 3 repeticiones).

El cálculo de elementos mayores y secundarios absorbidos por hectárea de cultivo, a primer pico de cosecha, se hizo con base en el análisis del tejido vegetal. Para ello, se utilizó el modelo citado por Bertsch (2003):

$$\frac{\text{kg Nut}}{\text{Ha}} = \frac{\text{PS} \left(\frac{\text{kg}}{\text{Ha}} \right) * \text{Nut \%}}{100} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: Nut = nutriente; PS = peso seco; Nut % = porcentaje de nutriente presente en el tejido vegetal.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con dos tratamientos (cama sin lisímetro - testigo comercial y cama con lisímetro) y tres repeticiones, considerando una cama como repetición. Con los resultados de las variables medidas, se realizaron pruebas de verificación de supuestos para análisis paramétricos y análisis de varianza, con el uso del software estadístico SAS 9,0. Para las variables que mostraron evidencia de diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey, al 5 % de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando la dinámica del proceso de ahorro en fertirriego, ilustrada en la tabla 1, se presentan los resultados sobre nutrientes en tejido, en sustrato y en solución lixiviada, obtenidos en el sistema de cultivo con lisímetro (CL) y sin lisímetro (SL) de pesada. En el tratamiento CL, se obtuvo un ahorro promedio de agua y nutrientes del 13,2 %, para las 28 semanas de ciclo productivo; asimismo, como los drenajes respectivos para los manejos SL y CL, fueron de 36,6 y 26,8 %, el aporte de lixiviados con potencial contaminante disminuyó en 9,8 %.

Tabla 1. Ahorro mensual de agua y de nutrientes durante un ciclo de cultivo, en el sistema de producción de miniclavel cv. Rony, con lisímetro de pesada, en comparación con el manejo del fertirriego, sin lisímetro de pesada.

Semanas después de siembra	0 a 4	5 a 8	9 a 12	13 a 16	17 a 20	21 a 24	25 a 28
Sin Lisímetro (L m ⁻²)	36,8	59,5	80,5	79,3	45,2	48,7	48,5
Con Lisímetro (L m ⁻²)	63,0	54,8	55,5	57,8	40,1	42,9	47,1
Ahorro de agua (%)	0	8	31	27	11	12	3

Caracterización química del tejido

Masa seca. Se observó una tendencia de mayor acumulación de masa seca en las plantas con el fertirriego monitoreado CL, en comparación con el manejo del fertirriego tradicional, evidenciándose una diferencia aproximada de 1 g de la 21 a la 28

SDS. Al respecto el resultado del tratamiento SL concuerda con Kelso B. *et al.* (2012) quienes para clavel sembrado en sustrato muestran que, a la 25 SDS, la masa de la planta se encuentra entre 5 y 6 g. La diferencia en ganancia de masa seca entre los tratamientos se podría deber a la acidificación paulatina del sustrato en el tratamiento SL, lo que podría generar un efecto negativo

sobre la fotosíntesis y menor acumulación de fotoasimilados. En condiciones de sobreoferta de agua, Dat *et al.* (2004) reportan cambios en el pH y en el potencial redox del suelo, debido a la dinámica de H^+ y el balance de cationes. El manejo tradicional del riego generaría estrés por el exceso de agua, condición que limita el crecimiento y la acumulación de masa seca (Li *et al.* 2004). Plantas de trigo crecidas sobre lisímetros presentaron mayor crecimiento y acumulación de masa seca, debido al aporte eficiente y preciso de agua y nutrientes, comparado con el manejo tradicional SL (Gu *et al.* 2014).

Concentración y extracción de nutrientes. En la tabla 2 se observa que los valores para N, K y Mg son significativamente mayores en las plantas creciendo en el tratamiento CL, en las semanas 28,

21-28 y 28, respectivamente, en comparación con el manejo del fertirriego tradicional. Al comparar N con el valor de 2,6 % en tejido, reportado como óptimo, por Vélez-Carvajal *et al.* (2014) en clavel, estaría en deficiencia en algunos de los estadios evaluados. El P, con un promedio de 0,55 %, se presenta por encima del rango de 0,24 a 0,32; el ion K, con un promedio de 3,19 %, se encontró cercano a 4 %, que es el valor óptimo; Ca y Mg con valores promedio de 1,28 y 0,43 %, respectivamente, en las cinco etapas evaluadas, se encuentran en un nivel normal.

Los valores de absorción para los elementos evaluados calculados a primer pico de producción de tallos florales (28 SDS), se presentan en la tabla 3. Las diferencias numéricas observadas entre los dos tratamientos, se relacionan directamente con la acumulación de

Tabla 2. Promedios de acumulación de masa seca y de concentración de nutrientes en planta completa de miniclavel cv. Rony, comparados entre las mismas semanas para cada tratamiento (manejos de fertirriego con y sin lisímetro de pesada).

Tratamientos	Semana	Masa seca (mg/planta)	N	P	K	Ca	Mg
			%				
Con Lisímetro	0	35,7a	2,20a	0,35a	1,55a	1,13a	0,44a
	7	819,2a	3,49a	0,66a	3,23a	1,75a	0,51a
	14	3583,8a	2,47a	0,50a	3,73a	1,43a	0,44a
	21	6460,6a	2,91a	0,60a	3,72a	1,06a	0,43a
	28	6479,9a	2,03a	0,57a	3,84a	1,28a	0,40a
Sin Lisímetro	0	29,5a	2,21a	0,35a	1,55a	1,13a	0,44a
	7	745,6a	3,60a	0,70a	3,34a	1,58a	0,51a
	14	3346,2a	2,58a	0,60a	3,81a	1,25a	0,40a
	21	5425,5a	2,60a	0,58a	3,45b	1,04a	0,39a
	28	5480,7a	1,82b	0,62a	3,52b	1,23a	0,34b

Promedios seguidos por la misma letra entre tratamientos no presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

masa seca; en los dos tratamientos, se observa que la tendencia del N es creciente hasta la semana 21, etapa, en la cual, el botón floral se encuentra en pleno desarrollo. Navarro & Navarro (2003) encontraron los mayores contenidos de N en los tejidos jóvenes, aunque con el desarrollo de la planta se eleva la relación C:N.

El P muestra, en los dos tratamientos, un comportamiento ascendente, lo que coincide con Kleiber & Komosa (2008), para quienes el contenido de P, en tejidos foliares de anturio, es ascendente, con relación de acumulación positiva en función del desarrollo vegetativo, cuando se presenta la mayor pendiente de acumulación en tejidos.

Tabla 3. Promedios de absorción de nutrientes en plantas de miniclavel cv. Rony, cultivadas en sustrato y sometidas al manejo del fertirriego, con apoyo de lisímetro de pesada y al manejo del fertirriego tradicional.

Tratamiento	Semana	Masa Seca (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg
			(kg ha ⁻¹)				
Con Lisímetro	0	8,36	0,18	0,03	0,13	0,09	0,04
	7	192,04	6,70	1,27	6,20	3,36	0,98
	14	840,16	20,75	4,17	31,34	12,04	3,70
	21	1514,57	44,07	9,09	56,34	15,45	6,51
	28	1519,09	30,84	8,61	58,33	19,49	6,08
Total		4074,22	102,55	23,17	152,35	50,44	17,30
Sin Lisímetro	0	6,93	0,15	0,02	0,11	0,08	0,03
	7	174,80	6,30	1,23	6,01	2,76	0,90
	14	784,45	20,24	4,68	29,89	9,81	3,14
	21	1271,91	33,11	7,38	43,88	13,19	4,96
	28	1284,84	23,38	7,97	45,23	15,76	4,41
Total		3522,93	83,19	21,28	125,11	41,59	13,44

El K tuvo su mayor incremento en la transición de crecimiento vegetativo a reproductivo, lo que coincide con Barrera-Aguilar *et al.* (2012), quienes en *Lilium* muestran un aumento en el requerimiento de K, en la fase de crecimiento reproductivo, cuando hay exportación intensa hacia botones florales y flores en formación.

En ambos tratamientos, los elementos Ca y Mg muestran incrementos continuos en extracción, aunque para Mg, se observa una ligera disminución, una vez diferenciada la flor y hasta primer pico de producción, lo cual, difiere de Vélez Carvajal *et al.* (2014), quienes en clavel observaron un comportamiento variado, en cuanto a la concentración del elemento en tejidos, durante el desarrollo del cultivo. Baracaldo *et al.* (2018) atribuyen la disminución de Mg al

incremento de NH_4^+ en la fórmula de fertirriego que, a su vez, disminuyó el pH en el sustrato.

Comportamiento de N, P, K, Ca y Mg en el sustrato y en la solución lixiviada. Los contenidos de N y K en el sustrato y en el lixiviado, así como el de Mg en el sustrato, a lo largo del ciclo de producción de los tallos florales, presentaron diferencias significativas (Figura 1). Para el tratamiento SL, se encontró que el contenido de N, en la 21 SDS, era mayor en el lixiviado y en la 28 SDS, menor en el sustrato, lo que indicaría mayores pérdidas de dicho elemento.

El análisis de K en sustrato y lixiviado muestra una tendencia de mayores contenidos a partir de la 14 SDS en el tratamiento SL,

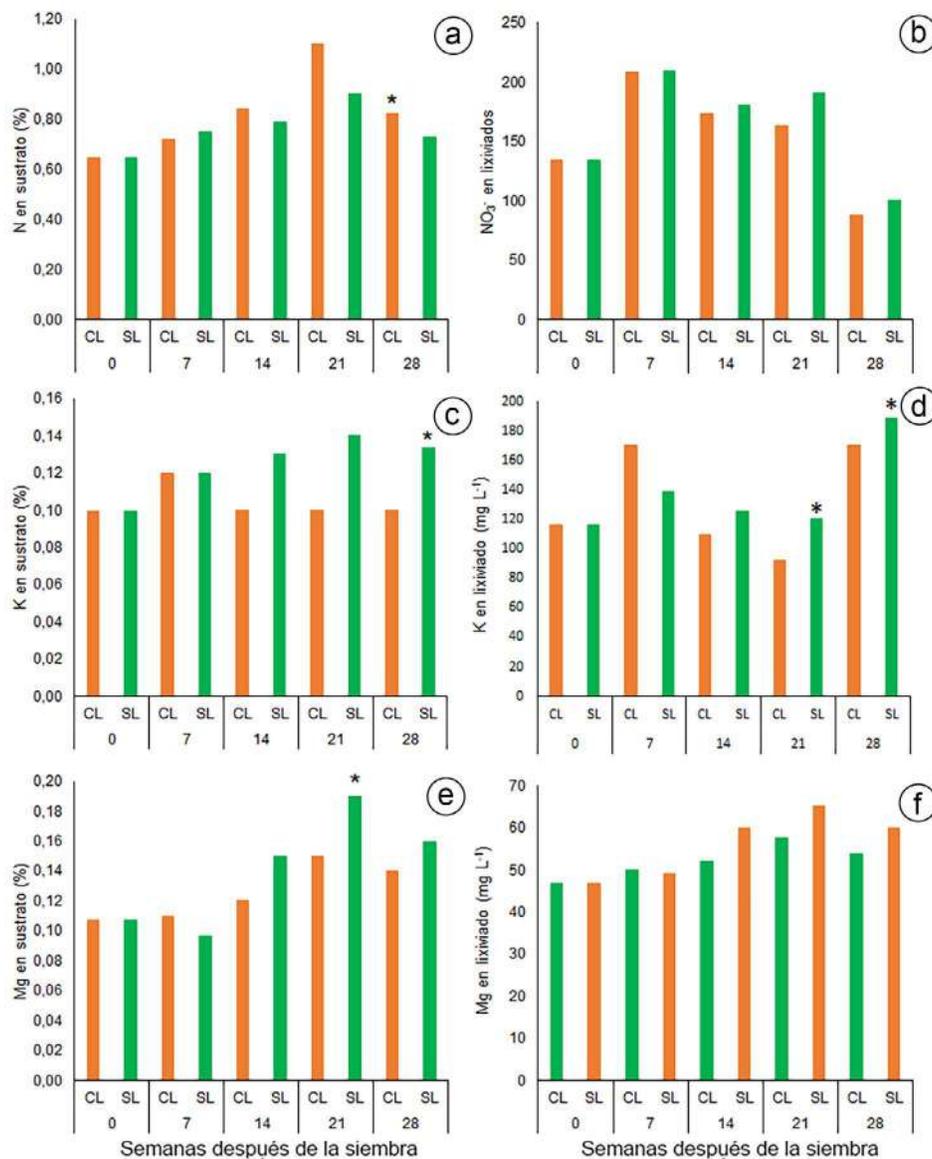


Figura 1. Comportamiento de nitrógeno (N), potasio (K) y magnesio (mg) en sustrato y lixiviado, a lo largo de un pico de producción de tallos florales en plantas de miniclavel cv. Rony, cultivadas en sustratos y sometidas a manejo del fertirriego, con apoyo de lisímetro de pesada (CL) y al manejo del fertirriego tradicional (SL). Porcentajes en el sustrato de: a. nitrógeno; c. potasio; e. magnesio y contenidos en el lixiviado de: b. nitrato; d. potasio; f. magnesio.

*Representa diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

en comparación con el manejo tradicional. Estas diferencias son significativamente mayores en el tratamiento SL, en la 28 SDS, para el contenido del ion en sustrato (Figura 1c) y en la 21 y 28 SDS, en lixiviado (Figura 1d); esto indicaría acumulación del nutriente en sustrato por dificultad en su absorción y mayores pérdidas por lixiviación de K. Para N y K las diferencias estadísticas están precedidas de tendencias numéricas, a partir de la 14 SDS, semana posterior al ahorro más representativo en el tratamiento con fertirriego monitoreado CL.

De forma independiente de los tratamientos, se destaca que la concentración de NO_3^- en los lixiviados alcanza un nivel máximo de 210 mg L^{-1} , reafirmando el potencial contaminante de las fórmulas de fertirriego, utilizadas en la producción de clavel (Pacheco Avila *et al.* 2002).

A partir de la 14 SDS, también se advierte la tendencia de menor retención de Mg, por parte del sustrato, en el tratamiento de manejo del fertirriego CL; en consecuencia, mayores pérdidas del nutriente en el lixiviado del tratamiento de fertirriego con manejo tradicional (Figuras 1e y f). Esta diferencia de menor retención de Mg por el sustrato, se hizo significativa en el tratamiento CL hacia la 21 SDS (Figura 1e).

Los nutrientes P y Ca no presentaron diferencias estadísticas entre los dos tratamientos en sustrato ni en lixiviado, aunque

tendieron a acumularse en el sustrato, durante el desarrollo de las plantas. En el lixiviado, el P, a diferencia del Ca, decrece a partir de la semana 14 SDS, lo que podría estar relacionado con un proceso de acumulación en tejido en constante crecimiento, pese al cambio de la cantidad aportada del nutriente en la fórmula de fertirriego, que disminuye su aporte en 20 %, a partir de la 14 SDS. De esta forma, se tendría una demanda constante por la planta, disminución del aporte en el fertirriego y menor pérdida en lixiviado.

El comportamiento de Ca en lixiviado fue más estable en el tiempo, lo que estaría relacionado con la estabilidad del nutriente en la fórmula de fertirriego, pese al cambio de desarrollo vegetativo a reproductivo (datos no mostrados).

pH. En la figura 2, se muestra que la variable pH en el sustrato se mantuvo entre 6 y 7, posiblemente, influenciado por la cascarilla de arroz que, según Arreaza (2000), tiende a generar un pH básico, al menos durante el primer año de uso. En la 28 SDS, se destaca el valor significativamente menor en el tratamiento de manejo tradicional del fertirriego, en comparación con el tratamiento CL.

Interacción entre variables. La discusión entre las variables, se plantea con base en: i) el sistema CL generó 13,2 % menos aporte hídrico en el ciclo evaluado; ii) existe una diferencia numérica de 1 g en acumulación de masa seca, cuya tendencia se empieza a definir en la 14 SDS, cuando se obtuvo el ahorro más

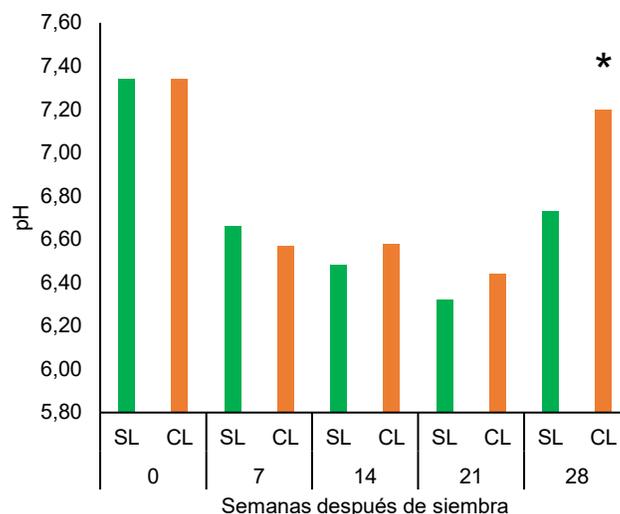


Figura 2. Comportamiento del pH en el sustrato del sistema productivo de miniclavel cv Rony, con manejo de fertirriego con apoyo de lisímetro (CL) y con manejo de fertirriego tradicional (SL).

*Representa diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

representativo de agua en el sistema CL; iii) en los nutrientes N, K y Mg, se reportaron diferencias estadísticas, en cuanto a la acumulación en tejido, lo cual, tiene una relación directa con el comportamiento de estos nutrientes en sustrato y en lixiviado y iv) en el sistema de manejo SL, se encontró una tendencia de acidificación del sustrato, al avanzar las semanas de cultivo.

En la figura 3a, se muestra la interacción entre ahorro de agua en el tratamiento CL y la tendencia de acumulación de masa seca. La

diferencia en ganancia de masa seca entre los dos tratamientos estaría relacionada con sobreoferta de agua en el tratamiento SL. Dat *et al.* (2004) asocian esta sobreoferta con cambios en el pH y en el potencial redox del sustrato, debido a la dinámica de hidrogeniones y al balance de cationes, como también, con la solubilidad y la consecuente fitotoxicidad de metales pesados.

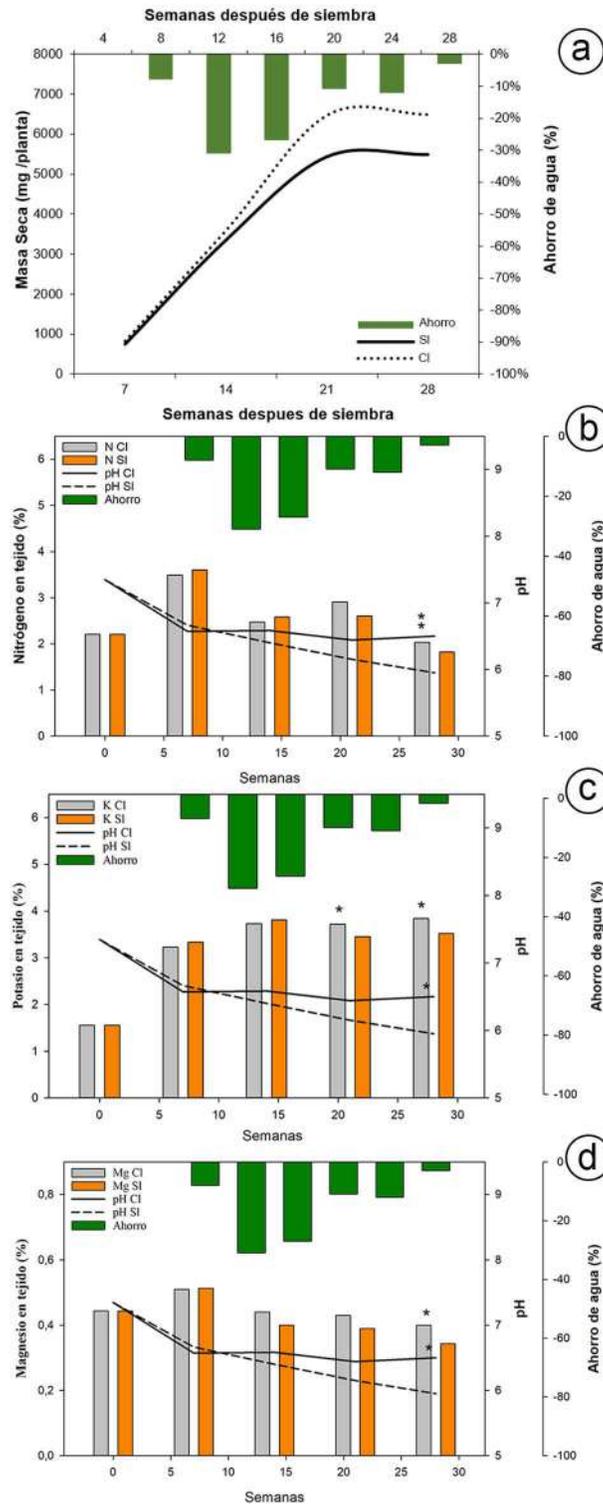


Figura 3. Sistema productivo de miniclave cv Rony, con manejo de fertirriego con apoyo de lisímetro (CL) y con manejo de fertirriego tradicional (SL). a. acumulación de masa seca y ahorro de agua; b. comportamiento del parámetro pH en el sustrato; c. comportamiento de potasio en tejido (K), pH del sustrato y ahorro de agua; d. comportamiento de magnesio en tejido (Mg), pH del sustrato y ahorro de agua.

Por tanto, se plantea la interacción ahorro de fertirriego, pH en sustrato y dinámica de nutrientes en tejido, con énfasis en N, K y Mg, por ser los que presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Al comparar los dos tratamientos, en la figura 3b, se

aprecia el cambio en la tendencia del pH, generándose acidificación en el tratamiento con manejo convencional, lo que se acentúa en la medida que se aporta más agua al sistema, confirmando lo expuesto por Dat *et al.* (2004). A medida que se acidifica el pH en

el sustrato del tratamiento SL, se acumula menos N en el tejido, en comparación con el tratamiento CL, alcanzando diferencia significativa en la 28 SDS. Esto se relaciona con menos cantidad de N en el sustrato y mayor contenido de NO_3^- en el lixiviado (Figuras 1a y b), diferencias que se hacen significativas en las 28 y 21 SDS, respectivamente. Esta dinámica concuerda con lo expuesto por Sonneveld & Voogt (2009), en cuanto que la absorción de cationes excede la de aniones y el pH en la rizosfera, decrece.

Teniendo en cuenta que el manejo de N se realizó en una relación nitrógeno: amoniacal 80:20 y de acuerdo con Bloom *et al.* (1992) y Carpenter *et al.* (1998), el N- NO_3^- es soluble, móvil en el suelo y no retenido por las cargas negativas de los coloides, es posible inferir que el exceso de agua en el tratamiento SL, generó pérdidas de NO_3^- , por lo que se genera acumulación y mayor toma de N- NH_4^+ , ocasionado acidificación del sustrato. Bar-Yosef *et al.* (2009) demostraron que cambios en la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ de 75:25 a 50:50 impacta el pH de la rizosfera, de 8 a 4. Claussen & Lenz (1999), en fresa con fertilización nitrógeno o amoniacal, concluyeron que el aumento en la oferta de N- NH_4^+ disminuye la fotosíntesis neta, impactando la acumulación de masa seca. El exceso de agua genera pérdidas de N- NO_3^- , mayor proporción de N- NH_4^+ disponible para las raíces, acidificación del medio, menor contenido de N en tejidos y menor acumulación de masa seca en la planta.

En la dinámica de K, se constatan diferencias estadísticas en la acumulación del nutriente en tejido en las 21 y 28 SDS, con menor valor en el tratamiento SL (Figura 3c). Respuesta relacionada con el contenido de N- NO_3^- en el sustrato, cambio en la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ y competencia directa de $\text{NH}_4^+ - \text{K}^+$, por ingreso a la planta; estos dos nutrientes comparten transportadores y canales de ingreso en membranas radicales, con prioridad para el N- NH_4^+ (Ten Hoopen *et al.* 2010). Ten Hoopen *et al.* (2010), en arábido y cebada, concluyeron que los flujos netos de NH_4^+ y K^+ se correlacionaron negativamente, al igual que sus concentraciones tisulares, lo que sugiere la existencia de competencia directa durante la absorción. Bar-Yosef *et al.* (2009) evaluaron las relaciones nitrato-amonio-urea en rosa cultivada en sustrato, encontrando que la mejor relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ para la absorción de K fue 88:12, a partir de la cual, la acumulación de K, en tejido, se afecta hasta en un 50 %, en la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 50:50, afectando los componentes de rendimiento en un 49 %. Según los datos para K en tejido, en sustrato y en lixiviado, una menor concentración en el tejido no estaría relacionada con pérdidas por lixiviación; por el contrario, el tratamiento SL muestra estadísticamente menor absorción del nutriente y mayor contenido en el sustrato, de lo cual, se infieren limitantes en absorción por antagonismos y no por pérdidas en el sistema.

Para el tratamiento SL, a partir de la 14 SDS, se observa una tendencia de disminución en la concentración de Mg en el tejido, con diferencia significativa en la 28 SDS (Figura 3d). Las dinámicas de Mg y K en sustrato y lixiviado son similares, con tendencia a mayores contenidos en el tratamiento SL, durante las 14, 21 y 28 SDS. En particular, la concentración de Mg en el sustrato es significativamente mayor en la 21 SDS, para el manejo SL, en

comparación con el tratamiento CL (Figura 1e). Al considerar el argumento que el cambio en la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ generado por la lixiviación de la fuente nitrógeno y lo reportado por Lasa *et al.* (2000), quienes demostraron que el N- NH_4^+ genera menores contenidos de Mg en plantas de girasol, cultivadas en un sistema hidropónico, es posible inferir un antagonismo similar al del K. En las plantas tratadas con NH_4^+ , se afecta la cantidad de Mg en tejido, la masa seca, el área foliar, la fotosíntesis neta y la conductancia estomática, procesos que se restauran al tratar las plantas con dosis crecientes de Mg, en la solución del fertirriego. Este impacto en los procesos mencionados está relacionado con la limitación generada sobre el proceso de carga de floema y traslocación de asimilados, por deficiencia de Mg, lo que desencadena una sobreconcentración de azúcares en las hojas fuente, con la limitación de su transporte a otros órganos, impactando el proceso de crecimiento y de ganancia de masa seca en la planta (Fischer & Bremer, 1993; Kakmak & Kirkby, 2008).

En conclusión, las plantas de miniclavel cultivadas en sustrato con fertirriego monitoreado con lisímetro de pesada tendieron a acumular más masa seca que las plantas con el tratamiento con fertirriego tradicional. El uso del lisímetro en el manejo del fertirriego en esta especie frente al sistema tradicional generó un ahorro de 13,2 % de agua y nutrientes con mayor eficiencia en absorción de N, K y Mg. Además, por la concentración de nitrato encontrada en los lixiviados, se reafirma el potencial contaminante de las fórmulas de fertirriego, utilizadas en la producción de clavel.

Agradecimientos. A C.I. Florval, por el suministro del material vegetal de propagación y a Brenttag Colombia S.A., por la provisión de las soluciones fertilizantes utilizadas durante desarrollo de la investigación. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ABASI, H.; BABALAR, M.; LESSANI, H.; NADERI, R. 2016. Effects of nitrogen form of nutrient solution on uptake and concentration macro element and morphological trait in hydroponic tulip. *J. Plant Nutr.* 39(12):1745–1751. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1201110>
2. ARREAZA, P. 2000. Técnicas básicas del cultivo del clavel. En: Pizano de Márquez, M. (Ed.). *Clavel (Dianthus caryophyllus)*. Ediciones Hortitecnia (Bogotá). p.15-40.
3. BARACALDO, A. DEL P.; DÍAZ, M.C.; FLÓREZ, V.J.; GONZÁLEZ, C.A. 2018. Efecto de la disminución de N total y aumento de NH_4^+ en la fórmula de fertirriego en el cultivo de clavel. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 12(3):658-667. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i3.8062>
4. BAR-YOSEF, B.; MATTSON, N.S.; LIETH, H.J. 2009. Effects of $\text{NH}_4:\text{NO}_3$:urea ratio on cut roses yield, leaf nutrients

- content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. *Sci. Hort. (Holanda)*. 122(4):610-619.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.019>
5. BARRERA-AGUILAR, E.; VALDEZ-AGUILAR, L.A.; CASTILLO-GONZÁLEZ, A.M.; IBARRA-JIMÉNEZ, L.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, R.; ALIA-TEJACAL, I. 2012. La nutrición potásica afecta el crecimiento y fotosíntesis en *Lilium* cultivado en turba ácida. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(5):1011-1022.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v3i5.1410>
 6. BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (Costa Rica). 307p.
 7. BLOOM, A.J.; SUKRAPANNA, S.S.; WARNER, R.L. 1992. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant Physiol. (Estados Unidos)*. 99(4):1294-1301.
<https://doi.org/10.1104/pp.99.4.1294>
 8. CARPENTER, S.R.; CARACO, N.F.; CORRELL, D.L.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N.; SMITH, V.H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl. (Estados Unidos)*. 8(3):559-568.
<https://doi.org/10.2307/2641247>
 9. CASANOVA P, M.; MESSING, I.; JOEL, A.; CAÑETE M., A. 2009. Methods to estimate lettuce evapotranspiration in greenhouse conditions in the central zone of Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 69(1):60-70.
<https://doi.org/10.4067/S0718-58392009000100008>
 10. CLAUSSEN, W.; LENZ, F. 1999. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. *Plant Soil. (Alemania)*. 208(5):95-102.
<https://doi.org/10.1023/A:1004543128899>
 11. DAT, J.F.; CAPELLI, N.; FOLZER, H.; BOURGEADE, P.; BADOT, P-M. 2004. Sensing and signaling during plant flooding. *Plant Physiol. Biochem. (Francia)*. 42(4):273-282.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.02.003>
 12. FAGERIA, N.K. 2009. The use of nutrients in crop plants. Taylor & Francis Group (Boca Raton, FL). p.90-211.
 13. FISCHER, E.S.; BREMER, E. 1993. Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation, and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant. (Escandinavia)*. 89(2):271-276.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb00153.x>
 14. FISHER, D.K. 2012. Simple weighing lysimeters for measuring evapotranspiration and developing crop coefficients. *Int. J. Agric. & Biol. Eng. (Estados Unidos)*. 5(3):35-43.
 15. FLÓREZ R., V.J.; PARRA R., R.; RODRÍGUEZ S., M.; NIETO C., D.E. 2006. Características y fundamentos del proyecto “Producción más limpia de rosa y clavel con dos técnicas de cultivo sin suelo en la Sabana de Bogotá”. En: Flórez R., V.J.; Fernández, A. de la C.; Miranda L., D.; Chaves C., B.; Guzman P., J.M. (eds). Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Unibiblios (Bogotá). p.3-40.
 16. GONZÁLEZ-MURILLO, C.A.; LÓPEZ-ZULUAGA, A.; QUINTERO C., M.F.; FLÓREZ R., V.J. 2021. Evaluación funcional y aplicación de fertirriego en sustratos. En: Flórez R., V.J. (ed.). Productos relevantes del proyecto Fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca. Bogotá: Ediciones Unisalle, Ceniflores (Colombia). p.48-95.
 17. GONZÁLEZ MURILLO, C.A.; QUINTERO BERTEL, Q.R.; FLÓREZ R., V.J.; QUINTERO C., M.F. 2017. Lisímetros volumétricos. En: Flórez R., V.J. (Ed). Consideraciones sobre producción, manejo y poscosecha de flores de corte con énfasis en rosa y clavel. Unibiblios (Bogotá). p.135-166.
 18. GU, L.; LIU, P.; SHAO, L.; WANG, J.; DONG, S.; ZHAO, B.; SO, H.B.; SUN, W.; ZHANG, J.; ZHAO, B. 2014. A lysimeters study of Chinese wheat and maize varieties: I. The lysimeters-rain shelter facility and the growth and water use of wheat. *Soil Tillage Res. (Holanda)*. 144(3):133-140.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2014.06.005>
 19. HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I.S.; WHITE, P. 2012. Functions of macronutrients. En: Marschner, P. (ed.). Marschner’s mineral nutrition of higher plants (3a. ed.). Academic Press (Amsterdam). p.135-189.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>
 20. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. 2021. Promedios Climatológicos 1981 - 2010. Disponible desde Internet en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima> (con acceso el 06/08/2021).
 21. KAFKAFI, U.; TARCHITZKY, J. 2011. Fertigation. A tool for efficient fertilizer and water management. International Fertilizer Industry Association e International Potash Institute (Francia). 141p.
 22. KAKMAK, I.; KIRKBY, E.A. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol. Plant. (Escandinavia)*. 133(4):692-704.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x>

23. KELSO B., H.-A.; BÂ, K.-M.; SÁNCHEZ M., S.; REYES L., D. 2012. Automatización de un lisímetro de pesada. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 4:807-811.
24. KLEIBER, T.; KOMOSA, A. 2008. Comparison dynamics of N, P, K contents in different anthurium cultivars (*Anthurium cultorum* Birdsey) grown in expanded clay. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus (Polonia). 7(4):77-88.
25. LASA, B.; FRECHILLA, S.; ALEU, M.; GONZÁLEZ-MORO, B.; LAMSFUS, C.; APARICIO-TEJO, P.M. 2000. Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. Plant Soil. (Alemania). 225(1):167-174.
<https://doi.org/10.1023/A:1026568329860>
26. LI, S.; PEZESHKI, S.R.; GOODWIN, S. 2004. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cattail (*Typha latifolia*). Acta Oecol. (Holanda) 25(1):17-22.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2003.10.004>
27. MEIJER, J.; BOT, G.P.A.; STANGHELLINI, C.; UDINK TEN CATE, A.J. 1985. Development and application of a sensitive, high precision weighing lysimeter for use in greenhouses. J. Agric. Eng. Res. (Holanda). 32(4):321-336.
[https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90097-6](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90097-6)
28. NAVARRO, B.; NAVARRO, G. 2003. Química agrícola. (2ª ed.). Mundi-Prensa (Madrid). p.142-159.
29. PACHECO AVILA, J.; PAT CANUL, R.; CABRERA SANSORES, A. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Ingeniería. (México). 6(3):73-81.
30. RODRÍGUEZ, R.; PIRE, R. 2008. Evapotranspiración diaria del tomate determinada mediante un lisímetro de pesada. Agronomía Trop. (Venezuela). 58(1):73-76.
31. SONNEVELD, C.; VOOGT, W. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer (Dordrecht). 431p.
32. TEN HOOPEN, F.; CUIN, T.A.; PEDAS, P.; HEGELUND, J.N.; SHABALA, S.; SCHJOERRING, J.K.; JAHN, T.P. 2010. Competition between uptake of ammonium and potassium in barley and Arabidopsis roots: molecular mechanisms and physiological consequences. J. Exp. Bot. (Inglaterra). 61(9):2303-2315.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erq057>
33. VÉLEZ CARVAJAL, N.A.; FLÓREZ RONCANCIO, V.J.; FLÓREZ RIVERA, A.F. 2014. Comportamiento de variables químicas en un sistema de cultivo sin suelo para clavel en la Sabana de Bogotá. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. (Colombia). 67(2):7281-7290.
34. VÉLEZ-CARVAJAL, N.A.; MELO-MARTÍNEZ, S.E.; FLÓREZ-RONCANCIO, V.J. 2014. Comportamiento de Ca, Mg y S en un sistema de cultivo sin suelo para clavel. Rev. Chapingo Ser. Hortic. (México). 20(2):171-185.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.10.038>



Calidad de forraje y almidón en 10 clones de batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

Forage and starch quality in 10 sweet potato clones *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

Magda Piedad Valdés-Restrepo¹; Sanin Ortiz-Grisales²

¹ Ing. Agroindustrial; Ing. Agrónoma; M.Sc.; Ph.D. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: magda.valdes@unad.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0001-9594-0289>

² Zootecnista; M.Sc.; Ph.D. Universidad Nacional de Colombia. Palmira - Valle del Cauca, Colombia; e-mail: sortizg@unal.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-7237-0815>

Cómo citar: Valdés-Restrepo, M.P.; Ortiz-Grisales, S. 2021. Calidad de forraje y almidón en 10 clones de batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1580. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1580>

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 29 de 2020

Aceptado: agosto 26 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam. es una manifestación de la biodiversidad silvestre y cultivada del Neotrópico, caracterizada por hojas anchas y tubérculos feculentos. La especie es objeto de investigación, por su amplio uso e importancia en regiones tropicales y subtropicales, por sus propiedades nutricionales y aporte energético, convirtiéndose en un recurso imprescindible para la seguridad alimentaria. El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento agronómico, en valor relativo del forraje (VRF) y rendimiento y calidad de almidón, en tubérculos de batata. Se evaluaron 10 clones seleccionados por alta materia seca en tubérculos, con un diseño de bloques completos al azar, con 3 repeticiones y 6 plantas por repetición. Se destacó el clon 440-078, con un VRF de 133,07 y por el alto rendimiento de tubérculos los clones 440-656 y 440-621, considerados como materiales promisorios para calidad del tubérculo; este último presentó el peso de tubérculo más alto en las tres categorías identificadas A, B y C. El clon Tainung-66, se posicionó con -1.53 de ISP, asociado con bajos valores de fibra (28,9 y 20,25 de FDN y FDA, respectivamente), que le confieren una digestibilidad burda del tubérculo del 72 %.

Además, se determinaron diferencias significativas ($p < 0,05$), en las propiedades de empastamiento del almidón, con superioridad del clon 440-016, por sus características retrogradantes, con 221 cP y el clon Tainug-66, por su estabilidad teniendo en cuenta la viscosidad.

Palabras clave: Alimentación animal; Alimento funcional; Evaluación agronómica; Fitomejoramiento; Tubérculos.

ABSTRACT

The sweet potato *Ipomoea batatas* (L.) Lam., is a manifestation of the wild and cultivated Neotropical biodiversity, characterized by leaves with value as forage and starchy tubers, it is the object of research for its wide use and importance in tropical and subtropical regions, for its nutritional properties and contribution energy, becoming an essential resource for food security. The agronomic yield was evaluated in relative forage value (RFV), yield, and starch quality in sweet potato tubers. 10 clones selected for high dry matter in tubers were evaluated, with a randomized complete block design with 3 repetitions and 6 plants per repetition. Clone 440-078 stood out with an RFV of 133.07 and due to its high performance in tubers,

clones 440-656 and 440-621, considered as promising materials for tuber quality, the latter presented the highest tuber weight in the three identified categories A, B, and C. The Tainung-66 clone is positioned in first place with -1.53 ISP associated with low fiber values (28.9 and 20.25 of NDF and ADF respectively), which give it a gross tuber digestibility of 72 %. Significant differences ($p < 0.05$) in starch plastering properties were determined, with superiority at clone 440-016 for its retrograde characteristics with 221 cP and the Tainug-66 clone for its stability taking into account the maximum viscosity (V_m) and the viscosity of the cold paste (VPF) with 730 cP and 738 cP respectively.

Keywords: Animal feeding; Agronomic evaluation; Functional foods; Plant breeding; Tubers.

INTRODUCCIÓN

Batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam. (Convolvulaceae), una manifestación de la biodiversidad silvestre y cultivada, una planta perenne dicotiledónea, que produce raíces tuberosas comestibles. Es la única especie de importancia económica como cultivo alimenticio del género *Ipomoea*, y uno de los cultivos de raíces de mayor importancia, a nivel mundial (Koussao *et al.* 2014), con una producción anual de 91.945.358 toneladas (Faostat, 2020). Tiene su centro de origen en el continente americano, con una amplia diversidad genética en Colombia, Ecuador, Norte del Perú, México y Centro América. Debido a su alto rendimiento, tanto de tubérculos como de follaje, bajo costo de producción y alto contenido nutricional, sobresale como un cultivo clave para la seguridad alimentaria, en diversas zonas del mundo (Castillo *et al.* 2014).

I. batatas es hexaploide ($2n = 6X = 90$) y dependiendo del cultivar, las raíces tuberosas presentan variabilidad fenotípica, en tamaño, en forma (redondas, ronda elíptica, oval, obovado, largo oblongo, largo elíptico, largo irregular), en piel y en color del parénquima vascular de reserva (blanco, crema, amarillo, naranja, rojo o púrpura); también, se presenta variabilidad en las formas foliares: lobular, triangular, cordada, lanceolada y redonda (Martínez-Moreno *et al.* 2018).

De manera tradicional, las hojas de batata cocinadas han sido empleadas como remedio para tumores en boca y garganta y también son utilizadas como astringente, tónico, laxante y fungicida; tienen un alto contenido en proteínas, vitaminas, minerales, fibra dietética y compuestos antioxidantes, como ácidos fenólicos, antocianinas, tocoferoles y betacarotenos (Grace *et al.* 2015; Nguyen *et al.* 2021). Según Flórez-Martínez *et al.* (2016), los tubérculos y las hojas pueden ser empleados en la alimentación de ovinos, caprinos, bovinos y peces; se puede administrar en fresco o generar alimentos balanceados. Las hojas expresan proteína cruda de 260-330 g.kg^{-1} , de materia seca (MS), comparado con 100-140 g.kg^{-1} de MS, en los tallos; el contenido de proteína cruda (hojas y tallos) es de 16 a 29 % sobre la materia seca, que es similar a las leguminosas forrajeras (Van *et al.* 2003).

El tubérculo es considerado un alimento funcional, utilizado para el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas, disminuyendo su incidencia y su prevalencia; tiene propiedades cardioprotectoras, anticancerígenas, antienvjecimiento, entre otras (Wang *et al.* 2016). Además, no solo son una buena fuente de energía, debido al contenido de carbohidratos, sino también para la producción de almidón y de alcohol, en medio fermentativo (Murillo-Martínez *et al.* 2021; Rizzolo *et al.* 2021).

El almidón de batata está conformado, en su mayor parte, por amilopectina (Lai *et al.* 2015), posee un patrón de tipo A (alto hinchamiento) y sus gránulos de son de tamaño mediano, con una forma oval redonda suave (Moorthy, 2002). Las aplicaciones industriales de almidón dependen de las propiedades de gelatinización, retrogradación, solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, sinéresis y comportamiento reológico de pastas y geles (Murillo-Martínez *et al.* 2021). En cuanto a contenido nutricional, la batata es un alimento de alta energía, cuyos tubérculos tienen un contenido de carbohidratos totales de 25 a 30 %, de los cuales, el 98 % son considerados altamente digeribles (Grüneberg *et al.* 2015).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento agronómico en valor relativo del forraje (VRF), rendimiento y calidad de almidón en tubérculos de batata.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo de campo, se realizó en el Centro Experimental Mario González Aranda, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Valle del Cauca, situado a $03^{\circ}30'26,8''$ N y $76^{\circ}18'47,6''$ O y altitud de 998 m s.n.m., temperatura promedio de 24°C , humedad relativa del 72 % y precipitación pluvial anual de 1.000 mm (Valdés Restrepo *et al.* 2014). La valoración macromolecular, se hizo en el Laboratorio de Semillas y Laboratorio de Nutrición Animal y la prueba granulométrica, en el Laboratorio de Física de Suelos, de la misma Universidad, a $3^{\circ}51'48''$ N y $76^{\circ}81'13''$ O, en el Valle del Cauca (Colombia) (Ordoñez Narváez *et al.* 2014).

Material genético. Se evaluaron 10 clones de batata (Tainug-66, 440-016, 440-045, 440-287, 440-078, 440-260, 440-255, 440-357, 440-621, 440-656), donados por CIAT, utilizando un diseño de bloques completos al azar, con 3 repeticiones y 6 plantas por repetición. Se utilizó un total de 180 plantas, a una distancia de siembra entre surcos de 2 m y dentro de surco, 1 m entre planta.

El modelo empleado fue el siguiente: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta

μ = Media general

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} = Error experimental del tratamiento i en el bloque j

Caracteres evaluados en forraje. En forraje, se midió el rendimiento de forraje fresco disponible ($t \cdot ha^{-1}$) (RFF), rendimiento de forraje seco ($t \cdot ha^{-1}$) (RFS), materia seca del forraje de batata (%) (MSF), cenizas (%), proteína (%), extracto etéreo (%), fibra detergente neutra FDN (%), fibra detergente ácida FDA (%) y el índice del valor relativo del forraje (VRF), el cual, se estima calidad, mediante el conocimiento de la digestibilidad de la materia seca (DMS), con base en la fibra detergente ácida (FDA), lo que facilita calcular la ingesta de la materia seca (IMS), con base en el contenido de (FDN). El índice, se calculó como el producto entre DMS y IMS dividido por 1,29 (Moore & Undersander, 2001), así:

$$DMS = 88,9 - (0,779 \times \% FDA)$$

$$IMS = 120 / (\% FDN)$$

$$VRF = (DMS \times IMS) / 1,29$$

Caracteres evaluados en tubérculo. Se registró el peso del tubérculo por cada $2 m^2$ (kg), en términos de aforo de forraje fresco (AFFD), materia seca del tubérculo (%) (MST), rendimiento del tubérculo ($t \cdot ha^{-1}$) (RT), cenizas (%), extracto etéreo (%), proteína (%), fibra detergente neutra FDN (%) y fibra detergente ácida FDA (%). Se determinó tres categorías en el tubérculo A, B, C (kg), siendo la categoría A, los tubérculos que presentaron mayor peso; categoría B, peso intermedio entre A y C y categoría C, aquellos de menor peso con formas variadas.

Para identificar los clones sobresalientes con respecto a los tubérculos, se utilizó el Índice de Selección Ponderado (ISP) (Ortiz-Grisales *et al.* 2013), donde participaron los caracteres: fibra detergente neutra (%) (FDN), factor de ponderación (0,5) y fibra detergente ácida (%) (FDA), factor de ponderación (0,5). El ISP para cada clon, se estimó a partir de la siguiente expresión:

$$ISP_{(k)} = \sum_1^{10} P_i \frac{\bar{X}_{i(k)} - \bar{X}_{g(i)}}{S_{g(i)}}$$

Dónde:

$ISP_{(k)}$ = Índice de selección ponderado estandarizado para el k-ésimo clon (k:1,2,3...10).

P_i = Factor de ponderación asignado a la i-ésima variable (i: 1, 2, 3).

$\bar{X}_{i(k)}$ = Promedio de la i-ésima variable en el k-ésimo clon.

$\bar{X}_{g(k)}$ = Promedio general de la i-ésima variable en la colección.

$S_{g(i)}$ = Desviación estándar general de la i-ésima variable.

Establecimiento en campo y evaluación de clones. Se estableció un vivero, mediante la siembra del esqueje de batata, en vasos de polipropileno de 250 mL, sobre una mezcla de compost, suelo y arena, en proporción 1:2:1, para un total de seis vasos por cada clon, los cuales, fueron trasplantados al lote experimental a los 43 días. El manejo agronómico fue el recomendado por el Programa de Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Se tomó una muestra de 300 g de forraje por cada clon, para la determinación del análisis de fibras detergente neutra y análisis Weende, para la prueba de materia seca; las muestras fueron pesadas y depositadas en bolsas de papel, para la determinación de la materia seca (MS), mediante la técnica de secado en estufa, a $105^\circ C$, por 24 h, según el protocolo de Ortiz-Grisales *et al.* (2013). La evaluación del forraje y cosecha de los frutos por planta, se realizó a los 80 días después de siembra.

Análisis químicos. El análisis proximal (Weende), se realizó en muestras liofilizadas y molidas, mediante descripción cuantitativa; las pruebas fueron: proteína cruda (PC), por el método Kjeldahl (AOAC, 1984); materia seca (MS), método 934.01 (AOAC, 1990); extracto etéreo (EE), método 920.39 (AOAC, 1990); cenizas, método 942.05 (AOAC, 1984; AOAC, 1990) y el análisis de fibra detergente neutra (FDN), se hizo por la tecnología Ankom (Van Soest *et al.* 1991).

Análisis de viscoamilógrama. El almidón de batata, se obtuvo por extracción manual, sobre el cual, se realizó la detección de temperatura de gelatinización y las curvas de empastamiento, que se determinaron utilizando un viscoamilógrafo, que establece el comportamiento reológico del almidón; las unidades de medición fueron centipoise (cP).

Para las condiciones de tiempo-temperatura, que garantizan la completa gelatinización de los almidones, se preparó una solución de almidón al 6 % (p/p), en base seca y agua destilada; el perfil de temperatura utilizado para el análisis de los almidones fue con una temperatura de inicio de $50^\circ C$, con un incremento de $7,5^\circ C/min$, hasta alcanzar los $92^\circ C$, el cual, se sostuvo por 5 minutos y un enfriamiento de $-7,5^\circ C/min$, hasta bajar la temperatura a $50^\circ C$ y se sostuvo por 3 minutos, 250 rpm y 235 cmg.

Para identificar los clones sobresalientes respecto a la calidad del almidón, se utilizó el Índice de Selección Ponderado (ISP) (Ortiz-Grisales *et al.* 2013), donde participaron los caracteres: rendimiento del tubérculo ($t \cdot ha^{-1}$) (RT), factor de ponderación (0,5) y materia seca del tubérculo (%) (MST), factor de ponderación (0,5).

Análisis estadístico. Se realizó el análisis de varianza (ANDEVA), a un nivel del 95% de confianza y para establecer diferencias significativas, se empleó el método de Duncan ($p \leq 0,05$), para cada una de las variables en los 10 clones y para el tratamiento de la información, se utilizó el software SPSS (versión 21 Windows) y Microsoft Office, Excel 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Forraje de batata. Los clones de batata presentan, en AFFD, un rendimiento que oscila entre 7,40 y 12,7 kg.(m²)⁻¹, con un estimado de 49 t.ha⁻¹ y 10,63 % de rendimiento de forraje fresco (RFF) y materia seca del fruto (MSF), respectivamente, donde se determinó que el clon 440-287 presenta el mejor RFF, con 63,67 t.ha⁻¹ (Tabla 1). Estos rendimientos son superiores a 10,3 % y 12,1 t.ha⁻¹, para MSF y RFF, determinado por Lam (2016).

Los 10 clones presentaron un contenido de materia seca promedio de 10,63 %, que se considera moderada, comparado con los reportados por Pico *et al.* (2011), quienes encontraron un 18,49 % de materia seca, con un alto contenido de minerales, representado en cenizas, con promedio de 12,87 %, proteína promedio de 14,19 %, FDN de 50,23 % y FDA de 31,97 %, lo que indica que, estos clones, se encuentran en el rango de materiales como la alfalfa fresca y la planta entera de maíz, con 21,7 y 10,5 % de proteína, respectivamente. Du *et al.* (2016) reportan, para alfalfa fresca y la

Tabla 1. Rendimiento y calidad integral del forraje de batata.

Introducción	Aforo Forraje Fresco (kg) (AFFD)*	Rendimiento de Forraje Fresco (t.ha ⁻¹) (RFF)	Materia Seca del forraje (%) (MSF)	Forraje seco (t.ha ⁻¹) (RFS)	Cenizas (%)	PC (%)	EE (%)	FDN (%)	FDA (%)	DMS (%)	IMS	VRF
440-045	11,34	56,68	9,50	5,04	13,07	12,21	3,78	48,40	30,40	65,22	2,48	125,34
440-621	9,63	48,17	12,30	5,90	12,55	13,42	3,24	54,17	33,99	62,42	2,22	107,19
440-255	10,23	51,17	12,05	6,20	11,94	14,02	4,03	48,49	30,46	65,17	2,47	125,03
440-078	9,85	49,25	9,97	4,92	11,33	12,84	5,78	46,30	29,10	66,23	2,59	133,07
440-287	12,73	63,67	10,95	6,90	13,80	16,58	2,49	50,81	31,90	64,05	2,36	117,26
440-357	11,57	57,83	9,08	5,36	15,68	15,33	3,41	48,98	30,76	64,93	2,45	123,32
440-260	8,55	42,75	11,09	3,14	12,39	13,01	1,96	50,57	31,75	64,16	2,37	118,03
440-016	9,14	45,72	11,09	5,02	11,69	14,04	1,82	53,01	33,27	62,98	2,26	110,52
440-656	7,50	37,50	9,27	3,48	12,72	15,43	3,81	54,82	34,39	62,11	2,19	105,39
Tainug-66	7,40	37,00	10,94	4,08	13,54	15,04	2,41	53,72	33,71	62,64	2,23	108,47
Promedios	9,79	48,97	10,63	5,00	12,87	14,19	3,27	50,93	31,97	63,99	2,36	117,36
DMS (%)	3,95	19,78	2,31	1,96	1,17	1,28	1,10	2,70	3,27	2,55	0,24	16,91
CV %	24,56	24,56	15,50	32,11	9,77	9,70	36,17	5,68	5,63	2,19	5,72	7,92
Promax-DMS**	8,78	43,89	9,99	4,94	14,51	15,3	4,68	52,12	31,12	63,68	2,35	116,16

* foro del forraje en 2 metros cuadrados. **Promax – DMS = Diferencia entre el promedio del clon de mejor desempeño y la diferencia mínima significativa. Determina el límite por encima del cual se ubican los promedios de los clones que no difieren del de más alto desempeño. PC: Proteína cruda; EE: Extracto etéreo; FDN: Fibra detergente neutra; FDA; Fibra detergente ácida; DMS: Digestibilidad de la materia seca; IMS: Ingesta de la materia seca; VRF: Valor relativo del forraje.

planta de maíz entera, un porcentaje de FDN de 35,7 y 72,9 % y FDA de 23,1 y 40,8 %; estos valores altos deprimen su consumo en animales de digestión enzimática. También es un follaje bajo en grasas; Wang *et al.* (2016) reportaron contenidos de grasa entre 0,4 y 3 %, similares al promedio de los 10 clones, con 3,27 %. De la tabla 1, se deduce que el mejor clon para producción de forraje es el 440-287, dado que presenta buen desempeño en el aforo en fresco, rendimiento en fresco y seco, cenizas y proteína.

Con base en VRF, se determinó que el clon 440-078 expresó un valor de 133,07, seguido por los clones 440-045 y 440-255, que los ubica como los de mejor calidad integral, con un VRF de 125, si se compara con lo reportado por Putman *et al.* (2008), para alfalfa, que expresa un valor medio -VRF de 150, con un tope “Supreme” >185 unidades de -VRF. Por tanto, el forraje de batata puede ser ofrecido a rumiantes mayores (bovinos-vacas y búfalos) y menores (ovinos, caprinos), así como para ser ofertado a animales de digestión enzimática, previo deshidratado (Solis & Ruiloba, 2017).

Tubérculo de batata. La materia seca varía, según el clon, el promedio de los 10 clones fue de 32,06 %, una MS que se encuentra

acorde con los datos reportados por Martí (2018) y García-Méndez *et al.* (2016), quienes reportan una materia seca en el tubérculo de batata del 29,5 y 28,39 %, respectivamente.

Según el ISP de 1,32, el mejor clon de batata fue el 440-656, con alto rendimiento de (t.ha⁻¹) y alta materia seca (Tabla 2). El rendimiento para los clones oscila entre 21,19 y 35,45 t.ha⁻¹; aunque la variación es amplia, está acorde con los datos registrados por Šlosár *et al.* (2016), quienes reportan, para los cultivares comerciales Beauregard, Serbian y Zagrebian, rendimientos de 32,76, 39,30 y 32,01 t.ha⁻¹, respectivamente.

El contenido de ceniza de los tubérculos de batata (Tabla 3) oscila entre 3,46 y 4,80 %, superiores a los datos reportados por García-Méndez *et al.* (2016), con 1,53 %, en promedio de cenizas y González *et al.* (2015), con 1,24 %, en batata roja y 0,15 %, en batata amarilla.

El porcentaje promedio de proteína en los tubérculos fue de 5,25 % y grasa 2,02 %, datos superiores comparados con los reportados por Martí *et al.* (2011), valores de 1,63 y 0,60 %, respectivamente.

Tabla 2. Rendimiento promedio e índice de selección ponderado en tubérculos de batata.

Nombre Introducción	Materia Seca del Tubérculo (%) (MST)	Rendimiento de Tubérculo (t.ha ⁻¹) (RT)	ISP	Posición
440-656	38,01	33,54	1,32	1
440-621	31,41	35,45	0,57	2
Tainug-66	32,39	33,49	0,51	3
440-078	35,04	27,08	0,26	4
440-016	31,62	28,84	-0,06	5
440-045	33,5	25,66	-0,10	6
440-287	26,44	33,29	-0,36	7
440-260	30,33	27,61	-0,36	8
440-255	34,59	21,19	-0,39	9
440-357	27,26	21,75	-1,38	10
Promedio	32,06	28,79		
DMS %	10,02	4,72		
CV %	20,10	17,58		

Tabla 3. Rendimiento y contenido nutricional del tubérculo de batata.

Introducción	Nombre Introducción	Cenizas de la Harina de Batata (%)	Proteína Cruda de la Harina de Batata (%)	Extracto Etéreo de la Harina de Batata (%)	FDN (%)	FDA %	ISP	Posición	Peso Categoría A (Kg) parcela de 1 X 5 m	Peso Categoría B (Kg) parcela de 1 X 5 m	Peso Categoría C (Kg) parcela de 1 X 5 m
1	440-045	3,82 c	5,97 abc	0,50 a	32,56 ab	23,32	-0,51	8	21,30 bc	9,38 b	5,25 d
2	440-621	3,93 bc	4,51 de	2,86 a	34,94 ab	25,29	0,14	4	38,28 a	16,43 a	16,43 a
3	440-255	3,93 bc	3,89 e	3,22 a	34,65 ab	25,07	0,07	5	23,07 bc	11,13 b	10,60 bc
4	440-078	4,15 bc	4,79 de	1,70 a	34,26 ab	24,73	-0,04	6	19,18 bc	10,05 b	8,43 bcd
5	440-287	5,78 a	5,29 bcd	1,79 a	36,04 ab	26,21	0,45	3	28,88 ab	12,55 b	12,28 ab
6	440-357	4,80 b	6,19 ab	1,21 a	42,02 a	31,2	2,11	1	16,52 c	8,23 b	6,90 cd
7	440-260	4,28 bc	4,95 cde	1,83 a	33,61 ab	24,28	-0,21	7	18,35 bc	12,55 b	7,13 cd
8	440-016	3,46 c	4,07 e	2,03 a	30,35 b	21,47	-1,13	9	22,4 bc	11,83 b	9,55 bcd
9	440-656	3,99 bc	6,69 a	3,05 a	36,76 ab	26,81	0,65	2	23,48 bc	10,58 b	8,73 bcd
10	Tainug-66	4,07 bc	6,14 ab	1,97 a	28,89 b	20,25	-1,53	10	22,93 bc	9,65 b	7,90 bcd
Promedio		4,22	5,25	2,02	34,41	24,86			23,44	11,24	9,32
DMS %		0,90	1,09	2,61	9,16	5,47			11,17	5,02	4,97
CV %		18,30	20,19	69,41	15,38	12,10			57,05	41,12	40,56

FDN: Fibra detergente Neutra; FDA: fibra detergente ácida; ISP: Índice de selección ponderado.

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa (Duncan) ($p \leq 0,05$).

Estos autores afirman que la proteína de batata es valiosa, debido a su aporte de aminoácidos esenciales, destacándose la lisina, esto hace que la harina pueda ser utilizada como complemento de cereales deficientes en este aminoácido. A su vez, García-Méndez *et al.* (2016) identificaron en batata, variedad topera, niveles de proteína de 4,13 %, considerándolos altos y con potencialidad. Respecto a la FDN y FDA, se identificó en promedio 34,41 y 24,86 %; estos valores, se consideran relevantes, con posibilidad de ser incorporados en una dieta animal, debido a su moderada FDN y FDA.

Se aclara que, a menor contenido de fibras (FDN y FDA) mayor calidad, valores bajos, muy bajos o negativos que se presenten en el índice de selección ponderado (ISP), hace referencia al clon sobresaliente, por tanto, el mejor material será el que exprese el valor más negativo. Según el índice de selección ponderado (ISP), el clon que presenta mejor calidad en el tubérculo es el Tainung-66, con ISP de -1,53 y bajo contenido de FDN y FDA. A su vez, el clon con más bajo desempeño fue 440-357, con un ISP de 2,11.

Se identificaron tres categorías de calidad A, B y C, según su peso (Tabla 3). La categoría A, correspondiente al mayor peso de tubérculo, puede ser utilizada para procesos agroindustriales en la elaboración de harinas y derivados y las categorías B y C, para consumo en fresco. García-Méndez *et al.* (2016) afirman que la tendencia de los mercados va dirigida al consumo de raíces y de tubérculos de pesos livianos a medios y representan un menor aporte calórico y mayor digestibilidad.

Viscoamilograma de almidón de Batata. En la tabla 4, figura 1, se presentan las propiedades funcionales y las curvas de empastamiento de almidón, en 10 clones de batata.

Temperatura de gelatinización. Se encontraron diferencias significativas en la temperatura inicial de empastamiento para los 10 clones de batata ($p \leq 0,05$); los clones 440-621, 440-078 y 440-656 presentaron las más altas temperaturas de gelatinización (Tabla 4),

Tabla 4. Viscosidad del almidón de batata durante ciclos de calentamiento-enfriamiento (\pm desviación estándar).

Referencia	A	B	C	D	E	F
440-045	73,7 \pm 0,6 e	801 \pm 18,5 ab	540 \pm 33,9 d	261 \pm 47,5 a	735 \pm 53,9 d	194 \pm 27,5 b
440-621	75,4 \pm 0,5 a	822 \pm 36,2 a	595 \pm 17,9 bc	227 \pm 45,5 abc	781 \pm 12,2 d	187 \pm 15,3 b
440-255	73,6 \pm 0,3 e	837 \pm 34,8 a	573 \pm 38,5 d	265 \pm 58,1 a	755 \pm 35,6 d	183 \pm 8,0 b
440-078	75,3 \pm 0,3 a	734 \pm 63,4 d	605 \pm 10,4 abc	163 \pm 1,2	797 \pm 30,5 abc	193 \pm 22,2 b
440-287	74,4 \pm 0,5 b	777 \pm 22,8 d	671 \pm 15,1 a	105 \pm 36,9 d	869 \pm 16,7 a	197 \pm 9,8 b
440-357	74,3 \pm 0,2 bc	799 \pm 56,0 ab	639 \pm 55,9 ab	193 \pm 58,9	834 \pm 62,1 abc	195 \pm 25,3 b
440-260	74,0 \pm 0,8 cd	831 \pm 51,5 a	583 \pm 29,7 d	248 \pm 79,7 ab	772 \pm 9,8 d	190 \pm 23,0 b
440-016	73,3 \pm 0,1 e	795 \pm 9,2 abc	617 \pm 4,6 abc	178 \pm 9,0 d	838 \pm 17,6 ab	221 \pm 14,7 a
440-656	75,3 \pm 0,3 a	723 \pm 4,0 d	609 \pm 12,2 abc	114 \pm 8,5 d	806 \pm 19,8 abc	197 \pm 15,0 b
Tainug-66	74,5 \pm 0,2 b	730 \pm 12,3 d	569 \pm 20,3 d	162 \pm 22,7 d	738 \pm 13,8 d	169 \pm 24,5 b
DMS	0,66		50,30	79,93	56,90	34,051

A: Temperatura de empastamiento ($^{\circ}$ C); B: Viscosidad máxima (cP); C: viscosidad de la pasta caliente VPC (cP); D: Inestabilidad del gel Vmax-VPC (cP); E: viscosidad de la pasta fría VPF (cP); F: Reorganización VPF-VPC.
Promedios con letras distintas indican diferencia significativa (Duncan) ($p \leq 0,05$).

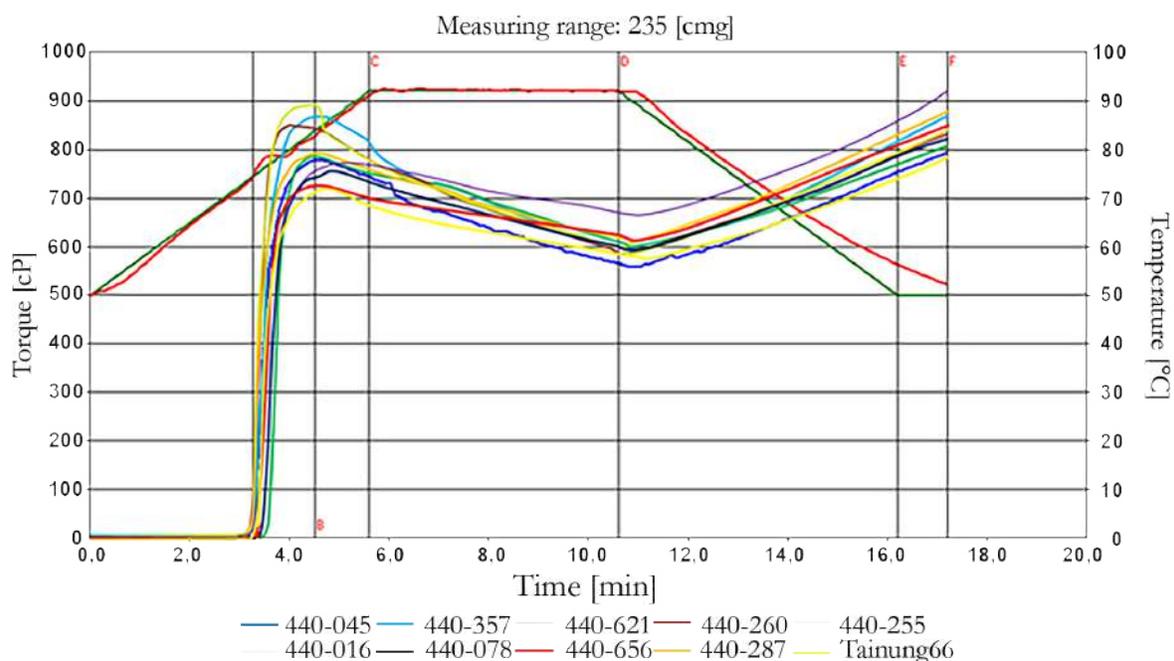


Figura 1. Viscoamilograma de almidones nativos de batata.

lo que indica, que requieren mayor tiempo de cocción para iniciar el proceso de absorción de agua, hinchamiento y gelatinización. Estas temperaturas son coherentes con lo reportado por Jiménez-Villalba *et al.* (2019), en cuatro clones de batata, con temperaturas de gelatinización, que oscilan entre los 74 y 80 °C. El calor rompe los enlaces entre las micelas cristalinas del almidón, lo que hace que la amilosa se solubilice y se incremente la viscosidad; por tanto, entre mayor sea el tiempo y más alta la temperatura, el almidón demorará en alcanzar su viscosidad máxima, repercutiendo en la facilidad de cocción. Beleia *et al.* (2006) reportan que, a mayor contenido de amilosa mayor temperatura para iniciar el proceso de pastificación. Según Hoyos-Leyva *et al.* (2012), las bajas temperaturas de gelatinización, se explican porque el gránulo de almidón absorbe agua de manera rápida, debido al debilitamiento entre las fuerzas de atracción entre las moléculas (amilosa/amilopectina).

La viscosidad máxima (Vm). Los almidones evaluados presentaron una viscosidad máxima, que oscila entre 723 y 837cP, arrojando diferencias significativas ($p \leq 0,05$), entre ellos, estos resultados fueron consistentes con los reportados por Zhou *et al.* (2017), con valores de 745 cP de viscosidad, máxima en almidones de batata. Los valores de Vm más bajos (Figura 1), se presentaron en los clones 440-656 y Tainug-66, con 723 y 730cP, respectivamente, los cuales, podrían ser empleados en la industria alimentaria en la elaboración de gomas y dulces, mientras que los clones 440-621, 440-255 y 440-260 tuvieron los más alto pico de viscosidad, posiblemente, a que los gránulos de almidón de estos clones tienen mayor absorción de agua al ser sometidos a calentamiento; según Beleia *et al.* (2006), a medida que los gránulos de almidón absorben agua y se hinchan, modifican su tamaño y volumen, va aumentando la viscosidad hasta alcanzar su pico máximo de viscosidad y los gránulos se rompen. Jiménez-Villalba *et al.* (2019) afirman que, entre más amilosa contengan los almidones, más dramático será su aumento en viscosidad y que la Vm de la pasta, durante el calentamiento, podría ser un buen espesante en la industria de confitería.

Viscosidad de la pasta caliente (VPC). La VPC, se debe a los gránulos hinchados, moléculas de almidón coloidal y dispersiones presentes en la pasta caliente (Zhou *et al.* 2016). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los clones; sin embargo, todos los clones tienen una marcada tendencia (Figura 1), al comparar la Vm con la VPC y la VPF.

La inestabilidad del gel (Vmax-VPC). Se evidenciaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los clones (Tabla 4); 440-255 y 440-045 presentaron los valores más altos de inestabilidad del gel 265 y 261 cP, respectivamente, lo que indica que no son pastas estables; según Paternina *et al.* (2016), la inestabilidad del gel es un indicativo de qué tan resistentes son los geles, al cizallamiento mecánico y térmico, en procesos agroindustriales. Los valores de inestabilidad del gel más bajos corresponden a los clones 440-287 y 440-656, con 105 y 114 cP, respectivamente.

La viscosidad de la pasta fría (VPF). Se encontraron diferencias significativas entre los clones; sin embargo, en los clones 440-078,

440-287, 440-357, 440-016 y 440-656, cuando la pasta se enfrió, la viscosidad aumentó, lo que indica que no son estables a los procesos de enfriamiento; este mismo fenómeno, se presentó en tubérculos de makal, yuca y sagú (Hernández-Medina *et al.* 2008).

Reorganización (VPF-Vmax). Variable asociada con la retrogradación, no se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), salvo en el clon 440-016, con 221 cP, indicando que este clon tiene tendencia a la retrogradación. Jiménez-Villalba *et al.* (2019) reportaron resultados superiores, entre 698 y 1239 cP, los cuales, variaron según la localidad y recomiendan realizar técnicas de modificación a la estructura del almidón nativo, debido a los altos resultados. La reorganización o Setback es importante, porque cuando el almidón se enfría y después se refrigera, adquiere una estructura rígida, la cual, se retrae y luego elimina agua. Por su parte, el clon Tainug-66 presentó una viscosidad máxima de 730 cP y una viscosidad de la pasta fría de 738 cP, lo que lo hace el clon con la pasta más estable e interesante para la elaboración de productos que requieran un enfriamiento, congelación y refrigeración, como los flanes.

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

REFERENCIAS

1. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTRY, AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. 10th. Ed. Association of Official Agricultural Chemistry. Washington.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTRY, AOAC. 1990. Official Methods of analysis of the Association of Official analytical chemists. 15th Ed. Arlington (Virginia, USA). p.30-64.
3. BELEIA, A.; BUTARELO, S.; SILVA, R. 2006. Modeling of starch gelatinization during cooking of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Food Sci. Technol. 39:400-405. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.02.021>
4. CASTILLO, M.R.; BRENES, A.A.; ESKER, P.; GÓMEZ, A.L. 2014. Evaluación agronómica de trece genotipos de camote (*Ipomoea batatas* L.). Agronomía Costarricense. 38(2):67-81.
5. DU, S.; XU, M.; YAO, J. 2016. Relationship between fibre degradation kinetics and chemical composition of forages and by-products in ruminants. J. Applied Animal Research. 44(1):189-193. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1031767>
6. FAOSTAT. 2020. Food and agriculture Organization of the United Nations. Base de datos, cultivos (producción). Disponible desde internet en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (con acceso el

26/07/2020)

7. FLÓREZ-MARTÍNEZ, D.H.; URIBE-GALVIS, C.P.; CONTRERAS-PEDROZA, C.A. 2016. Perspectivas tecnológicas y comerciales para el cultivo de la batata en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- Corpoica (Mosquera, Colombia). 110p.
8. GARCÍA-MÉNDEZ, A.D.; PÉREZ-DARNIZ, M.Y.; GARCÍA-MÉNDEZ, A.A.; MADRIZ-IZTURIZ, P.M. 2016. Postharvest characterization and chemical composition of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lamb.) Topera variety. *Agronomía Mesoamericana*. 27(2):287-300. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.21426>
9. GONZÁLEZ, A.; ALVIS, A.; ARRÁZOLA, G. 2015. Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (*Ipomoea batatas* Lam) fritos por inmersión: Parte 1: Textura. *Información tecnológica*. 26(1):95-102. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000100011>
10. GRACE, M.H.; TRUONG, A.N.; TRUONG, V.; RASKIN, I.; LILA, M.A. 2015. Novel value - added uses for sweet potato juice and flour in polyphenol - and protein - enriched functional food ingredients. *Food Sci Nutr*. 3(5):415-424. <https://dx.doi.org/10.1002/fsn3.234>
11. GRÜNEBERG, W.J.; MA, D.; MWANGA., R.O.M.; CAREY, E.E.; HUAMANI, K.; DIAZ, F.; EYZAGUIRRE, R.; GUAF, E.; JUSUF, M.; KARUNIAWAN, A.; TJINTOKOHADI, K.; SONG, Y.S.; ANIL, S.R.; HOSSAIN, M.; RAHAMAN, E.; ATTALURI, S.I.; SOMÉ, K.; AFUAPE, S.O.; ADOFO, K.; LUKONGE, E.; KARANJA, L.; NDIRIGWE, J.; SSEMAKULA, G.; AGILI, S.; RANDRIANAIVOARIVONY, J.M.; CHIONA, M.; CHIPUNGU, F.; LAURIE, S.M.; RICARDO, J.; ANDRADE, M.; RAUSCH, F.F.; MELLO, A.S.; KHAN, M.A.; LABONTE, D.R.; YENCHO, G.C. 2015. Advances in sweetpotato breeding from 1992 to 2012. In: Campos, H.; Caligari, P.D.S. (eds). *Genetic improvement of tropical crops*. Springer. Cham Switzerland. p.3-68.
12. HERNÁNDEZ-MEDINA, M.; TORRUCO-UCO, J.G.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCONA, D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*. 28(3):718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
13. HOYOS-LEYVA, J.D.; JARAMILLO-JIMÉNEZ, P.A.; GIRALDO-TORO, A.; DUFOUR, D.; SÁNCHEZ, T.; LUCAS AGUIRRE, J.C. 2012. Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (*Musa* spp.). *Acta Agronómica*. 61(3):214-229.
14. JIMÉNEZ-VILLALBA, K.; ARRIETA-BANQUET, L.; SALCEDO-MENDOZA, J.; CONTRERAS-LOZANO, K. 2019. Caracterización de harinas y almidones de batatas (*Ipomoea batatas* Lam.) de la costa caribe colombiana. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient*. 22(1):e1185. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1185>
15. KOUSSAO, S.; GRACEN, V.; ASANTE, I.; DANQUAH, E.Y.; OUEDRAOGO, J.T.; BAPTISTE, T.J.; JEROME, B.; VIANNEY, T.M. 2014. Diversity analysis of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) germplasm from Burkina Faso using morphological and simple sequence repeats markers. *African Journal of Biotechnology*. 13(6):729-742. <https://doi.org/10.5897/AJB2013.13234>
16. LAI, Y.C.; WANG, S.Y.; GAO, H.Y.; NGUYEN, K.M.; NGUYEN, C.H.; SHIH, M.C.; LIN, K.H. 2015. Physicochemical properties of starches and expression and activity of starch biosynthesis-related genes in sweet potatoes. *Food Chemistry*. 199:556-564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.053>
17. LAM, V. 2016. Agricultural potential of sweet potato (*Ipomoea batatas*, L. (Lam)) for forage production. *Livestock Research for Rural Development*. 28:101.
18. MARTÍ, H.R. 2018. Producción de batata. 1ra. Edición, Ediciones INTA.
19. MARTÍ, H.R.; D'CHUDIL, H.; CORBINO, G. 2011. La batata: el redescubrimiento de un cultivo. *Ciencia hoy*. 21(121):17-23.
20. MARTÍNEZ-MORENO, D.; REYES-MATAMOROS, J.R.; BASURTO-PEÑA, F.B.; ANDRÉS-HERNÁNDEZ, R.A. 2018. Asignación de recursos en camote (*Ipomoea batatas*). *Rev. Iberoam. Cienc*. 5(4):8-18.
21. MOORE, J.E.; UNDERSANDER, D.J. 2001. Relative Forage Quality: An Alternative to Relative Feed Value and Quality Index. *Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*. p.16-32.
22. MOORTHY, S.N. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: A review. *Starch-Stärke*. 54(12):559-592. [https://doi.org/10.1002/1521379X\(200212\)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1521379X(200212)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F)
23. MURILLO-MARTÍNEZ, M.; ALVIS-BERMÚDEZ, A.; ARRAZOLA-PATERNINA, G. 2021. Physicochemical and functional properties of almidon obtained from two varieties of sweet potatoes (*Ipomoea batatas*). *Rev. Bio. Agro*. 19(1):117-127. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(19\)117-127](https://doi.org/10.18684/bsaa(19)117-127)
24. NGUYEN, H.C.; CHEN, C.-C.; LIN, K.-H.; CHAO, P.-Y.;

- LIN, H.-H.; HUANG, M.Y. 2021. Bioactive Compounds, Antioxidants, and Health Benefits of Sweet Potato Leaves. *Molecules*. 26(7):1820. <https://doi.org/10.3390/molecules26071820>
25. ORDOÑEZ NARVÁEZ, G.A.; ORTIZ GRISALES, S.; VALDÉS RESTREPO, M.P.; VALLEJO CABRERA, F.A. 2014. Selección de introducciones de *Cucurbita* por contenido de aceite en semillas. *Acta Agronómica*. 63(2):175-180. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.40026>
26. ORTIZ-GRISALES, S.; VALLEJO-CABRERA, F.A.; BAENA-GARCIA, G.D.; ESTRADA-SALAZAR, E.I.; VALDÉS-RESTREPO, M.P. 2013. Zapallo para consumo en fresco y fines agroindustriales: Investigación y desarrollo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Santiago de Cali, Feriva. Colombia. ISBN: 978-958-761-509-8.
27. PATERNINA C., A.; SALCEDO, M.J.; ROMERO, B.P. 2016. Efecto de la harina de ñame (*Dioscorea rotundata* P) sobre las propiedades texturales de salchichas. *Agronomía Colombiana*. Suplemento 1:S379-S381. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58021>
28. PICO F, S.M.; GUTIÉRREZ, D.; ARAGÓN, G.I.; ESCOBAR, S.A.; ORTIZ, D.A.; SÁNCHEZ, T.; IMBACHÍ N., P.; PACHÓN, H. 2011. Evaluación de la composición nutricional, antinutricional y biodisponibilidad in vitro de diferentes extractos foliares. *Rev. chilena de nutrición*. 38(2):168-176. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182011000200007>
29. PUTMAN, D.H.; ROBINSON, P.; PETERS, DE E. 2008. Forage Quality Testing. Chapter 16. In: *Irrigated alfalfa management for Mediterranean and desert zones*. Disponible desde internet en: https://alfalfa.ucdavis.edu/IrrigatedAlfalfa/pdfs/UCAlfalfa8302ForageQuality_free.pdf (con acceso el 26/07/2020)
30. RIZZOLO, J.A.; WOICIECHOWSKI, A.L.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.I.; ZEVALLOS TORRES, L.A.; SOCCOL, C.R. 2021. The potential of sweet potato biorefinery and development of alternative uses. *SN Appl. Sci*. 3:347. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04369-y>
31. ŠLOSÁR, M.; MEZEYOVÁ, I.; HEGEDŮSOVÁ, A.; GOLIAN, M. 2016. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) growing in conditions of southern slovak republic. *Potravinárstvo*. 10(1):384-392. <http://dx.doi.org/10.5219/626>
32. SOLIS, C.; RUILOBA, M.H. 2017. Evaluación de diferentes niveles de ensilaje integral de camote (*Ipomoea batatas*) como fuente energética para bovinos en crecimiento. *Cuban J. Agric. Sci*. 51(1):35-46.
33. VALDÉS RESTREPO, M.P.; ORTIZ GRISALES, S.; VALLEJO CABRERA, F.A.; BAENA GARCÍA, D. 2014. Variabilidad en frutos y semillas de *Cucurbita moschata* Duch. y *Cucurbita argyrosperma* subsp. *sororia* L.H. Bailey Merrick & D.M. Bates. *Acta Agronómica*. 63(3):282-293. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v63n3.41052>
34. VAN, A.L.; LINDBERG, B.E.F.; LINDBERG, J.E. 2003. Effect of harvesting interval and defoliation on yield and chemical composition of leaves, stems and tubers of sweet potato (*Ipomoea batatas* L (Lam.)) plant parts. *Field Crops Res*. 82(1):49-58. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00018-2)
35. VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci*. 74(10):3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
36. WANG, S.; NIE, S.; ZHU, F. 2016. Chemical constituents and health effects of sweet potato. *Food Res Int*. 89(1):90-116. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.032>
37. ZHOU, D.N.; ZHANG, B.; CHEN, B.; CHEN, H.Q. 2017. Effects of oligosaccharides on pasting, thermal and rheological properties of sweet potato starch. *Food Chemistry*. 230:516-523. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.088>
38. ZHOU, F.; LIU, Q.; ZHANG, H.; CHEN, Q.; KONG, B. 2016. Potato starch oxidation induced by sodium hypochlorite and its effect on functional properties and digestibility. *Int. J. Biological macromolecules*. 84:410-417. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.050>



Indicadores de estabilidad aeróbica en ensilajes de la mezcla *Tithonia diversifolia*/*Pennisetum purpureum* enriquecidos con *Lactobacillus*

Indicators of aerobic stability in silages of the mixture *Tithonia diversifolia*/*Pennisetum purpureum* enriched with *Lactobacillus*

Vilma A. Holguín^{1*}; Mario Cuchillo²; Jairo Mora-Delgado³

¹Zootecnista, M.Sc., Ph.D. Universidad del Tolima, Departamento de Producción Pecuaria, Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: vholguin@ut.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-2680-5846>

²MVZ, Ph.D. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán". Ciudad de México, México; email: mario.cuchilloh@incmsnz.mx; <https://orcid.org/0000-0001-6985-3763>

³Zootecnista, M.Sc., Ph.D. Universidad del Tolima, Departamento de Producción Pecuaria, Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: jrmora@ut.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1093-4216>

*autor para correspondencia: vholguin@ut.edu.co

Cómo citar: Holguín, V.A.; Cuchillo, M.; Mora-Delgado, J. 2021. Indicadores de estabilidad aeróbica en ensilajes de la mezcla *Tithonia diversifolia*/*Pennisetum purpureum* enriquecidos con *Lactobacillus*. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e2093. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2093>

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 27 de 2019

Aceptado: septiembre 20 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

En épocas de escasez, los ganaderos recurren a conservar el alimento mediante procesos de fermentación anaeróbica, conocidos como ensilajes. Una vez que el silo es abierto, el sustrato resulta aeróbicamente estable, cuando, al momento de la apertura, conserva su integridad nutricional. Esto es el resultado de un ambiente ácido que restringe los efectos deletéreos de la acción de microorganismos patógenos, expresado en indicadores de estabilidad a la exposición aeróbica. Uno de los problemas

empíricos que enfrenta el productor es resolver la pregunta de cómo evitar el deterioro del ensilaje, una vez es abierto, por lo cual, esta investigación apunta a la resistencia en el periodo de exposición aeróbica (PEA) de un ensilaje de *Pennisetum purpureum* (PP), con diferentes niveles de sustitución de *Tithonia diversifolia* (TD). El estudio, se adelantó en el Centro Internacional de Agricultura Tropical en Colombia. Con un ensilaje de 90 días de fermentación, se realizó una prueba de estabilidad aeróbica de siete días, usando ensilajes de un kilogramo, a diferentes proporciones (%) de TD/PP: 100/0, 67/33, 33/67 y 0/100, enriquecidos con dos aditivos

basados en *Lactobacillus*. Se midió el cambio de la materia seca, temperatura y el pH, encontrándose una estabilidad a la exposición aeróbica. El papel de TD es notable, una vez que el ensilado entra en el PEA, debido a la capacidad tampón que amortigua el cambio de pH, una vez que se abre el silo, generando mayor estabilidad aeróbica.

Palabras clave: Acidez; Capacidad de búfer; Deterioro aeróbico; Variación térmica; Fermentación.

ABSTRACT

In times of scarcity, farmers resort to preserving food through anaerobic fermentation processes, known as silage. Once the silo is opened, the substrate is aerobically stable if it retains its nutritional integrity when opening. This is the result of an acidic environment that restricts the deleterious effects of the action of pathogenic microorganisms, expressed as indicators of stability to aerobic exposure. One of the empirical problems faced by the producer is to solve the question of how to avoid deterioration of the silage once it is opened, for which this research points to the resistance in the period of aerobic exposure (PEA) of a silage of *Pennisetum purpureum* (PP) with different levels of substitution of *Tithonia diversifolia* (TD). The study was conducted at the International Center for Tropical Agriculture in Colombia. With a 90-day fermentation silage, a seven-day aerobic stability test was carried out, using a kilogram silage at different proportions (%) of TD/PP: 100/0, 67/33, 33/67 and 0/100 enriched with two *Lactobacillus*-based additives. The change in dry matter, temperature and pH was measured, finding stability to aerobic exposure. The role of TD is remarkable once the silage enters the PEA due to the buffer capacity that buffers the change in pH once the silo is opened, generating greater aerobic stability.

Keywords: Acidity; Buffer capacity; Aerobic deterioration; Thermal variation; Fermentation.

INTRODUCCIÓN

El propósito de hacer ensilaje es producir un forraje estable, con una alta conservación de la materia seca, energía y nutrientes digeribles después de la cosecha (Kung Jr. *et al.* 2018). En los sistemas de ganadería tropical, la inestabilidad aeróbica de los silos conlleva a pérdidas en el alimento, por lo tanto, se debe preparar en volúmenes apropiados, para administrarse en un corto lapso, después de la apertura.

Una vez abiertos los silos, la exposición aeróbica induce el desarrollo de poblaciones microbianas aerobias, iniciando la oxidación de los productos de fermentación presentes en el sustrato, causando un deterioro en la calidad, por la producción de sustancias o microorganismos tóxicos (Danner *et al.* 2003; Santos da Silva *et al.* 2014). Así, el ensilaje se torna aeróbicamente inestables, si en el periodo post apertura es invadido por microorganismos deletéreos, tales como mohos y levaduras (Borreani *et al.* 2018). Si estos microorganismos encuentran un ambiente favorable podrían

ocasionar cambios en la coloración y la textura, como pérdidas de materia seca (DM) y nutrientes. El incremento de la actividad microbiana induce el aumento de la temperatura, así la estabilidad aeróbica se puede medir, evaluando este parámetro. El sustrato ensilado es aeróbicamente estable, si después de la exposición aeróbica mantiene una temperatura interna no superior a los 3 °C de diferencia respecto a la temperatura ambiente (Espinoza *et al.* 2017; Heinritz *et al.* 2012). El incremento de la temperatura constituye un indicador de la actividad de microorganismos aerobios, como mohos y las levaduras, proceso que puede ocasionar pérdidas de MS, si el incremento del consumo de nutrientes es considerable (Borreani *et al.* 2018).

El daño aeróbico de los ensilajes constituye un problema para la conservación de nutrientes, principalmente, por la fermentación alcohólica causada por levaduras y mohos, que asimilan el lactato (Pahlow *et al.* 2003). Frente a esto, los mecanismos para inducir la resistencia al deterioro aeróbico varían, entre ellos, los *Lactobacillus* heterofermentativos, que tienen una acción positiva, dado que producen ácido acético y propanodiol, además, decrece el número de levaduras y se incrementa el ácido acético en el ensilaje (Kung Jr. *et al.* 2018); esto contribuye a prolongar la resistencia aeróbica.

La inoculación con bacterias ácido-lácticas (BAL) heterofermentativas, como *Lactobacillus brevis* o *Lactobacillus buchneri*, aumenta la estabilidad (Danner *et al.* 2003); sin embargo, otras estrategias se podrían considerar para mitigar el deterioro, entre ellas, el ensilado de mezclas de plantas fuentes de energía y fibra con especies, que tienen la capacidad de producir altas concentraciones de ácido láctico en procesos de fermentación aeróbica, es decir, plantas con alta capacidad de mantener un pH bajo, cuando el silo es expuesto al aire (Mendieta-Araica *et al.* 2009).

Esta investigación parte de la hipótesis de que la sustitución de PP con TD en diferentes proporciones en el sustrato fermentado, aumenta la resistencia aeróbica. Por lo tanto, este experimento tiene como objetivo cuantificar el efecto de diferentes niveles de sustitución de la mezcla *T. diversifolia*/*P. purpureum*, enriquecidos con aditivos de *Lactobacillus* sobre la estabilidad del ensilaje, en el periodo de exposición aeróbica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis, se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Forrajes del Centro Internacional de Agricultura tropical – CIAT, en el Municipio de Palmira, Colombia, 3°30'09"N; 76°21'18"W.

Preparación de los microsilos. El forraje utilizado para la producción de ensilaje fue recolectado en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia - sede Palmira (CEUNP), en el Departamento del Valle del Cauca; área localizada a una altitud de 1.000 m s.n.m.; 2°06'N y 65°03'W; presenta una precipitación anual media de 1.000 mm y temperatura media de 24 °C. Esta zona ha sido clasificada como tropical bosque seco (Holdridge, 2000). El forraje de *Pennisetum purpureum* y *Tithonia diversifolia*, se cosecharon en estado de prefloración. El forraje, se secó previamente durante

24 horas; luego, se picó para reducir la partícula tamaño a 2 cm, en un molino de tres palas, 7.5 HP, 1.400 rpm y 4.5 Amperios, marca Gaitán. Una vez que el forraje fue picado por separado para cada especie, se hizo una mezcla manual.

Los ensilajes, se almacenaron durante 90 días. Se mezclaron en cuatro niveles de sustitución de materia fresca, configurando cuatro proporciones de TD/PP, así: 100/0; 67/33; 33/67; 0/100. Cada proporción, se enriqueció con dos aditivos, para evaluar el efecto de inóculo: T735; SIL-ALL®4x4 y un control (sin inóculo). El inóculo T735 es una bacteria aislada de *T. diversifolia*, correspondiente a *Lactobacillus paracasei*, obtenido a partir de hojas maceradas, siguiendo el protocolo explicado por Holguín *et al.* (2018), desarrollado en el Laboratorio de Diagnóstico Veterinario de la Universidad del Tolima. La concentración del inóculo utilizado fue de 30×10^7 UFC mL⁻¹, y SIL-ALL®4x4, que es una mezcla comercial de bacterias del ácido láctico *Streptococcus faecium* (CNCM I-3236), *Lactobacillus plantarum* (CNCM I-3235), *Pediococcus acidilactici* (CNCM I-3237) y *Lactobacillus salivarius* (CNCM I-3238).

A los 90 días, se hizo un análisis bromatológico de los microsilos (Tabla 1). Se determinó fibra detergente neutra (FDN); fibra detergente ácida (FDA), según el método descrito por Van Soest & Wine (1967); proteína cruda (PC), según el método de Kjeldahl (Nielsen, 1994) y Materia seca (MS) y cenizas, por medio del método de residuo mineral fijo, descritos por la AOAC (1990), verificándose la calidad bromatológica de los sustratos, donde los valores de PC, MS, FDA y FDN son consistentes con las mezclas y el proceso adecuado de fermentación láctica.

Estabilidad aeróbica. La prueba de estabilidad aeróbica, se realizó siguiendo los protocolos descritos por Honig (1990). Los tratamientos, se ensilaron en bolsas de polietileno, con una capacidad de 1 kg y se sellaron al vacío por triplicado. Luego, se liofilizaron y se almacenaron a una temperatura de, aproximadamente, 25 °C, durante 90 d.

Para la evaluación en el PEA, los microensilajes fueron monitoreados durante siete días después de la apertura. Se hicieron mediciones de temperatura, el pH y la MS; para ello, los microsilos se abrieron y se introdujeron en recipientes de poliestireno de 60 mm de espesor; cada recipiente estaba equipado con termómetros digitales mínimos interiores y exteriores simples (IN-OUT THERMO, infactory, precisión de 0,5 y 0,1 °C, respectivamente), para monitorear la temperatura del ambiente y de los sustratos de forma simultánea. Una desinfección con alcohol del sensor fue realizada después de cada medida. La temperatura, se monitoreo en tres ocasiones durante el día, a las 8, 12 y 16 horas, durante todo el PEA de siete días consecutivos. El pH y la MS fueron medidos al momento de la apertura y a los siete días. La determinación del pH, se hizo con un equipo marca Mettler-Toledo, modelo SG8, serie: B 337764747. La MS, se determinó mediante una estufa Presition™, a 63 °C, durante 72 h.

Diseño experimental y análisis estadístico. Se usó un diseño experimental factorial (Tabla 2); el primer factor fue el nivel de inclusión en la mezcla TD/PP y el segundo, el inoculante (ecuación 1).

$$Y_{ij} = \mu + PP_i + I_j + I \times TD/PP_j + \epsilon \quad \text{ecuación 1}$$

Donde:

Y = es la variable objetivo

μ es el promedio general

I = inoculante

TD/PP = proporción de *T. diversifolia*/ *P. purpureum* en el ensilaje

ϵ = error experimental aleatorio

Se realizó una comparación estadística entre el día en que se abrió el silo y a los siete días después de abierto. Se usó medidas repetidas, siguiendo la subrutina “Estimación de modelos lineales generales y mixtos”, asumiendo variaciones heterogéneas, mediante el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2008). Las diferencias

Tabla 1. Composición química de los ensilajes a los 90 días de fermentación.

Proporción TD/PP	Inóculo	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)
1: 100/0	T-735	28	16,8	34,9	23,1
	Sil-All	29,6	15,9	34,7	24,4
	No Inoc	27,6	18,1	38,6	28,1
2: 67/33	T-735	25,8	12,7	40,8	28,3
	Sil-All	26,8	12,3	41,7	28,7
	No Inoc	24,6	15,1	43,3	29,9
3: 33/67	T-735	23,8	8,6	49,1	33,4
	Sil-All	22,8	9	49,3	33,9
	No Inoc	23,8	8,4	48,8	34,4
4: 0/100	T-735	18	5,3	57,3	38,2
	Sil-All	18,2	5,1	57,9	38,3
	No Inoc	19,8	5,1	57,9	39,1

Proporciones: 1: 100/0; 2: 67/33; 3: 33/67; 4: 0/100; MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDN: fibra detergente ácido.

Tabla 2. Combinación de factores proporción e inóculo, para establecer los tratamientos.

Proporción TD/PP	Inóculo		
	A: No inóculo	B: T-735	C: Sil-all ©4x4
1: 100/0	T1 (1A)	T5 (1B)	T9 (1C)
2: 67/33	T2 (2A)	T6 (2B)	T10 (2C)
3: 33/67	T3 (3A)	T7 (3B)	T11 (3C)
4: 0/100	T4 (4A)	T8 (4B)	T12 (4C)

estadísticas, se detectaron mediante comparaciones de medias de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características químicas de los ensilajes a los 90 días mostraron una tendencia lógica en función de las proporciones TD/PP. La MS, se redujo a medida que se aumenta el nivel de inclusión de PP, siendo más bajos los valores en los ensilajes que contienen PP al 100 % ($p < 0,05$); no se presentó efecto del inóculo (p valor 0,2181). Los valores de PC fueron más altos en los ensilajes que contienen TD al 100 %; cabe señalar que, en este nivel de inclusión, la adición de inóculo no presentó ningún efecto favorable. A medida que se incrementa el nivel de inclusión de PP la proporción de FDN y FDA se incrementa, dada la composición química de las plantas C4 de poseer una pared celular mucho más gruesa respecto a las asteráceas. Con base en estas características del ensilaje, se hicieron los análisis de resistencia aeróbica a los 7 días de abiertos los microsilos.

Variación de la temperatura. No se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el efecto de los inóculos ni en la interacción tratamiento-inóculo, por lo cual, se realiza el análisis de factores individuales. La figura 1 muestra que la temperatura del sustrato disminuye durante las primeras 24 horas y luego aumenta después del tercer día de exposición aeróbica (PEA), en las cuatro proporciones de TD/PP. La diferencia con respecto a la temperatura ambiente, alcanzado en los siete días posteriores a la apertura del silo en las cuatro proporciones, es evidente, principalmente, el aumento térmico de la proporción 4. En esta mezcla, se dio un aumento importante en la temperatura registrada en los primeros dos días de exposición aeróbica, posiblemente, debido a la baja capacidad búfer de la gramínea, que no amortiguó el rápido incremento del pH y como consecuencia una proliferación de microorganismos patógenos, que incrementan la respiración y, por tanto, el aumento de calor (Borreani *et al.* 2018).

En términos generales, la temperatura del sustrato alcanza una expresión máxima entre los días 4 y 5 del PEA y luego decae, estabilizándose alrededor de 27 °C. El pico de alta temperatura alcanzado en la proporción 4 es sobresaliente, después de dos días del PEA, lo que sugiere una mayor intensidad en la actividad microbiana en este tratamiento; posiblemente, esto esté relacionado con un aumento del pH, lo que hace que el ambiente sea más propicio para la actividad de los organismos aeróbicos.

La separación de las medias, en cada uno de estos días, indica que

existen diferencias significativas entre las proporciones ($p < 0,05$), con un aumento evidente en la 4 (Figura 2).

Pese a que las proporciones con mayor proporción de *T. diversifolia* (1 y 2) son las que en el proceso de fermentación tienen mayor dificultad de bajar el pH, presentando los valores más altos al momento de apertura, fueron las que presentaron una mayor estabilidad aeróbica. La menor diferencia de temperatura respecto al ambiente está relacionada con la menor actividad microbiana, dada la capacidad buffer de *T. diversifolia*, que inhibe el incremento de pH, una vez se abre el silo, manteniendo un ambiente ácido más estable y, por tanto, restringiendo la proliferación de microorganismos no deseables.

El efecto tampón de las materias primas está relacionado directamente con el contenido de proteína. En general, las fuentes de proteína tienen una alta capacidad tampón, dado que su reacción selectiva con otra sustancia puede aumentar la unión de protones (Otthuis *et al.* 1994). Esto se explica, porque las moléculas nitrogenadas (aminoácidos y proteínas) presentes en los tejidos son electrolitos anfóteros, por lo cual, pueden ceder o captar protones y, dependiendo del pH, se pueden desempeñar al mismo como ácido o como base. En un medio muy básico se cargan negativamente, mientras que, en el fuertemente ácido, lo hacen positivamente. En ese orden, los componentes intracelulares de origen proteico, con sus sustancias ionizables a diferentes valores de pH, aportan de manera el intercambio de H^+ con iones unidos a proteínas, manteniendo el pH; éstos, normalmente, se mueven desde el exterior de las células, contribuyendo a mantener la neutralidad en el medio.

En cuanto a la temperatura del ensilaje con respecto al ambiente, los datos muestran una estabilidad a la exposición aeróbica, evidenciado en que el mayor incremento térmico, entre 3 y 5 °C con respecto a la temperatura ambiente, se mantiene por un periodo menor a tres días consecutivos. Mendieta-Araica *et al.* (2009) sugieren que, cuando la temperatura del ensilaje sobrepasa estos umbrales por encima de la temperatura ambiente y se mantiene durante más del periodo indicado, el sustrato se considera como aeróbicamente inestable y el deterioro es esperado. Esto puede ser explicado con la proliferación de levaduras que actúan sobre el lactato y oxidan los ácidos láctico y acético y carbohidratos solubles en agua, produciendo CO_2 y agua, con el incremento de calor (Navas & Morales, 2016).

pH y materia seca en el periodo de exposición aeróbica. Los resultados de la MS y el pH determinado en la apertura y después

de la prueba de estabilidad aeróbica a los 7 días, se muestran en la tabla 3.

Respecto a los valores de MS, tanto en la apertura del ensilaje a los 90 días como después del PEA, se registraron diferencias significativas en la prueba de medias ($p < 0,05$), entre los niveles de sustitución,

con una tendencia a aumentar la MS en los tratamientos, con una mayor proporción de TD. A su vez, los cambios en la MS después del período de exposición aeróbica (PEA), en comparación con la apertura a los 90 días, no fue significativo. Estos resultados, se constituyen en atípicos; Honig & Woolford (1980) informan sobre pérdidas de MS y nutrientes que pueden oscilar entre 1,5 y 4,5 %

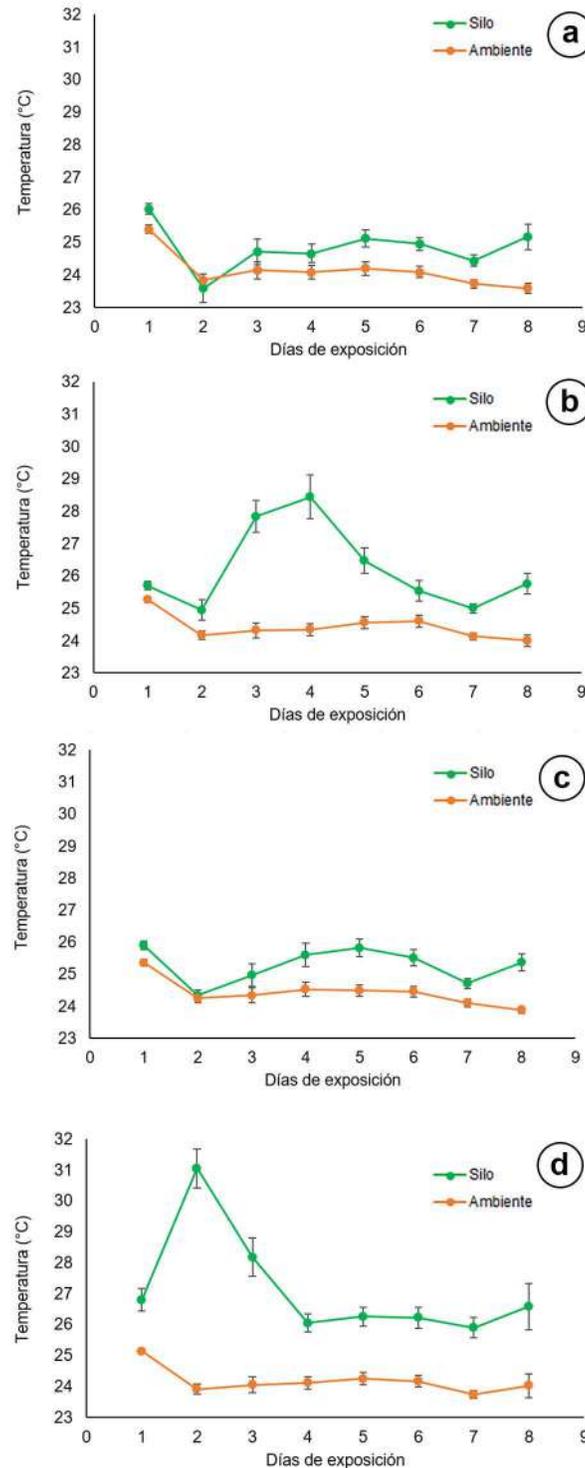


Figura 1. Temperatura ambiente y del ensilaje en el periodo de exposición aeróbica de la mezcla *Tiftonia diversifolia/Pennisetum purpureum*. a. 1: 100/0; b. 2: 67/33; c. 3: 33/67; d. 4: 0/100.

diariamente, después de la exposición a condiciones aeróbicas, incluso, Borreani *et al.* 2018 y Bernardes *et al.* (2012), mencionan que las pérdidas se pueden incrementar hasta el 20 % del total de MS almacenada de ensilajes agrícolas, tanto en clima templado como en climas cálidos.

Por el contrario, el estudio de Gerlacha *et al.* (2014) presenta resultados con una ligera concentración del material sólido después de la exposición a condiciones aeróbicas, cambiando del 29 al 29,8 %, en un PEA, de 7 días. Los valores de la MS medidos son más bajos que los reportados por otros autores en ensilajes de pastos

y otras especies, como asteráceas y fabáceas; por ejemplo, Ávila *et al.* (2009) y Jones *et al.* (2004) informaron un 41,8 y 28,8 % de MS, respectivamente, en ensilajes de sorgo; esto demuestra que las condiciones del ambiente de ensilaje, expresadas en temperatura y pH, pueden ser determinantes en la conservación de nutrientes en el proceso de ensilaje; así un medio ácido y bajas temperaturas, significa eficiente fermentación, limitará la proliferación de microorganismos indeseables y reducirá la proteólisis y consumo de materia seca, mientras que un ambiente inadecuado, se reflejará en pérdida de nutrientes y, por tanto, de materia seca (Borreani *et al.* 2018).

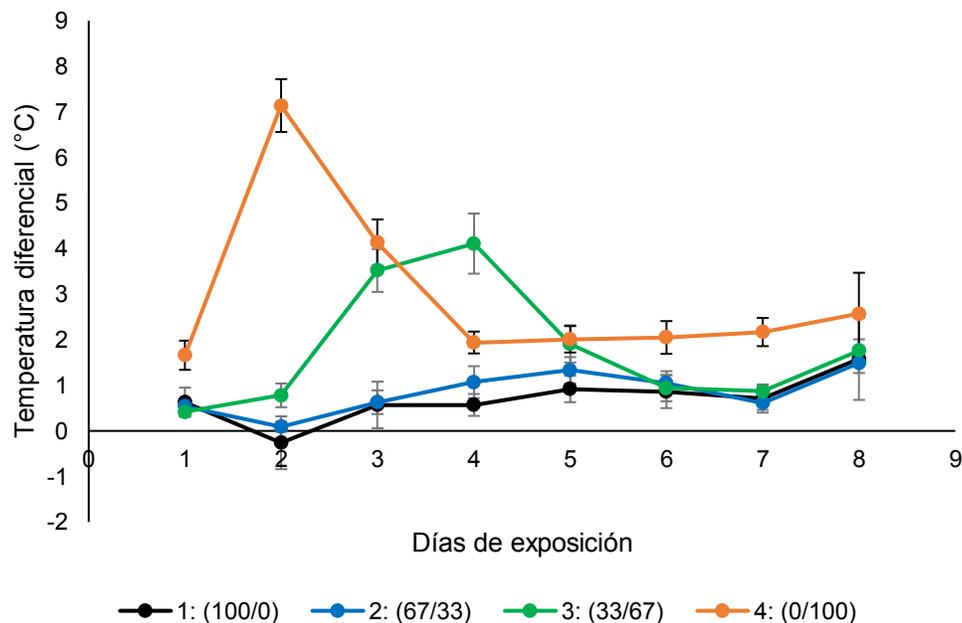


Figura 2. Variación térmica en el período de exposición aeróbica de los ensilajes de la mezcla *Tithonia diversifolia*/*Pennisetum purpureum*.

Ensilajes con bajo contenido de MS presenta fermentación indeseable, además, que los efluentes pueden causar focos de contaminación; así, cuando presenta valores menores a 30 %, se inducen fermentaciones prolongadas, debido a su mayor capacidad búfer; sin embargo, en el presente estudio, los tratamientos registraron porcentajes de MS menores a esta cifra sin pérdidas, ni deterioro de sus propiedades.

Cabe advertir que, cuando ocurren procesos respiratorios dentro de un silo, la humedad puede aumentar, produciéndose los lixiviados y disminuir la MS, a través del tiempo de fermentación, constituyendo en uno de los indicadores de deterioro aeróbico, ya que puede oxidar el lactato y el acetato produciendo CO₂ y agua (Oude *et al.* 1999).

Tabla 3. Variación de la MS en el período de exposición aeróbica de los ensilajes de *Pennisetum purpureum* en mezcla con *Tithonia diversifolia*.

Proporción TD/PP	Apertura	7 días MS	Diferencia
	(%)		
1: 100/0	28,39 ± 1,06d	30,3 ± 0,95c	1,91 ± 0,80a
2: 67/33	25,75 ± 1,43c	26,74 ± 1,05b	0,99 ± 1,65a
3: 33/67	23,45 ± 0,89b	24,59 ± 1,62b	1,14 ± 1,58a
4: 0/100	18,67 ± 0,90a	21,05 ± 5,49a	2,38 ± 4,90a

Letras iguales no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tabla 4. Variación del pH en el período de exposición aeróbica de los ensilajes de la mezcla *Tithonia diversifolia* / *Pennisetum purpureum* enriquecida con o sin inóculo de *Lactobacillus* (T-735 y Sil-all ©4x4).

Proporción TD/PP	Inóculo	pH		
		Apertura	7 días	Cambio
1: 100/0	T-735	4,17 ± 0,03ef	5,01 ± 1,59a	0,85 ± 1,60abc
	SilAll	4,26 ± 0,05f	4,58 ± 0,55a	0,32 ± 0,57ab
	Sin inóculo	4,43 ± 0,08g	4,49 ± 0,06a	0,06 ± 0,03a
2: 67/33	T-735	4,06 ± 0,06cde	5,12 ± 1,48a	1,06 ± 1,52abc
	SilAll	4,1 ± 0,05de	5,72 ± 1,83a	1,62 ± 0,86abc
	Sin inóculo	4,3 ± 0,11fg	4,34 ± 0,07a	0,04 ± 0,05a
3: 33/67	T-735	3,95 ± 0,02bcd	6,45 ± 0,55a	2,5 ± 0,54abc
	SilAll	4,01 ± 0,04cd	6,67 ± 0,60a	2,66 ± 0,56bc
	Sin inóculo	4,05 ± 0,09cde	6,25 ± 1,46a	2,21 ± 1,44abc
4: 0/100	T-735	3,76 ± 0,03a	6,86 ± 0,17a	3,11 ± 0,15c
	SilAll	3,82 ± 0,04ab	6,74 ± 0,35a	2,92 ± 0,37c
	Sin inóculo	3,92 ± 0,07bc	6,33 ± 1,11a	2,41 ± 1,06abc

Letras iguales no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Con relación al pH, al momento de la apertura de los microsilos (Tabla 4), se registran diferencias entre las cuatro proporciones ($p < 0,0001$) y entre los aditivos de BAL ($p < 0,0001$), pero no hubo diferencias en la interacción ($p = 0,0802$). En todas las proporciones, los ensilajes inoculados con la cepa T-735 fueron los que presentaron el pH más bajo, seguidos de los sustratos enriquecidos con SIL-ALL@4x4; el ensilaje sin inóculo registró el pH promedio más alto ($p < 0,05$). Martens *et al.* (2014) demostraron que el uso de carbohidratos en combinación con cepas de bacterias ácidas podría mejorar la fermentación de forrajes tropicales; así, la combinación de *Lactobacillus* y la sacarosa, generalmente, incrementan la tasa de reducción del pH, en la mayoría de las gramíneas (Hoedtker & Zeyner, 2011).

El análisis de diferencia de medias para la variable de pH indica significancia entre las proporciones al momento de la apertura del silo; igualmente, en los valores de cambio de pH en el PEA, al día siete. La prueba de Tukey ($p < 0,05$) indica diferencias estadísticas entre proporciones, pero no hubo efecto de inóculo ($p = 0,0986$) ni en la interacción ($p = 0,8602$).

En el PEA, los datos confirman que el pH aumenta a medida que se incrementa la proporción de PP en la mezcla. Ensilajes con alta proporción de PP, como en general sucede con altos contenidos de gramíneas en el sustrato ensilable, tienen una baja capacidad búfer, que resulta en rápido incremento de la acidez en el PEA.

En el momento de la apertura de los silos es evidente que la mayor proporción de la gramínea (PP) en la mezcla, probablemente, restringe la capacidad búfer de *T. diversifolia*, lo que explica los valores de pH más bajos en las mezclas, con un mayor porcentaje de inclusión de *P. purpureum* (Proporciones 3 y 4) y, por el contrario,

los ensilajes con mayor proporción de TD, presentaron los valores más altos de pH (1 y 2); sin embargo, después de la prueba de estabilidad aeróbica, a los siete días, el pH obtenido, mostró diferencias respecto a los valores al momento de la apertura, con una variación significativa ($p < 0,05$), especialmente, en la proporción 4. Solo para la proporción 1, no se presentó diferencia ($p = 0,1366$), lo cual, indica una mayor estabilidad en el sustrato de TD, al 100 %.

Así, el papel de la TD es evidente como amortiguadora del cambio de pH, ya que su alta capacidad búfer tiene un efecto estabilizador en el del medio ácido, una vez que se abre el silo. Autores, como Holguín *et al.* (2018) y Kung Jr. *et al.* (2018) han demostrado que la capacidad buffer es alta para alimentos ricos en proteínas, mientras que es baja para alimentos energéticos y las gramíneas.

Por otra parte, la relación carbohidratos solubles en agua/capacidad buffer (CSA/BC) de TD, indica su baja idoneidad para el ensilado en comparación con PP, o su alta proporción en la mezcla, que tiene una mejor relación CSA/BC; Heinritz *et al.* (2012) afirman que, entre mayor sea esta relación, mayor será la ensilabilidad y, por tanto, la estabilidad del ambiente ácido. Este hallazgo ayuda a explicar por qué los valores de pH son más bajos en mezclas con un mayor porcentaje de PP, pues la CB más baja de las gramíneas hace que el ambiente ácido se torne más bajo y en menos tiempo.

Se resalta, como puntos relevantes de este estudio, que la variación de la temperatura en el PEA no superó los 3 °C durante más de tres días, lo que confirma la estabilidad aeróbica del ensilaje.

El efecto de TD en la estabilidad aeróbica del ensilaje es positivo, dada su capacidad búfer al evitar un incremento de pH, una vez

que se abre el silo. Por lo tanto, la mayor estabilidad aeróbica se produce en los ensilajes, con una mayor proporción de TD (proporciones 1 y 2), que en aquellos con una mayor proporción de PP (3 y 4). De acuerdo con los resultados, la mejor proporción es 1:100/0; sin embargo, desde el punto de vista zootécnico, sería más recomendable usar un ensilaje de una mezcla de una fuente de proteína y una fuente energética fibrosa, para así mantener una relación proteína/energía adecuada y evitar problemas metabólicos.

Agradecimientos. Al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) por el espacio facilitado para el desarrollo del trabajo de campo, especialmente, a Johanna Mazabel y Steven Quintero, profesionales de laboratorio; a la Universidad del Tolima, por el financiamiento del tiempo de los investigadores en este experimento. Conflicto de intereses: El manuscrito es parte de la tesis doctoral titulada “Optimización de *Tithonia diversifolia* ensilada como alimento para ovinos de pelo”, realizada por la primera autora. Este 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.

REFERENCIAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Washington, D.C.
- ÁVILA, C.L.S.; PINTO, J.C.; FIGUEREIDO, H.C.P.; SCHWANT, R.F. 2009. Effects of an indigenous and a commercial *Lactobacillus buchneri* strain on quality of sugar cane silage. The Journal of the British Grassland Society. Grass and Forage Science. 64(4):384-399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00703.x>
- BERNARDES, T.F.; NUSSIO, L.G.; DO AMARAL, R.C. 2012. Top spoilage losses in maize silage sealed with plastic films with different permeabilities to oxygen. Grass Forage Sci. 67:34-42. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00823.x>
- BORREANI, G.; TABACCO, E.; SCHMIDT, R.J.; HOLMES, B.J.; MUCK, R.E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. Journal of Dairy Science. 101(5):3952-3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- DANNER, H.; HOLZER, M.; MAYRJUBER, E.; BRAUN, R. 2003. Acetic Acid increases stability of silage under aerobic conditions. Applied and Environmental Microbiology. 69:562-567. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.1.562-567.2003>
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ESPIÑOZA, I.; MONTENEGRO, B.; RIVAS, J.; ROMERO, M.; GARCIA, A.; MARTINEZ, A. 2017. Características microbianas, estabilidad aeróbica y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto saboya (*Megathyrsus maximus*) con niveles crecientes de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). Revista Científica. 27(4):241-248.
- GERLACHA, K.; ROß, F.; WEIß, K.; BÜSCHERB, W.; SÜDEKUM, K.H. 2014. Aerobic exposure of grass silages and its impact on dry matter intake and preference by goats. Small Ruminant Research. 117(2-3):131-141. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.12.033>
- HEINRITZ, S.; MARTENS, S.D.; AVILA, P.; HOEDTKE, S. 2012. The effect of inoculant and sucrose addition on the silage quality of tropical forage legumes with varying ensilability. Animal Feed Science and Technology. 174(3-4):201-210. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.03.017>
- HOEDTKE, S.; ZEYNER, A. 2011. Comparative evaluation of laboratory-scale silages using standard glass jar silages or vacuum-packed model silages. Journal of the Science of Food and Agriculture. 91(5):841-849. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4255>
- HOLDRIDGE, L.R. 2000. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (Costa Rica). p.215
- HOLGUÍN, V.A.; CUCHILLO-HILARIO, M.; MAZABEL-PARRA, J.; MARTENS, S. 2018. *In-vitro* assessment for ensilability of *Tithonia diversifolia* alone or with *Pennisetum purpureum* using epiphytic lactic acid bacteria strains as inocula. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 40:e37940 <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.37940>
- HONIG, H. 1990. Evaluation of aerobic stability. Proceedings of the EUROBAC Conference, 12-16 August 1986, Uppsala. GrovFoder Grass and Forage Reports. Spec. 3:76-82.
- HONIG, H.; WOOLFORD, M.K. 1980. Changes in silage on exposure to air. En: Thomas, C. (Ed.). Forage Conservation in the 80s. British Grassland Society (Hurley, Berkshire, UK).
- JONES, C.M.; HEINRICHS, A.J.; ROTH, G.W.; ISHER, V.A. 2004. From harvest to feed: Understanding silage management. Pennsylvania State University. College of Agricultural Sciences (Pennsylvania). 36p.
- KUNG JR., L.; SHAVER, R.D.; GRANT, R.J.; SCHMIDT, R.J. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. Journal of Dairy Science. 101(5):4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

17. MARTENS, S.D.; HOEDTKE, S.; AVILA, P.; HEINRITZ, S.N.; ZEYNER, A. 2014. Effect of ensiling treatment on secondary compounds and amino acid profile of tropical forage legumes, and implications for their pig feeding potential. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6):1107-1115.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.6375>
18. MENDIETA-ARAICA B.; SPÖRNDLY, E.; REYES-SÁNCHEZ, N.; NORELL, L.; SPÖRNDLY, R. 2009. Silage quality when *Moringa oleifera* is ensiled in mixtures with Elephant grass, sugar cane and molasses. *Grass and Forage Science*. 64(4):364-373.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00701.x>
19. NAVAS, J.A.; MORALES, D.A. 2016. Libro de texto de microbiología pecuaria. Universidad Nacional Agraria (Nicaragua). 128p.
20. NIELSEN, S. 1994. Introduction to the Chemical Analysis of foods. Ed. Jones and Bartlett Publishers. (U.S.A.). 530p.
21. OTTHUIS, W.; LUO, J.; BERGVELD, P. 1994. Characterization of proteins by means of their buffering capacity, measured with an ISFET- based colorimetric sensor-actuator system. *Biosensors and bioelectronics*. 9(9-10):743-751.
[https://doi.org/10.1016/0956-5663\(94\)80073-1](https://doi.org/10.1016/0956-5663(94)80073-1)
22. OUDE, S.J.W.H.; DRIEHUIS, F.; GOTTSCHAL, J.C.; SPOELSTRA, S.F. 1999. Estudio 2.0 - Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. In: Mannetje, L.T. (ed.). *Uso del Ensilaje en el Trópico Privilegiando Opciones para Pequeños Campesinos*. N°. 161 FAO, Roma. Disponible desde Internet en:
<http://www.fao.org/3/X8486S/x8486s04.htm#bm04> (con acceso el 15/01/2019)
23. PAHLOW, G.; MUCK, R.E.; DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, S.J.W.H.; SPOELSTRA, S.F. 2003. Microbiology of Ensiling. In: Buxton, D.R.; Muck, R.E.; Harrison, J.H. (eds). *Silage Science and Technology*. American Society of Agronomy. 63p.
<https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>
24. SANTOS DA SILVA, W.; CARVALHO DOS SANTOS, T.M.; CAVALCANTI NETO, C.C.; FILHO ESPINDOLA, A.M.; MESQUITA DA SILVA, S.G.; NEVES FIGUEIREDO, A.; ARAÚJO DE MELO, B. 2014. Características y estabilidad aeróbica de ensilajes de caña de azúcar, tratada con urea, NaOH y maíz. *Pastos y Forrajes*. 37(2):241-247.
25. VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. 1967. Use of detergents in the of fibrous feeds. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*. 50(1):50-55.



Mercurio total en bagre rayado y bocachico del río Meta, Colombia

Total mercury in striped catfish and bocachico from river Meta, Colombia

Santiago Valbuena-Rodríguez¹; Miguel Ángel Navarro-Ramírez²

¹Químico, M.Sc. Universidad de los Llanos, Grupo de investigación Quimera. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: svalbuena@unillanos.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-9034-6640>

²Químico, Ph.D. Universidad de los Llanos, Grupo de investigación Quimera. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: miguel.navarro@unillanos.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-5535-4784>

Cómo citar: Valbuena-Rodríguez, S.; Navarro-Ramírez, M.Á. 2021. Mercurio total en bagre rayado y bocachico del río Meta, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1880. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1880>

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

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

Recibido: febrero 27 de 2020

Aceptado: agosto 30 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

El consumo de pescado contaminado con mercurio representa un grave problema para la salud humana, en especial, en poblaciones, en las cuales, forma parte de su dieta diaria. Este problema requiere un seguimiento de la concentración de mercurio en peces depredadores y no depredadores de agua dulce, especialmente, en zonas poco estudiadas, como la región de la Orinoquia colombiana. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la concentración de mercurio total en muestras de bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum metaense*) y de bocachico (*Prochilodus mariae*), de la parte alta del río Meta, Colombia, peces muy consumidos por las poblaciones aledañas. Ocho muestras de cada especie de pez se analizaron por duplicado, por espectrofotometría de absorción atómica, con generador de hidruros. Se estableció, que el método aplicado es trazable al material de referencia certificado Dorm-4; también, se realizó la validación del método. El valor promedio de mercurio total en bagre rayado fue de $0,055 \pm 0,0107$ mg/kg y para el bocachico, $0,026 \pm 0,0054$ mg/kg de pescado fresco. Las muestras analizadas no sobrepasan el valor límite

establecido por la Organización Mundial de la Salud y Environmental Protection Agency; sin embargo, el índice de riesgo por efectos no cancerígenos, en algunas muestras de bagre rayado, presentan un valor superior a uno, por lo que su consumo representa un riesgo para la salud, especialmente, durante la gestación y la primera infancia, así como de pescadores y aquellas comunidades de la región, que dependen del consumo de este alimento.

Palabras clave: Contaminación ambiental; Mercurio; Pez; Salud pública.

ABSTRACT

The consumption of fish contaminated with mercury represents a serious problem for human health, especially in populations in which it is part of their daily diet. This problem requires the monitoring of mercury concentration in freshwater predatory and non-predatory fish, especially in poorly studied areas such as the Orinoquia region of Colombia. The aim of this study was to determine total mercury concentration in samples of catfish (*Pseudoplatystoma fasciatum metaense*) and bocachico (*Prochilodus mariae*)

from the river Meta, Meta-Colombia. Fishes very much consumed by the adjacent populations. Eight samples of each fish species were analyzed in duplicate by atomic absorption spectrophotometry with a hydride generator. It was established that the applied method is traceable to the Dorm-4 certified reference material; the method was also validated. The average value of total mercury in striped catfish was 0.055 ± 0.0107 mg / kg, and for bocachico 0.026 ± 0.0054 mg / kg of fresh fish. These data obtained do not exceed the limit value established by the World Health Organization and Environmental Protection Agency. However, the risk index for non-carcinogenic effects in some samples of striped catfish have a value greater than one, therefore their consumption represents a health risk, especially during pregnancy and early childhood, as well as for fishermen and those communities in the area that depend on the consumption of this food.

Keywords: Environmental pollution; Fish; Mercury; Public health.

INTRODUCCIÓN

El mercurio es un metal tóxico que genera graves problemas en la salud pública y ambiental (Guzzi *et al.* 2021; OMS, 2017). El efecto tóxico, se explica mediante su ciclo biogeoquímico, el cual, muestra que este metal no se elimina de la naturaleza, sino que se reconvierte de sus formas inorgánicas a las orgánicas.

El mercurio metálico Hg^0 , por sus propiedades físicas únicas, tiene una alta presión de vapor, por lo que es volatilizado a la atmósfera (González-Raymat *et al.* 2017) y es fácilmente transportado en forma de gas, a muchas partes del planeta. Se puede oxidar lentamente a Hg^{2+} , por efecto del ozono o precipitarse en la superficie de la tierra, como deposición húmeda, por las aguas lluvias; absorberse por las raíces de las plantas; depositarse en la nieve o en las fuentes de aguas naturales, en los sedimentos, en el suelo o por deposición en seco, en donde una parte se reconvierte en Hg^0 , que vuelve a la atmósfera (Morel *et al.* 1998; Branfireun *et al.* 2020).

Algunos microorganismos, a través de una reacción de metilación, convierten el mercurio en metilmercurio (MeHg) (Bravo & Cosio, 2020), siendo acumulado en el fitoplancton y zooplancton. Estos últimos representan el alimento de peces iliófagos o piscívoros, generando su bioacumulación y, posteriormente, a través de la cadena alimentaria, cuando se pasa de un nivel trófico inferior a otro superior, al aumentar su concentración en diferentes especies de peces depredadores, mediante el proceso de biomagnificación (Pecoraro *et al.* 2019; Zhang *et al.* 2020).

El metilmercurio es tóxico para la salud humana, presentando actividad neurotóxica, citotoxicidad, genotoxicidad, toxicidad cardiovascular, cambios hormonales y del metabolismo en mamíferos (Farina & Aschner, 2019; Yang *et al.* 2020), siendo de mayor relevancia su efecto, en los niños durante su gestación y su primera infancia (Ha *et al.* 2017; Santos-Lima *et al.* 2020).

El mercurio de origen antropogénico genera una problemática de contaminación ambiental grave, cuyas emisiones mundiales a la atmósfera, para el 2015, fueron calculadas en 2.200 t. El sector más influyente en el total de esta emisión fue la minería de oro artesanal a pequeña escala (Artisanal and Small Scale Gold Mining, ASGM), con 37,7 %, seguido de la quema de combustibles fósiles y biomasa, con 24 %; la producción de metal no ferroso, con 15 %; industria del cemento, 11 %; los residuos de productos con mercurio, el 7 %; la industria de metales ferrosos, 2 % y otras fuentes, el 2 % (UN-Environment, 2019).

Por su parte, Asia contribuye en esta emisión, con 49 %; América del Sur, 18 % y África Subsahariana, con el 16 %, estos últimos, principalmente, a través de la minería aurífera artesanal a pequeña escala (emisión de 1.220 t, para el 2015), por lo cual, ha generado el denominado legado de mercurio, la forma más influyente en el histórico de finales del siglo XIX, inclusive, con una emisión antropogénica mayor a todas las industrias del siglo XX (UN-Environment, 2019).

En América, las consecuencias de ASGM se han evidenciado, inicialmente, en peces, con concentraciones de mercurio mayores a la norma internacional 0,5 mgHg/kg, en pescado fresco (Silva *et al.* 2019; Silva *et al.* 2020). En Colombia, específicamente, en la cuenca del río Magdalena y sus afluentes (Mancera-Rodríguez & Álvarez-León, 2006), en la región de la Mojana (Marrugo-Negrete *et al.* 2020) y en el caso de la Orinoquía (Cala, 2001; Trujillo *et al.* 2010).

Otros estudios en Colombia han determinado la concentración de mercurio en habitantes de zonas cercanas a la explotación minera artesanal de oro (Salazar-Camacho *et al.* 2017; Gutiérrez-Mosquera *et al.* 2018; Valdelamar-Villegas & Olivero-Verbel, 2020), demostrando que esta población presenta contaminación por mercurio.

Debido a los pocos estudios respecto a contaminación por mercurio en peces de la región de la Orinoquía colombiana, el objetivo de este trabajo fue determinar las concentraciones de mercurio total en muestras de pescado fresco de bagre rayado y de bocachico, de la parte alta del río Meta, en el sector de Puerto López, dos especies importantes desde el punto de vista comercial y de consumo. Asimismo, evaluar los parámetros para determinar la validez del método y el riesgo que puede representar para la salud humana, el consumo de estas especies de peces.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y muestreo. Las muestras de pescado, se recolectaron en agosto del 2016, en época de lluvia, por pescadores en la zona, llamada “bocas del Guayuriba”, parte alta del río Meta, localizada en la confluencia de los ríos Metica y Guayuriba, de la Orinoquía colombiana, en las coordenadas $3^{\circ}56'22.27''N$ y $73^{\circ}5'55.41''O$ (Figura 1), a una altura de 197 m s.n.m., con una precipitación promedio de 2.700 mm, una temperatura media de 28 °C y con un 77 % de humedad relativa (Ajiaco *et al.* 2015).

El muestreo, se realizó de acuerdo con la guía para la evaluación de contaminantes químicos (Environmental Protection Agency, EPA, 2000); de esta forma, fueron capturados ocho especímenes de bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum-metaense*-Familia Pimelodidae) y ocho de bocachico (*Prochilodus mariae*-Familia Prochilodontidae), caracterizados por su sexo, tamaño en cm y peso en kg y luego eviscerados. Posteriormente, se extrajeron porciones de tejido muscular sin piel, que fueron guardadas en bolsas de plástico y conservadas a -20 °C.

Análisis de mercurio. La determinación de la concentración de mercurio total (HgT), se realizó mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros, siguiendo la metodología descrita por la Association of Official Agricultural Chemists, AOAC (método oficial 977.15 AOAC, 1978). El material de laboratorio para el análisis del mercurio, se lavó previamente, con ácido nítrico al 10 % (V/V). La digestión de las muestras, se realizó en presencia de V_2O_5 , con

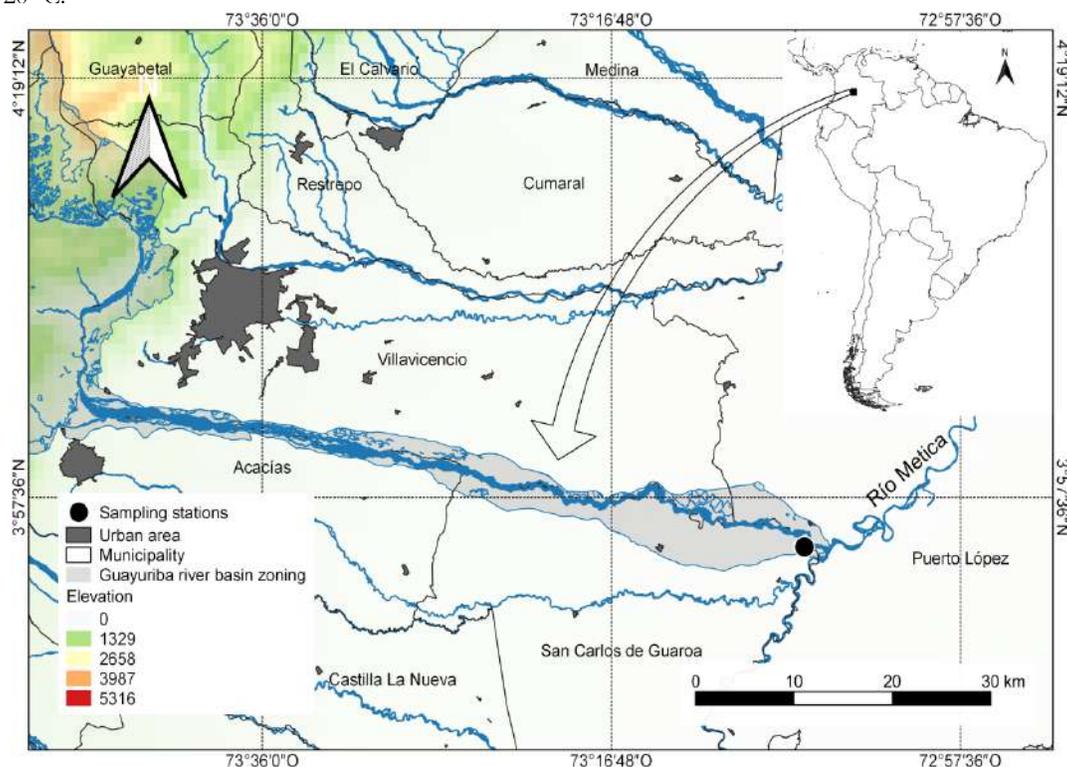


Figura 1. Ubicación de la zona de muestreo. Mapa creado con QGIS.

una mezcla de $H_2SO_4-HNO_3$ (1:1). Se usó agua tipo 1, con una conductividad de $0,05 \mu S/cm$. Todos los reactivos usados en el análisis y la extracción del mercurio en el tejido muscular de las muestras de pescado fueron grado analítico.

Evaluación de la calidad del método. La calidad de los resultados del análisis de mercurio total, se evaluó de acuerdo con las normas ISO/IEC-norma 17025 (ISO/IEC, 2005), AOAC y la red de organizaciones en Europa para mediciones químicas (Ellison & Williams, 2019), validación, incertidumbre y trazabilidad), a partir de la integración de tres elementos claves: la trazabilidad, la validación del método y la incertidumbre de las mediciones.

La trazabilidad del método, se realizó por comparación con el Material de Referencia Certificado (MRC), Dorm-4 del National Research Council Canada, aplicando la prueba t de Student, para conocer si hubo o no diferencia estadísticamente significativa entre la concentración de HgT del MRC y la concentración obtenida experimentalmente en un único laboratorio. La repetibilidad y la precisión intermedia, se determinó mediante el diseño anidado,

de acuerdo con Magnusson & Örnemark (2014), con la aplicación de análisis de varianza de un factor ANOVA. La validación del método (Tabla 1), se realizó mediante los criterios de Magnusson & Örnemark (2014).

La incertidumbre de la concentración de Hg-T en las muestras de pescado, se expresa como la media \pm la incertidumbre expandida (U), en mg de Hg/kg, mediante la ecuación 1, como lo reporta el consejo nacional de investigación de Canadá, para el MRC Dorm-4.

$$U = k \mu_c \quad \text{ecuación 1}$$

En la que k es el factor de cobertura, cuyo valor es 2 y μ_c , es la incertidumbre combinada.

La μ_c , se obtiene mediante la ecuación 2:

$$\mu_c = 2\sqrt{\mu_{proc}^2 + \mu_{traz}^2} \quad \text{ecuación 2}$$

Donde, μ_{proc} es la incertidumbre del procedimiento analítico obtenida de ANOVA derivada de la varianza de la serie y de la repetibilidad y μ_{traz} es la varianza asociada al MRC y a la varianza del método.

Análisis estadístico. Se aplicó ANOVA con estudio de diseño anidado, para conocer la precisión en la trazabilidad y la prueba de Mandel, para la linealidad y la precisión de la validación del método; se realizó la prueba t de Student en la verificación de la

Tabla 1. Parámetros de la validación del método de análisis de mercurio por AAS.

Parámetro		Determinación	Observaciones
Linealidad		Cinco curvas patrón de concentración de mercurio de 10, 20, 30, 40 y 50 $\mu\text{gHg/L}$	Evaluada, a través del coeficiente de regresión lineal y mediante la prueba de Mandel
Límite de detección		Diez blancos sin analito y diez muestras fortificadas con mercurio 3,00 $\mu\text{g/L}$	LD = $yB + 3 \times s0$ Donde, yB es media de respuesta instrumental del blanco y s0 es la desviación estándar de la respuesta instrumental del blanco
Exactitud		Porcentaje de recuperación en tres niveles de concentración	Porcentajes recomendados por la AOAC para concentraciones en trazas de analito
Precisión	Repetibilidad	Análisis de patrones de concentración de Hg en dos niveles de curva de calibración	Coefficiente de variación, según el criterio de AOAC para trazas analito
	Precisión intermedia	Mediciones de Hg a una concentración intermedia de 28 $\mu\text{g/L}$, por dos analistas diferentes en días diferentes	ANOVA, para evaluar si hubo diferencias significativas en mediciones realizadas entre los analistas, en los días diferentes

trazabilidad. Se aplicó la prueba de Mann-Whitney, para conocer si había diferencias en los niveles de Hg entre las especies y entre sexo; para el caso de la misma especie, se usó el software R.

Índice de riesgo (Hazard Index, HI). Se calculó de acuerdo con U.S.EPA (1989), mediante la ecuación 3:

$$HI = [\text{MeHg}] * I / \text{RfD} \cdot W$$

ecuación 3

Donde, [MeHg] es la concentración de metilmercurio en $\mu\text{g/g}$ obtenida, considerando que el 95 % del Hg-T encontrado en peces adultos es meHg (Bloom, 1992; Lescord *et al.* 2018); I, una ingesta diaria de 100 g (UNEP/WHO, 2008); W es el peso corporal en kg (en la mujer promedio de 60 kg y para el hombre de 70 kg) y RfD es la dosis de referencia para el MeHg, con un valor de 0,1 $\mu\text{g/kg/día}$ (U.S.EPA, 1989). Un valor de HI mayor a uno (1,0), sugiere un alto riesgo para la salud humana.

Tabla 2. Concentraciones de HgT (mg/Kg) y HI de las muestras de bagre rayado y bocachico.

Bocachico								
(n)	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso (kg)	0,98	1,05	0,96	1,10	0,99	1,00	0,97	0,99
Tamaño (cm)	37	39	36	41	37	38	36	37
Sexo	m	h	m	H	m	h	m	m
[HgT] $\bar{X} \pm \mu$	0,021± 0,004	0,034± 0,007	0,022± 0,005	0,033± 0,007	0,023± 0,005	0,030± 0,006	0,024± 0,005	0,020± 0,004
HI Mujer (60kg)	0,33	0,54	0,35	0,52	0,37	0,48	0,38	0,32
HI Hombre (70kg)	0,29	0,46	0,30	0,44	0,31	0,41	0,33	0,27
Promedio =0,026±0,005mg/kg					Rango 0,020-0,034mg/kg			
Bagre rayado								
(n)	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso (kg)	4,5	8,0	8,5	5,1	4,9	5,8	4,7	4,8
Tamaño (cm)	78	97	108	82	93	94	81	85
Sexo	m	h	h	m	m	h	m	m
[HgT] $\bar{X} \pm \mu$	0,021± 0,004	0,077± 0,014	0,176± 0,033	0,034± 0,007	0,032± 0,007	0,050± 0,009	0,022± 0,005	0,029± 0,006
HI Mujer (60kg)	0,33	1,22	2,79	0,53	0,50	0,80	0,35	0,47
HI Hombre (70kg)	0,29	1,04	2,39	0,46	0,43	0,69	0,30	0,40
Promedio =0,055±0,0107mg/kg					Rango 0,021-0,176mg/kg			

$\bar{X} \pm \mu$ = promedio de HgT(mg/kg) \pm incertidumbre expandida

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de pescado analizadas no sobrepasaron los valores establecidos por la norma nacional e internacional de 0,5 mgHg/kg pescado fresco (UNEP/WHO, 2008; Minsalud, 2012), pero todas presentaron contaminación con mercurio (Tabla 2).

Los estudios realizados en la misma zona del río Meta, por Cala (2001) y Trujillo *et al.* (2010), en bagre rayado, muestran también valores por debajo de la norma; en estos estudios, no se incluyó el análisis de HgT de peces, como el bocachico, el cual, es

importante, ya que es una especie detritívora, ubicada en el nivel más bajo de la cadena alimentaria que, al consumir fitoplancton y zooplancton del sedimento o materia orgánica en descomposición contaminada, bioacumula el mercurio en forma de metilmercurio (Pecoraro *et al.* 2019). Este mercurio es absorbido y acumulado en el tejido muscular y, luego, se concentra en los peces depredadores, pasando al hombre, a través del consumo de pescado contaminado, promoviendo la bioacumulación y biomagnificación.

Los valores de HI para las muestras de bocachico, tanto para la mujer en edad fértil como adultos, no representan ningún riesgo en la salud, para un consumo de pescado diario de 100 g, mientras que, en el caso de la especie de bagre rayado, en algunas muestras, se determinó un HI mayor a uno, lo cual, genera una voz de alerta respecto al riesgo para el cerebro en formación, cuyo efecto adverso principal del metilmercurio es la neurotoxicidad, que se presenta con síntomas, como parálisis cerebral, pérdida de visión y audición, trastornos en el desarrollo (Lee et al. 2020) y afecta críticamente las funciones neuropsicológicas (Clarkson, 2002; Santos-Lima *et al.* 2020).

Este riesgo es eminente, si se tiene en cuenta que los ribereños de la región dependen de este alimento para su subsistencia y es seguro que el consumo de pescado por estas personas es mayor a 100 g/día.

Un consumo mayor a 100 g de pescado diario o mayor a 700 g por semana, excedería la ingesta máxima provisional (ISTP, en adultos es de 3,2 µg/kg de peso corporal/semana), calculada por organismos internacionales, como la Food Agriculture Organization (FAO/OMS, 2017), por lo que se recomienda no exceder este consumo, especialmente, en mujeres embarazadas y niños (1,6 µg/kg de peso corporal/semana).

En esta región, la presencia de pescado contaminado con mercurio, se puede explicar, a través de la contaminación por ASGM, ubicada

en la cuenca del río Inírida, afluente del río Orinoco. En el proceso de extracción del oro, una parte del mercurio es vaporizado a la atmósfera y, otra parte, es transferida a las fuentes naturales de aguas. La contaminación directa ha sido evidenciada a partir de los niveles de mercurio en sangre y cabello de los pescadores del Guainía (Ldrovo *et al.* 2001).

Por su parte, el mercurio liberado al medio ambiente puede ser transportado y convertido según el ciclo del mercurio, de las formas inorgánicas a las orgánicas y luego transformado en metilmercurio, en los sedimentos. Estos sedimentos son la fuente de alimento de peces, como el bocachico que, a su vez, es consumido por el bagre. El bagre, especie de gran capacidad de migración transfronteriza, se puede desplazar desde el río Orinoco hacia la parte alta del río Meta (Zapata & Usma, 2013), explicando, de esta forma, la bioacumulación y biomagnificación del mercurio, en peces de la región.

La calidad de los resultados, se soportó en la trazabilidad, la validación (Tabla 3) y la incertidumbre del método. La trazabilidad, se determinó, a través de la prueba t de Student, con $t_{calc} < t_{tabla}$ para $gl=8$, $p < 0,05$ no se encontraron diferencias significativas entre la concentración de Hg-T certificada del MRC ($0,412 \pm 0,036$ mg/kg) y la concentración media obtenida experimentalmente en el laboratorio ($0,414 \pm 0,072$ mg/kg), mientras la recuperación analítica del MRC, se encontró en el rango esperado de 99,50 a 101,41 %, permitiendo concluir que, el método aplicado por el laboratorio, es trazable al material de referencia.

Tabla 3. Validación del método de análisis de mercurio por AAS.

Parámetro		Resultado
Linealidad		Ecuación de la curva $y= 0,015X - 0,0108$ Coeficiente de correlación lineal $R^2=0,999$ Test Mandel- ANOVA- $p 0,897 > 0,05$
Límite de detección		0,015mgHg/kg
Exactitud		Porcentaje de recuperación entre 98 y 107% Coeficiente variación CV menor a 5,18%
Precisión	Repetibilidad	Patrón de baja concentración con desviación estándar de 0,365µgHg/L y un CV de 2,42% Patrón de alta concentración con desviación estándar de 0,629 µgHg/L y un CV fue de 1,41%
	Precisión intermedia	Como $F_{calc} < F_{tabla}$, $gl=7$, $p < 0,05$, se concluye que no existen diferencias significativas en los ensayos realizados en el laboratorio

La concentración de HgT para las muestras de pescado, se calcularon por relación proporcional al valor de la trazabilidad del método obtenido en el MRC Dorm-4, expresada como el promedio de la muestra \pm incertidumbre expandida, $\bar{X} \pm \mu$.

La incertidumbre del procedimiento analítico, en el caso de las muestras de pescado, se corrigió por presentar una incertidumbre estándar relativa mayor en la precisión intermedia del método para una concentración baja (15 $\mu\text{gHg/L}$), con un valor de 0,0242 $\mu\text{gHg/L}$, mientras que la incertidumbre estándar relativa de la concentración alta (45 $\mu\text{gHg/L}$), presentó un valor de 0,0141 $\mu\text{gHg/L}$. Esto condujo a obtener dos valores diferentes de incertidumbre expandida, una incertidumbre para la concentración baja de analito, calculada en 0,087 mgHg/kg, mientras que la incertidumbre para la concentración alta de analito fue de 0,077 mgHg/kg.

Los resultados de la prueba de Mann-Whitney ($p > 0,05$) indicaron que no existen diferencias significativas en la concentración de Hg en las dos especies; sin embargo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el sexo, con una concentración de Hg mayor en las hembras de bagre rayado, las cuales, presentaron mayor tamaño (Tabla 2).

De acuerdo con los hallazgos de esta investigación, todas las muestras analizadas de bocachico y de bagre rayado, presentaron contaminación con mercurio, con un valor mínimo de 0,020 mg/kg y máximo de 0,176 mg/kg; destacando las hembras de mayor masa de la especie bagre, como las de mayor concentración, evidenciando una mayor concentración en peces de mayor nivel trófico; sin embargo, estos valores no sobrepasan el valor máximo aceptable (0,5 mgHg/kg). Es tan importante determinar el nivel de mercurio en peces como el índice de riesgo, ya que, en este caso, el cálculo del HI, determinó valores mayores a uno (1), indicando un riesgo para su consumo, por lo que se debe controlar y limitar el consumo de bagre rayado de los ribereños del río Meta, a una ingesta semanal inferior a 700 g, en busca de evitar problemas de salud, generados por efectos neurotóxicos del metilmercurio, especialmente, en la mujer embarazada, para proteger el feto en formación, sin afectar, en mayor medida, su estilo de vida.

Se recomienda realizar estudios de la concentración de mercurio en aguas, suelos y sedimentos en esta región, así como el análisis en el cabello y sangre de los habitantes de las riberas del río Meta. Estos estudios permitirán continuar con el monitoreo de la contaminación con este metal y evaluar su impacto en la salud, lo cual, facilitará, posteriormente, la formulación e implementación de planes de contingencia y de mejoramiento de las condiciones de vida de estas comunidades.

Agradecimientos. A la Universidad de los Llanos, por el apoyo económico en la ejecución del proyecto de investigación “Estudio preliminar de las concentraciones de mercurio total en

en tejido muscular de *Pseudoplatystoma fasciatum* y de *Prochilodus mariae* del río Meta, zona de Puerto López, departamento del Meta”, de código C03-F02-009-2015. Conflicto de intereses: El manuscrito fue elaborado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe ningún conflicto de intereses que pueda cuestionar la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. AJIACO, R.E.; RAMÍREZ, H.; BOLAÑOS, J.A. 2015. La pesquería en Bocas del Guayuriba, alto del río Meta, Orinoquia Colombiana. Editorial Universidad de los Llanos (Colombia). 89p.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS, AOAC. 1978. Official Method 977.15 Mercury in Fish. Alternative Flameless Atomic Absorption Spectrophotometric Method, First Action 1977, Final Action 1978. (United States).
3. BLOOM, N.S. 1992. On the chemical form of mercury in edible fish and marine invertebrate tissue. Canadian J. Fisheries and Aquatic Sciences. 49(5):1010-1017. <https://doi.org/10.1139/f92-113>
4. BRANFIREUN, B.A.; COSIO, C.; POULAIN, A.J.; RIISE, G.; BRAVO, A.G. 2020. Mercury cycling in freshwater systems - An updated conceptual model. Sci. Total Environ. (Netherlands). 745:140906. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140906>
5. BRAVO, A.G.; COSIO, C. 2020. Biotic formation of methylmercury: A bio-physico-chemical conundrum. Limnol. Oceanogr. (United States). 65(5):1010-1027. <https://doi.org/10.1002/lno.11366>
6. CALA, P. 2001. Occurrence of mercury in some commercial fish species from the Magdalena and Meta rivers in Colombia. Rev. Asociación Colombiana de Ictiología. 4:15-19.
7. CLARKSON, T.W. 2002. The three modern faces of mercury. Environ. Health Perspect. (United States). 110(Supp.1):11-23. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110s111>
8. ELLISON, S.L.R.; WILLIAMS, A. 2019. Eurachem/CITAC Guide: Metrological Traceability in Analytical measurement. Disponible desde Internet en: www.eurachem.org (con acceso el 06/04/2020).
9. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Volume 1. Fish Sampling and Analysis. Third Edition. (United States). Disponible desde Internet en:

- <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-11/documents/guidance-assess-chemical-contaminant-vol1-third-edition.pdf> (con acceso en 03/02/2020).
10. FARINA, M.; ASCHNER, M. 2019. Glutathione antioxidant system and methylmercury-induced neurotoxicity: An intriguing interplay. *Biochim. Biophys Acta Gen. Subj.* (Netherlands). 1863(12):129285.
<https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2019.01.007>
 11. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (FAO/OMS) 2017. Comisión del Codex Alimentarius. Programa Conjunto FAO/OMS Sobre Normas Alimentarias. Comité del Codex Sobre Contaminantes de los Alimentos. 11ª Reunión, Rio de Janeiro, Brasil 3-7 de abril de 2007.
 12. GONZÁLEZ-RAYMAT, H.; LIU, G.; LIRIANO, C.; LI, Y.; YIN, Y.; SHI, J.; JIANG, G.; CAI, Y. 2017. Elemental mercury: Its unique properties affect its behavior and fate in the environment. *Environmental Pollution (United Kingdom)*. 229:69-86.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.101>
 13. GUTIÉRREZ-MOSQUERA, H.; SUJITHA, S.B.; JONATHAN, M.P.; SARKAR, S.K.; MEDINA-MOSQUERA, F.; AYALA-MOSQUERA, H.; MORALES-MIRA, G.; ARRE-OLA-MENDOZA, L. 2018. Mercury levels in human population from a mining district in Western Colombia. *J. Envi-ron. Sci. (China)*. 68:83-90.
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.007>
 14. GUZZI, G.; RONCHI, A.; PIGATTO, P. 2021. Toxic effects of mercury in humans and mammals. *Chemosphere (United Kingdom)*. 263:127990.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127990>
 15. HA, E.; BASU, N.; BOSE-O'REILLY, S.; DÓREA, J.G.; MCSORLEY, E.; SAKAMOTO, M.; CHAN, H.M. 2017. Current progress on understanding the impact of mercury on human health. *Environ. Res (United States)*. 152:419-433.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.042>
 16. ISO/IEC. 2005. ISO/IEC-17025. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO/IEC. Geneva, Suiza.
 17. LDROVO, A.J.; MANOTAS, L.E.; VILLAMIL, G.; ORTIZ, J.; SILVA, E.; ROMERO, S.A.; AZCARATE, E. 2001. Niveles de mercurio y percepción de riesgo en una población aurífera del Guainía (Orinoquia colombiana). *Biomédica*. 21(2):134-41.
<https://doi.org/10.7705/biomedica.v21i2.1101>
 18. LEE, J.-Y.; HWANG, G.-W.; NAGANUMA, A.; SATOH, M. 2020. Methylmercury toxic mechanism related to protein degradation and chemokine transcription. *Environ. Health Prev. Med (Japan)*. 25(1):30.
<https://doi.org/10.1186/s12199-020-00868-3>
 19. LESCORD, G.; JOHNSTON, T.; BRANFIREUN, B.; GUNN, J. 2018. Percentage of methylmercury in the muscle tissue of freshwater fish varies with body size and age and among species. *Environ. Toxicol. Chem (United States)*. 37(10):2682-2691.
<https://doi.org/10.1002/etc.4233>
 20. MAGNUSSON, B.; ÖRNEMARK, U. 2014. Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. Disponible desde Internet en: www.eurachem.org (con acceso el 24/07/2020).
 21. MANCERA-RODRÍGUEZ, N.J.; ÁLVAREZ-LEÓN, R. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biol. Colomb.* 11(1):3-23.
 22. MARRUGO-NEGRETE, J.; VARGAS-LICONA, S.; RUIZ-GUZMÁN, J.A.; MARRUGO-MADRID, S.; BRAVO, A.; DÍEZ, S. 2020. Human health risk of methylmercury from fish consumption at the largest floodplain in Colombia. *Environ. Res. (United States)* 182:109050.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109050>
 23. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. 2012. Minsalud Resolución 122 de 2012. Ministerio de salud y protección social. Disponible desde Internet en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion-122-de-2012.pdf> (con acceso el 14/08/2021).
 24. MOREL, F.; KRAEPIEL, A.; AMYOT, M. 1998. The Chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. (United States)*. 29:543-566.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.543>
 25. OMS. 2017. El mercurio y la salud. Organización Mundial de la Salud Noticias. Disponible desde Internet en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health> (con acceso el 21/08/2021).
 26. PECORARO, G.D.; HORTELLANI, M.A.; HAGIWARA, Y. S.; BRAGA, E.S.; SARKIS, J.E.; AZEVEDO, J.S. 2019. Bioaccumulation of total mercury (THg) in catfish (*Siluriformes, Ariidae*) with different sexual maturity from Cananéia-Iguape Estuary, SP, Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol. (United States)*. 102(2):175-179.
<https://doi.org/10.1007/s00128-018-2485-3>
 27. SALAZAR-CAMACHO, C.; SALAS-MORENO, M.; MARRUGO-MADRID, S.; MARRUGO-NEGRETE, J.; DÍEZ, S. 2017. Dietary human exposure to mercury in two artisanal small-scale gold mining communities of

- northwestern Colombia. *Environ. Int.* (United Kingdom) 107:47-54.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.06.011>
28. SANTOS-LIMA, C.D.; MOURÃO, D.D.S.; CARVALHO, C.F.D.; SOUZA-MARQUES, B.; VEGA, C.M.; GONÇALVES, R.A.; ARGOLLO, N.; MENEZES-FILHO, J.A.; ABREU, N.; HACON, S.D.S. 2020. Neuropsychological effects of mercury exposure in children and adolescents of the Amazon Region, Brazil. *Neurotoxicology* (Netherlands). 79:48-57.
<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.04.004>
29. SILVA, L.; ABREU, I.; FERREIRA DA C.N., A.; RODRIGUES, B.W.; MAGALHÃES, M.C. 2020. Mercury concentration in six fish guilds from a floodplain lake in western Amazonia: Interaction between seasonality and feeding habits. *Ecol. Indic.* (Netherlands). 111:106056.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106056>
30. SILVA, S.F. DA.; OLIVEIRA, D.C.; PEREIRA, J.P.G.; CASTRO, S.P.; COSTA, B.N.S.; LIMA, M. DE O. 2019. Seasonal variation of mercury in commercial fishes of the Amazon Triple Frontier, Western Amazon Basin. *Ecol. Indic.* 106:105549.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105549>
31. TRUJILLO, G.F.; LASSO, C.A.; DIAZGRANADOS, M.C.; FARINA, O.; PÉREZ L.E.; BARBARINO, A.; GONZÁLEZ, M. 2010. Evaluación de las concentraciones de mercurio en peces de interés comercial en ecosistemas acuáticos de la Orinoquia. *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco*. Bogotá: Unión Gráfica. 355p.
32. UN-ENVIRONMENT. 2019. Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland. Disponible desde Internet en: <https://www.unep.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018> (con acceso el 13/10/2020).
33. UNEP/WHO. 2008. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. United Nations environment programme/world health organization.
34. U.S.EPA UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY USEPA. 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund, vol. 1, Human Health Evaluation Manual, EPA/540/1-89/002. U.S. Environmental Protection Agency. (United States). Disponible desde Internet en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf (con acceso el 14/05/2019).
35. VALDELAMAR-VILLEGAS, J.; OLIVERO-VERBEL, J. 2020. High Mercury levels in the indigenous population of the Yaigojé Apaporis National Natural Park, Colombian Amazon. *Biol. Trace Elem. Res.* (United States). 194(1):3-12.
<https://doi.org/10.1007/s12011-019-01760-0>
36. YANG, L.; ZHANG, Y.; WANG, F.; LUO, Z.; GUO, S.; STRAHLE, U. 2020. Toxicity of mercury: molecular evidence. *Chemosphere* (United Kingdom). 245:125586.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125586>
37. ZAPATA, L.A.; USMA, J.S. 2013. Guía de las especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia. Peces. Vol. 2. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / WWF-Colombia. Bogotá, D.C. Colombia. 486p. Disponible desde Internet en: https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/migratoriaspeces_42_web_final.pdf (con acceso 15/06/2019).
38. ZHANG, Y.; SOERENSEN, A.L.; SCHATUP, A.T.; SUNDERLAND, E.M. 2020. A global model for methylmercury formation and uptake at the base of marine food webs. *Global Biogeochemical Cycles* (United States). 34(2):e2019GB006348.
<https://doi.org/10.1029/2019GB006348>



Parámetros productivos del cultivo de cachama blanca *Piaractus orinoquensis*, en jaulas flotantes

Productive parameters of white cachama culture, *Piaractus orinoquensis*, in floating cages

Jorge Andrés Cuan-Barrera¹; Sandra Liliana Parada-Guevara²; Ricardo Murillo-Pacheco³; Juan Antonio Ramírez-Merlano^{4*}

¹Médico Veterinario y Zootecnista. Universidad de los Llanos, Grupo de Investigación sobre reproducción y toxicología de organismos acuáticos (GRITOX), Instituto de Acuicultura y Pesca de la Universidad de los Llanos (IALL). Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: jorge.cuan@unillanos.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-1896-8370>

²Bióloga; M.Sc. Corporación Kotsala, Grupo de Investigación en Educación, Biodiversidad y Sistemas Productivos. Universidad de los Llanos. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: salipa11@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5266-8112>

³Médico Veterinario y Zootecnista, M.Sc. Corporación Kotsala, Grupo de Investigación en Educación, Biodiversidad y Sistemas Productivos. Universidad de los Llanos. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: rimupa@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0002-9785-4699>

⁴Profesional en Acuicultura, M.Sc., Ph.D. Universidad de los Llanos, Grupo de Investigación sobre reproducción y toxicología de organismos acuáticos (GRITOX), Instituto de Acuicultura y Pesca de la Universidad de los Llanos (IALL). Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: jramrezmerlano@unillanos.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9712-6678>

*autor para correspondencia: jramrezmerlano@unillanos.edu.co

Cómo citar: Cuan-Barrera, J.A.; Parada-Guevara, S.L.; Murillo-Pacheco, R.; Ramírez-Merlano, J.A. 2021. Parámetros productivos del cultivo de cachama blanca *Piaractus orinoquensis*, en jaulas flotantes. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e2068. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2068>

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

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

Recibido: agosto 22 de 2021

Aceptado: noviembre 23 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La región de la Orinoquia, se caracteriza por poseer espejos de agua que se mantienen durante todo el año, aportando peces para consumo local. La pesca artesanal constituye la principal actividad económica de sustento de comunidades ribereñas, quienes están siendo amenazadas en su seguridad alimentaria, por la disminución del recurso íctico, debido a múltiples causas atribuidas a la actividad humana. Por lo anterior, sistemas de producción en jaulas flotantes, elaboradas con materiales de bajo costo y ubicadas en cursos de aguas naturales, constituyen una alternativa económica para estas comunidades. El objetivo fue evaluar el rendimiento productivo de la cachama blanca en jaulas flotantes, ubicadas en el río Manacacias, manejando tres densidades: 150, 200 y 250 peces/m³. Se sembraron

alevinos en jaulas, con dimensiones de 10,2 m³ (3 x 2 x 1,7 m). Los peces fueron alimentados con alimento balanceado, durante 126 días. Al final del experimento, los individuos fueron cosechados. Se produjo una biomasa promedio por densidad de 47,42 kg/m³, en la densidad 150; 45,11 kg/m³, en 200 peces/m³ y 79,65 kg/m³, en la densidad 250. Su conversión alimenticia fue 1,1; 1,32 y 0,8, la sobrevivencia de 83,51, 78,98 y 93,72 %, respectivamente. Se concluye, que la cachama blanca puede ser cultivada en jaulas flotantes a altas densidades, obteniendo parámetros productivos óptimos y, adicionalmente, puede ser una fuente de ingresos significativa para las comunidades.

Palabras clave: Densidad de siembra; Especie neotropical; Piscicultura; Río Manacacias; Serrasalmidae.

ABSTRACT

The Orinoquia region is characterized by having water bodies that are maintained throughout the year, providing fish for local consumption. Artisanal fishing constitutes the main economic activity for the livelihood of riverine communities, which are being threatened in their food security by the decrease in the fish resource due to multiple causes attributed to human activity. Therefore, production systems in floating cages, made with low-cost materials and located in natural water courses, constitute an economic alternative for these communities. The objective of this work was to evaluate the productive performance of white cachama in floating cages located in the Manacacias river, managing three densities 150, 200 and 250 fish/m³. Fingerlings were sown in cages with dimensions of 10.2 m³ (3 x 2 x 1.7 m). The fish were fed with balanced feed for 126 days. At the end of the experiment the individuals were harvested in three cages for the three densities. An average biomass by density of 47.22 kg/m³ was produced at density 45.11 kg/m³ in 200 fish/m³ and 79.65 kg/m³ at density 250. Its feed conversion was 1.1, 1.32 and 0.8, the survival of 83.51, 78.98 and 93.72 % respectively. It is concluded that cachama blanca can be cultivated in floating cages at high densities, obtaining optimal productive parameters and additionally, it can be a significant source of income for the communities.

Keywords: Stocking density; Neotropical fish; Fish farming; Manacacias river; Serrasalminidae.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, se espera aumentar producción para cumplir con las expectativas alimenticias de la creciente población, a través de la producción sostenible, con un mínimo de alteración ambiental (De Silva, 2000). Los sistemas de cultivo en jaulas empleados por los acuicultores son tan diversos como el número de especies que se usan actualmente, que van desde las operaciones familiares y tradicionales (muy común en los países asiáticos), a operaciones de cultivos industriales de salmón y de trucha a gran escala, en el norte de Europa y América (Halwart *et al.* 2007). En la última década, se observó un crecimiento en la utilización de jaulas en Colombia y de estudios sobre la cría en especies nativas del país.

El orden Characiformes, incluye la mayoría de los peces continentales, que se utilizan para desarrollar planes piscícolas, especialmente, los géneros *Colossoma* y *Piaractus* (Granado, 2000). El éxito potencial de una especie nativa, se basa en el análisis de mercado, el rendimiento del crecimiento y de la disponibilidad de los juveniles (Gonçalves De Oliveira *et al.* 2012). *Piaractus orinoquensis* (Escobar *et al.* 2019), conocida como cachama blanca, es la más importante especie nativa en cautiverio, para el desarrollo de pequeñas economías de sustento en Colombia (Pineda S. *et al.* 2006). Esta especie en sistemas intensivos de producción son altamente dependientes del alimento concentrado, habitualmente, dietas secas, que impactan al medio acuático donde esté ubicado (Molina Domínguez & Vergara Martín, 2005; Isla Molleda *et al.* 2019).

Los modelos productivos en jaulas pueden provocar desechos contaminantes por el alimento no consumido, que pasa a través de la jaula y se hunde al fondo del río (Da Silva Cacho *et al.* 2020). El río Manacacias cuenta con una gran riqueza ictiológica, entre ellas, la cachama, especie endémica de este río, con características digestivas, que permiten un menor impacto ambiental (De Oliveira *et al.* 2019), al ser trabajadas en jaulas, haciendo uso de las masas de agua existentes (Rowland *et al.* 2006). Los peces criados en densidades entre 20 y 30 peces/m³ presentan tasas de crecimiento y de sobrevivencia mayores al 90 %, pero un rendimiento que no es afectado por estas condiciones de densidad (Gomes *et al.* 2000; De Carvalho Gomes *et al.* 2006).

De esta manera, el objetivo del presente estudio fue evaluar el desempeño productivo de la cachama blanca *Piaractus orinoquensis*, cultivada en jaulas flotantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área del estudio. Las jaulas, se instalaron en el río Manacacias, Meta, en el punto conocido como ensenada Soplaviento (4°16'43" N y 72°02'47" W). Actualmente, existen comunidades que subsisten con la pesca artesanal en el río; en la época seca, la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) realiza vedas para respetar los ciclos reproductivos de los peces, haciendo deficiente la fuente de ingresos de estas poblaciones.

Material biológico. Se utilizaron juveniles de cachama blanca *P. orinoquensis*, con un peso promedio de 4,92 ± 1,53 g y una longitud total de 6,8 ± 0,55 cm, obtenidos por reproducción artificial y suministrados por piscícolas locales, de la región del departamento del Meta.

Descripción de las unidades de crecimiento (jaulas). El ensayo fue realizado en jaulas flotantes, con dimensiones de 3 m de largo, 2 m de ancho y 1,7 m de profundidad, con un borde libre de 20 cm, con un volumen efectivo de 10 m³. Las jaulas fueron construidas con tubo PVC (Policloruro de vinilo) de 6" pulgadas, malla eslabonada recubierta con PVC de 1" y una estructura metálica con las dimensiones de las jaulas, en forma de cubo, como soporte de la malla de protección a depredadores. Para la flotación de la jaula, se utilizaron envases plásticos cerrados herméticamente de 20 L de capacidad. Para evitar la salida del alimento suministrado, se incorporó una malla de PVC de 8 a 30 cm, de la base superior de la jaula. Todas las jaulas fueron ancladas a una base fija y separadas entre sí, a una distancia de 3 m.

Diseño experimental. Se utilizó un ensayo de tipo experimental, de efecto fijo y aleatorio, para evaluar diferentes densidades de siembra o tratamientos, sobre el crecimiento de cachama blanca. Para tal motivo, se utilizaron densidades de 150 (D1), 200 (D2) y 250 peces/m³ (D3), con un total de animales de 1.500, 2.000 y 2.500 alevinos por jaula. Cada tratamiento contó con tres repeticiones, constituyendo 9 jaulas o unidades experimentales de crecimiento. Fue suministrado alimento extrusado dos veces al día,

hasta aparente saciedad, con 34 % de Proteína Cruda (PC), con una duración del ensayo de 180 días (6 meses).

Parámetros de desempeño productivo. Cada 30 días, se realizaron muestreos del 10 % de la población total de la jaula. Para facilitar la manipulación y la disminución del estrés, los animales fueron anestesiados por medio de choque térmico en recipiente con agua y hielo, buscando un efecto de hipotermia. La longitud total (LT) y la longitud estándar (LS), se midieron con un ictiómetro (al milímetro más cercano) y, el peso vivo, con balanza digital (0,1 g Ohaus Scout Pro). Para evaluar el desempeño productivo, se midieron las siguientes variables:

Ganancia en peso GP(g) = peso final (g) - peso inicial (g).

Ganancia de peso diaria GPD(g/días = peso final - peso inicial/ días del ciclo de producción.

Conversión alimenticia (CA) = consumo de alimento (g) / ganancia de peso total (g).

Tasa de crecimiento específico en peso TCEP = $[(\ln \text{ peso final} / \ln \text{ peso inicial}) / \text{ tiempo de cultivo} \times 100]$.

Factor de crecimiento relativo FCR = peso final (g) / longitud total final (cm),

Biomasa final (kg/m³).

Al final del experimento, se determinó la sobrevivencia, utilizando la relación $\text{Sobrevivencia (\%)} = (\text{No. final de individuos} / \text{No. inicial de individuos}) \times 100$.

Adicionalmente, después del sacrificio fueron determinados los índices corporales: índice viscerosomático (IVS) = $100 \times (\text{peso de vísceras (g)} / \text{peso corporal (g)})$, índice hepatosomático (IHS) = $100 \times (\text{peso de hígado (g)} / \text{peso corporal (g)})$ e índice de grasa visceral (IGV) = $100 \times (\text{peso de grasa visceral (g)} / \text{peso corporal (g)})$.

Calidad de agua. La temperatura del agua y el oxígeno disuelto, se midieron con un sensor (Ecosense® DO200A, YSI, Yellow Springs, USA). El pH, los sólidos totales y la conductividad, se tomaron con el sensor EC500 - ExStik® II impermeable – Extech, Boston USA. El fósforo, alcalinidad, dureza y amonio, se monitorearon una vez al mes, llevando las muestras del laboratorio de calidad de agua, en la Universidad de los Llanos. Las muestras, se tomaron en tres puntos de referencia: 1= diez metros antes de la producción, 2= en las jaulas, 3= diez metros debajo de la producción, teniendo en cuenta la corriente de agua.

Análisis estadístico. Para todos los casos, los valores fueron expresados como media \pm desviación estándar de la media (SD). Se evaluaron los supuestos de homogeneidad y de normalidad de los datos, por medio de las pruebas de Bartlett y Shapiro Wilks. Para evaluar el efecto de cada densidad de siembra sobre los parámetros productivos, se empleó un análisis de varianza

(ANOVA), seguido de una comparación de medias de Tukey. En todos los casos, $p < 0,05$ fue utilizado como criterio estadístico, para revelar diferencias significativas. Los datos fueron analizados con el software Graphpad prism (Versión 8.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del agua. Las variables registradas en la investigación no presentaron diferencias significativas antes y después del ensayo. Por lo tanto, los datos se agruparon para dar un estándar de calidad de agua del río Manacacias, que posee características fisicoquímicas y limnológicas semejantes a los ríos de altillanura de la cuenca del Orinoco. El oxígeno disuelto durante el experimento en las tres zonas de muestreo osciló entre 4,53 y 4,74 mg/L y la temperatura entre 26,70 a 30,03 °C (Figura 1. Variables, como el pH, la alcalinidad, la conductividad, los nitratos y el amonio, se mantuvieron en rangos similares, sin presentar diferencias estadísticas significativas. Por su parte, los sólidos totales y fósforo mostraron una pequeña variación de valores en la zona tres, posiblemente, asociada a mayor presencia de materia orgánica en el río (Tabla 1).

El lugar escogido para este estudio fue en un meandro del río Manacacias, que mostró un pH ligeramente ácido, bajos valores de nutrientes y de conductividad y una alta transparencia (Yossa, 2018). El oxígeno disuelto mostró altas concentraciones en comparación con otras fuentes de agua del país (Carrera & Valbuena-Villareal, 2015), lo cual, brinda una ventaja para establecer altas densidades de peces en jaulas. Al cotejar el resultado de este estudio con uno realizado en Venezuela con la misma especie (Granado, 2000), se evidenció las bondades del oxígeno, con una sobrevivencia mayor al 92 % y un rendimiento de 17,7 Kg/m³.

Crecimiento y rendimiento. Los resultados mostraron que la densidad D3 para la GP fue mayor, con un valor promedio de $341,09 \pm 1,33$ g, con diferencias significativas respecto a las densidades D1 y D2. Igualmente, se observaron resultados positivos en los parámetros zootécnicos, a pesar de una diferencia marcada entre las densidades manejadas en D1, D2 y D3, posiblemente, relacionada con los lugares donde se ubicaron las tres jaulas. La D3 recibió las corrientes directas del río, con mayor cantidad de material “verde”, que ingresaba a la jaula, mejorando el ciclaje de nutrientes (Mulholland, 1996).

En todos los tratamientos, el peso promedio fue mayor a 250 g, valor inferior a lo descrito por Poleo *et al.* (2011), cultivando cachama blanca, a densidades de siembra de 31,25 peces/m³; sin embargo, estos resultados son mayores a lo observado en el crecimiento de otras especies, como yaque *Leiarius marmoratus*, a una densidad de 30 peces/m³ (Murillo-Pacheco *et al.* 2012) y de 60 peces/m³, en un bi-cultivo de cachama blanca y tilapia nilótica (Brú-Cordero *et al.* 2017).

El aumento en peso por unidad de tiempo o tasa específica de crecimiento fue similar para las diferentes densidades evaluadas (Tabla 2). Reátegui Acosta *et al.* (2017) reportan valores cercanos

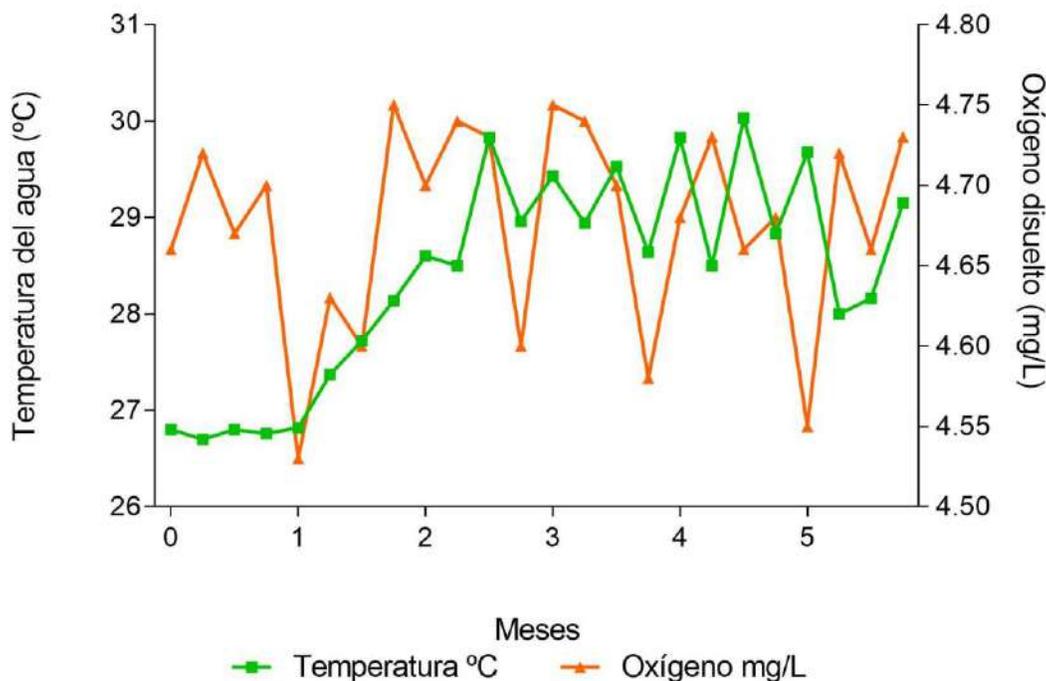


Figura 1. Comportamiento del oxígeno disuelto y la temperatura del agua, en el río Manacacias, en la zona de cultivo de *Piaractus orinoquensis*, cultivado durante 180 días, en un sistema de jaulas flotantes, a diferentes densidades. Valores mostrados como media.

Tabla 1. Variables ambientales del río Manacacias, en la zona de cultivo de *Piaractus orinoquensis*, cultivado durante 180 días, en un sistema de jaulas flotantes, a diferentes densidades de siembra. orinoquensis, cultivado durante 180 días, en un sistema de jaulas flotantes, a diferentes densidades. Valores mostrados como media.

Variable	Zona 1	Zona 2	Zona 3
pH	6,53 ± 0,26a	6,43 ± 0,31a	6,41 ± 0,25a
Sólidos totales (mg/L)	3,95 ± 0,99bc	5,61 ± 1,90a	4,80 ± 1,47ab
Amonio (mg/L)	0,17 ± 0,10a	0,16 ± 0,08a	0,16 ± 0,09a
Dureza (mg/L)	3,12 ± 0,32a	3,26 ± 0,37a	3,16 ± 0,28a
Conductividad (µs/cm)	7,94 ± 0,98a	7,56 ± 1,4a	8,35 ± 1,59a
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	4,43 ± 0,86a	4,56 ± 0,77a	4,45 ± 0,70a
Nitratos (mg/L N)	0,08 ± 0,05a	0,08 ± 0,06a	0,08 ± 0,05a
Fosfatos (mg/L)	0,33 ± 0,09b	0,25 ± 0,12b	0,40 ± 0,18a

Valores mostrados como: media ± desviación estándar.

Las diferentes letras en las variables entre columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

para la especie $1,622 \pm 0,292$ %, a una densidad de 60 peces/ m^3 , cultivada en jaulas flotantes de 1,5 m^3 ; sin embargo, estos valores estimados son menores que $0,52 \pm 0,001$ %, informado

por Mercado Burgos *et al.* (2006), para el cultivo en jaulas flotantes de *Brycon sinuensis*, a una densidad de 25 peces/ m^3 y $0,8 \pm 0,002$, reportado para *Pimelodus grosskopfii*, a una densidad de 25 peces/

m³ y alimentado con 25 % de PB (Carrera & Valbuena-Villareal, 2015). Lo anterior permite inferir que el crecimiento en peso está condicionado a diferentes variables, como la densidad de siembra, afectando, de forma irregular o positiva, el desempeño productivo de la especie.

Tabla 2. Índices de producción de *Piaractus orinoquensis*, cultivado durante 180 días, en un sistema de jaulas flotantes, a diferentes densidades de siembra. orinoquensis, cultivado durante 180 días, en un sistema de jaulas flotantes, a diferentes densidades. Valores mostrados como media.

Índices de producción	Densidad (peces/m ³)		
	D1-150	D2-200	D3- 250
Peso inicial (g)	4,92 ± 1,53		
Longitud total inicial (cm)	6,8 ± 0,55		
GP (g)	271,62 ± 2,43c	290,63 ± 1,06b	341,09 ± 1,33a
GPD (g)	1,51 ± 0,01a	1,61 ± 0,00a	1,87 ± 0,00a
CA	1,1 ± 0,0a	1,2 ± 0,0a	0,9 ± 0,0a
TECP (%)	0,157 ± 0,0a	0,155 ± 0,0a	0,151 ± 0,0a
FCR	40,55 ± 0,35b	43,33 ± 0,15ab	50,72 ± 0,19a
Biomasa final (kg/m³)	47,22 ± 8,73b	45,11 ± 3,33b	79,65 ± 0,98a
Sobrevivencia (%)	83,51 ± 0,19b	78,98 ± 3,34b	93,72 ± 1,63a

GP (Ganancia de peso), GPD (Ganancia Diaria de peso), CA (Conversión alimenticia), TECP (Tasa específica de crecimiento en peso), FCR (Factor de crecimiento relativo).

Valores mostrados como media ± desviación estándar.

Las diferentes letras en las variables entre columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

(Araujo-Lima & Goulding, 1997. La biomasa final en promedio fue de $572,3 \pm 196,39$ kg/jaula, resultado oportuno, que muestra la adaptación de la cachama al cultivo en jaula (Rodrigues Silva *et al.* 2007). Comparando este estudio con lo reportado para *Brycon* sp. (Ramos Tortolero *et al.* 2010), usando densidades de 100, 150, 200 y 250 peces/m³, los resultados en las biomásas finales fueron similares.

Como se observa en la tabla 2, la CA presentó valores cercanos entre sí para las diferentes densidades; por su parte, la sobrevivencia fue mayor en la densidad D3, mostrando diferencias significativas. La CA obtenida en este trabajo fue menor, en comparación con otros trabajos similares con tambaqui (*Colossoma macropomum*), donde obtuvieron un valor de 1,8 (Araujo-Lima & Goulding, 1997); cachama blanca, con 3,0 y 1,2, respectivamente (Brú-Cordero *et al.* 2017; Granado, 2000) y en pirarucu (*Arapaima gigas*), de 1,2 (Gonçalves De Oliveira *et al.* 2012). La CA tuvo una relación directa con la densidad, siendo D3 y D1 más eficientes, para el aprovechamiento del alimento suministrado. La justificación de este resultado, se puede deber a que los individuos de la D2 tuvieron mayor material externo dentro de la jaula, como hojas, semillas y peces de menor tamaño.

En cuanto a los índices corporales, se observaron diferencias significativas entre las densidades (Figura 2 a-c. La grasa visceral de mayor valor fue observada en la densidad D3, mostrando diferencias significativas con respecto a las otras densidades. Por su parte, el índice Hepatosomático muestra que la D2 fue mayor frente a los otros tratamientos y, estadísticamente, diferentes. El mayor porcentaje de índice viscerosomático fue observado para la

La densidad D3 produjo la mayor biomasa (Tabla 2). Respecto a los requerimientos de proteína en cachama blanca, se reportan hasta 31 % PC, con digestibilidades variables, según la fuente (Vásquez-Torres *et al.* 2012). La cachama tiene hábitos de alimentación omnívora, con tendencia al consumo de frutas, semillas y hojas

D1, presentando diferencias significativas respecto a las D2 y D3.

El factor de condición expresa el grado de bienestar de un organismo con relación al medio en que vive y está relacionado con la tasa de crecimiento y el nivel de confort de los animales (De Carvalho Gomes *et al.* 2006; Poleo *et al.* 2011; Carrera & Valbuena-Villareal, 2015). Los índices corporales, Viscerosomático (IVS), Hepatosomático (IHS) y de Grasa Visceral (IGV) están vinculados directamente con el factor de condición e inversamente con el grado de madurez del individuo (Ramirez-Merlano *et al.* 2011; Cardia & Lovatelli, 2015). Los bajos valores de los índices hepatosomático y viscerosomático están condicionados por las características anatómicas de la especie, mientras que en capaz (*Pimelodus grosskopfii*) (Carrera & Valbuena-Villareal, 2015) y en yaque (Poleo *et al.* 2011), dichos valores son mayores a lo reportado en este trabajo.

La estrategia de éxito en este tipo de producción es el manejo adecuado de la densidad de siembra (Cardia & Lovatelli, 2015), de acuerdo con las condiciones del entorno, para el mejoramiento de la conversión alimenticia.

En conclusión, los resultados de este estudio, indican el uso factible de altas densidades en el cultivo de cachama blanca, en sistemas de jaulas flotantes, usando una densidad de siembra de 250 peces/m³, siendo una alternativa prometedora en la producción de esta especie, en jaulas flotantes, instaladas en ríos del departamento del Meta (Colombia). Por otro lado, este sistema es un modelo productivo viable para las comunidades ribereñas, permitiendo su implementación, a bajos costos de inversión.

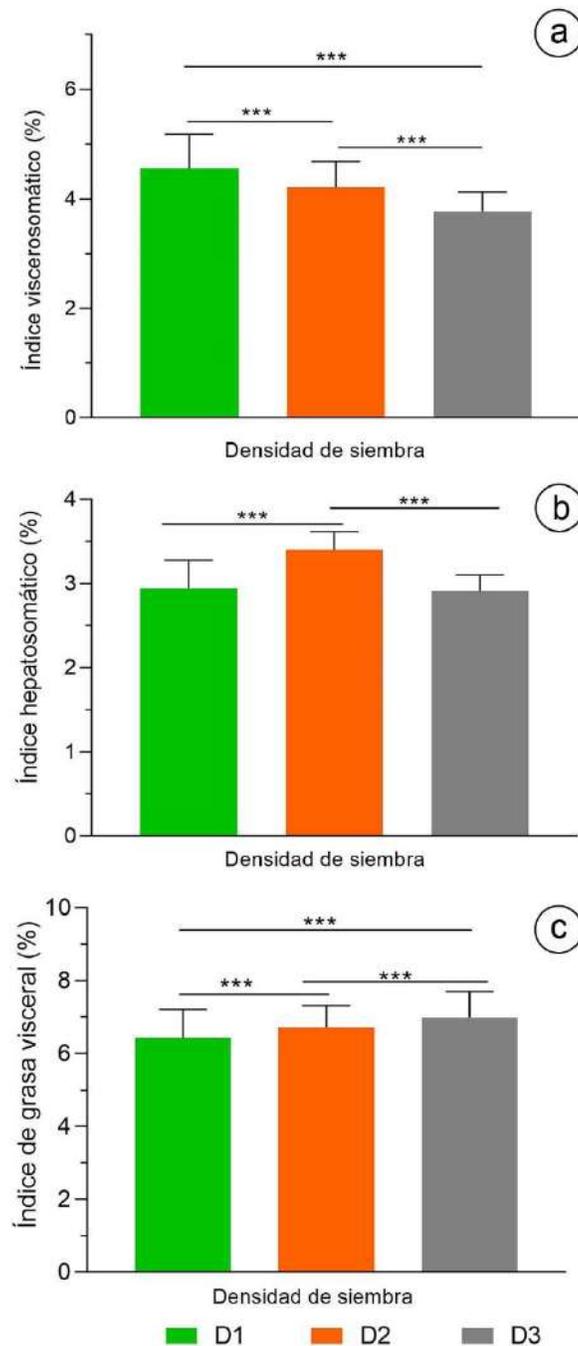


Figura 2. Índices corporales de *Piaractus orinoquensis*, cultivado durante 180 días, en un sistema de jaulas flotantes, a diferentes densidades de siembra. a. IVS=Índice viscerosomático; b. IHS=Índice hepatosomático; c. IGV= Índice de grasa visceral.

Valores mostrados como media \pm Desviación estándar.

***variables diferenciadas y compartidas en las columnas indican diferencias significativas estadísticamente ($p < 0.05$).

Agradecimientos. Este estudio fue apoyado por la asociación ASOPESGA del municipio de Puerto Gaitán y la Corporación KOTSALA. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ARAUJO-LIMA, C.; GOULDING, M. 1997. So fruitful a fish: Ecology, conservation, and aquaculture of the Amazon's tambaqui. Columbia University Press. 191p.

2. BRÚ-CORDERO, S.B.; PERTÚZ-BUELVAS, V.M.; AYAZO-GENES, J.E.; ATENCIO-GARCÍA, VJ.; PARDO-CARRASCO, S.C. 2017. Bicultivo en biofloc de cachama blanca *Piaractus brachypomus* y tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* alimentadas con dietas de origen vegetal. Rev. Med. Vet. Zoot. 64(1):44-60.
<https://doi.org/10.15446/rfmvz.v64n1.65824>
3. CARDIA, F.; LOVATELLI, A. 2015. Aquaculture operations in floating HDPE cages. A field handbook. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 593. Food and Agriculture Organization of the United Nations And Ministry of Agriculture of the Kingdom of Saudi Arabia, Rome. 149p.
4. CARRERA, S.; VALBUENA-VILLAREAL, R.D. 2015. Desempeño productivo del capaz (*Pimelodus grosskopfii*, Steindachner, 1879) bajo diferentes densidades de siembra y de contenido de proteína en la dieta. Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales (Colombia). 10:20-27.
5. DA SILVA CACHO, J.C.; TEIXEIRA DE MOURA, R.S.; HENRY-SILVA, G.G. 2020. Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish farming in net cages on the nutrient and particulate matter sedimentation rates in Umari reservoir, Brazilian semi-arid. Aquaculture Reports (Netherlands). 17:100358.
<http://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100358>
6. DE CARVALHO GOMES, L.; CAMPOS CHAGAS, E.; MARTINS-JUNIOR, H.; ROUBACH, R.; AKIFUMI ONO, E.; DE PAULA LOURENÇO, J.N. 2006. Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake. Aquaculture (Netherlands). 253(1-4):374-384.
<http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.020>
7. DE OLIVEIRA, M.L.B.; DE MATOS, L.V.; DA SILVA, L.A.; CHAGAS, E.C.; DA SILVA, G.S.; GOMES, A.L. 2019. The digestive tube of *Piaractus brachypomus*: gross morphology, histology/histochemistry of the mucosal layer and the effects of parasitism by *Neoechinorhynchus* sp. J. Fish. Biol. (Great Britain). 94(4):648-659.
<http://doi.org/10.1111/jfb.13934>
8. DE SILVA, S.S. 2000. A global perspective of aquaculture in the new millennium. In: Subasinghe, R.P.; Bueno, P.B.; Phillips, M.J.; Hough, C.; McGladdery, S.E.; Arthur, J.R. (eds.). Technical proceedings of the conference on aquaculture in the third millennium. Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific. Bangkok, Thailand. p.431-459.
9. ESCOBAR, M.D.; OTA, R.P.; MACHADO-ALLISON, A.; ANDRADE-LÓPEZ, J.; FARIAS I.P.; HRBEK, T. 2019. A new species of *Piaractus* (Characiformes: Serrasalminae) from the Orinoco Basin with a redescription of *Piaractus brachypomus*. J. Fish. Biol. 95(2):411-427.
<http://doi.org/10.1111/jfb.13990>
10. GOMES, L.; BALDISSEROTTO, B.; SENHORINI, J.A. 2000. Effect of stocking density on water quality, survival, and growth of larvae of the matrinxa, *Brycon cephalus* (Characidae), in ponds. Aquaculture (Netherlands). 183(1-2):73-81.
[http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00288-4](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00288-4)
11. GONÇALVES DE OLIVEIRA, E.; BANHOS PINHEIRO, A.; QUEIROZ DE OLIVEIRA, V.; MELO DA SILVA JÚNIOR, A.R.; GAZZINEO DE MORAES, M.G.; CASTELO BRANCO ROCHA, I.R.; ROCHA DE SOUSA, R.; FARIAS COSTA, F.H. 2012. Effects of stocking density on the performance of juvenile pirarucu (*Arapaima gigas*) in cages. Aquaculture (Netherlands). 370-371:96-101.
<http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.027>
12. GRANADO, A. 2000. Efecto de la densidad de cultivo sobre el crecimiento del morocoto, *Piaractus brachypomus*, Cuvier, 1818 (Pisces: Characiformes). Saber (Venezuela). 12(2):3-7.
13. HALWART, M.; SOTO, D.; ARTHUR, J.R. 2007. Cage aquaculture: regional reviews and global overview. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 498. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Ministry of Agriculture of the Kingdom of Saudi Arabia, Rome. 241p.
14. ISLA MOLLEDA, M.; FLORES GUTIÉRREZ, E.R.; TORE LUNESTAD, B.; KARLSEN, O.; RODRÍGUEZ CRUZATA, P.; VEGA, A.B.; COELLO, D.M. 2019. Estado ambiental de la zona donde se desarrolló el cultivo de cobia (*Rachycentron canadum*) en jaulas flotantes, bahía de cochinos, Cuba. Rev. cubana de Investigaciones Pesqueras (Cuba). 36(2):73-81.
15. MERCADO BURGOS, I.; GARCÍA, J.L.; ROSADO CÁRCAMO, R.; OLAYA-NIETO, C.W.; SEGURA GUEVARA, F.F.; BRÚ-CORDERO, S.; TORDECILLA-PETRO, G. 2006. Cultivo de dorada (*Brycon sinuensis* Dahl, 1955) en jaulas flotantes a diferentes niveles de proteína. Rev Colombiana de Ciencias Pecuarias (Colombia). 19(2):204-211.
16. MOLINA DOMÍNGUEZ, L.; VERGARA MARTÍN, J.M. 2005. Impacto ambiental de jaulas flotantes: estado actual de conocimientos y conclusiones prácticas. Boletín. Instituto Español de Oceanografía (España). 21(1-4):75-81.
17. MULHOLLAND, P.J. 1996. Role in Nutrient Cycling in Streams. In: Stevenson, R.J. (ed.). Algal ecology: freshwater benthic ecosystems. Elsevier Inc. p.609-639.
18. MURILLO-PACHECO, R.; CRUZ-CASALLAS, N.E.; RAMIREZ-MERLANO, J.; MARCIALES-CARO, L.; MEDINA-ROBLES, V.M.; CRUZ-CASALLAS, P. 2012.

- Efecto del nivel de proteína sobre el crecimiento del yaque *Leiarius marmoratus* (Gill, 1870) bajo condiciones de cultivo. *Rev. Orinoquia* (Colombia). 16:52-61.
<https://doi.org/10.22579/20112629.146>
19. PINEDA S., H.; OLIVERA A., M.; URCUQUI I., S.; TRUJILLO B., E.; BUILES G., J.J. 2006. Evaluación del polimorfismo por microsátélites en individuos de *Piaractus brachypomus* (Characidae, Serrasalminae) provenientes del río Meta, Colombia. *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* (Colombia). 19:66-69.
 20. POLEO, G.; ARANBARRIO, J.V.; MENDOZA, L.; ROMERO, O. 2011. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (Brasil). 46(4):429-437.
<http://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000400013>
 21. RAMIREZ-MERLANO, J.; MEDINA-ROBLES, V.; CRUZ-CASALLAS, P. 2011. Variación estacional de las características seminales del bagre rayado *Pseudoplatystoma metaense* (Telostei, pimelodidae). *Rev. MVZ Córdoba* (Colombia). 16(1):2336-2348.
<https://doi.org/10.21897/rmvz.292>
 22. RAMOS TORTOLERO, S.A.; FIGUEREDO SOARES, M.C.; SUAREZ MERA, P.A.; FARIA MONTEIRO, J.M. 2010. Efeito da densidade de estocagem no crescimento do matrinxã, *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829) em gaiolas de pequeno volume. *Rev. Brasileira de Engenharia de Pesca*. 5(1):81-92.
<https://doi.org/10.18817/repesca.v5i1.294>
 23. REÁTEGUI ACOSTA, C.R.; OLIVA PAREDES, R.; VILLEGAS PANDURO, P.P.; VARGAS FLORES, J.I. 2017. Efecto de la densidad de siembra en el desempeño productivo y parámetros hematológicos de juveniles de *Piaractus brachypomus* "paco" cultivados en jaulas flotantes en la laguna Yarinacocha. *Rev de Investigación Científica - Pucallpa* (Perú). 2(2)
<https://doi.org/10.37292/riccva.v2i02.58>
 24. RODRIGUES SILVA, C.; CARVALHO GOMES, L.; RODRIGUES BRANDÃO, F. 2007. Effect of feeding rate and frequency on tambaquí (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages. *Aquaculture* (Netherlands). 264(1-4):135-139.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.007>
 25. ROWLAND, S.J.; MIFSUD, C.; NIXON, M.; BOYD, P. 2006. Effects of stocking density on the performance of the Australian freshwater silver perch (*Bidyanus bidyanus*) in cages. *Aquaculture* (Netherlands). 253(1-4):301-308.
<http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.049>
 26. VÁSQUEZ-TORRES, W.; HERNÁNDEZ-ARÉVALO, G.; GUTIÉRREZ-ESPINOSA, M.C.; YOSSA, M.I. 2012. Effects of dietary protein level on growth and serum parameters in cachama (*Piaractus brachypomus*). *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* (Colombia). 25:450-461.
 27. YOSSA, M. 2018. Parámetros limnológicos del área de influencia del cultivo de cachama (*Piaractus brachypomus*) en jaulas. *Rev. Orinoquia* (Colombia). 22(1):41-47.
<http://doi.org/10.22579/20112629.47>



Aislamiento e identificación de microorganismos ambientales del museo Tumbas Reales de Sipán

Isolation and identification of the environmental microorganism of the Tumbas Reales de Sipán museum

Rocío Farro-Barbaran¹; Willy Mauricio Ramos-Iturregui²; Sebastián Iglesias-Osores^{3*}; Carmen Carreño-Farfán⁴

¹Bióloga. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú; e-mail: rociofarrob@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0767-0491>

²Biólogo. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú; e-mail: willy_rit@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7962-9028>

³Biólogo. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú; e-mail: sebasiglo@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4984-4656>

⁴Bióloga. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas. Lambayeque, Perú; e-mail: ccarreno@unprg.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0003-0238-2666>

*autor de correspondencia: siglesias@unprg.edu.pe

Cómo citar: Farro-Barbaran, R.; Ramos-Iturregui, W.M.; Iglesias-Osores, S.; Carreño-Farfán, C. 2021. Aislamiento e identificación de microorganismos ambientales del museo Tumbas Reales de Sipán. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1533 <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1533>

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

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

Recibido: abril 26 de 2020

Aceptado: julio 2 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

Las bacterias y los hongos son un riesgo potencial para el material arqueológico y trabajadores de los museos en Lambayeque, Perú. Con el objetivo de cuantificar la microbiología ambiental aislada del museo Tumbas Reales de Sipán, se muestrearon cuatro almacenes, con Agar Nutritivo y Agar Papa Dextrosa, incubándose a 30 °C, en aerobiosis, hasta por 7 días, para bacterias y, hasta por 10 días, para hongos. Se cuantificaron bacterias con un máximo de $2,7 \times 10^4$ UFC cm^{-2} , en las superficies de pisos y paredes; $1,4 \times 10^3$ UFC m^{-3} , en el aire y hongos filamentosos, con un máximo de $7,5 \times 10^4$ UFC cm^{-2} ,

en las superficies y $9,1 \times 10^4$ UFC m^{-3} , en el aire. Se aislaron e identificaron los géneros de bacterias: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Nocardia*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* y *Streptomyces* y los géneros de hongos filamentosos: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Circinella*, *Syncephalastrum*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Staphylotrichum*, *Cercospora*, *Rhizopus*, *Cunninghamella*, *Chrysosporium*, *Nigrospora*, *Stachybotrys*, *Glöcladium* y *Verticillium*.

Palabras claves: Museo arqueológico; Biodeterioro; Material arqueológico; Manejo de museos; Curaduría.

ABSTRACT

Bacteria and fungi are a potential risk to archaeological material and museum workers in Lambayeque, Peru. In order to quantify the isolated environmental microbiology of the Tumbas Reales de Sipán museum, four warehouses were sampled with Nutritive Agar and Papa Dextrose Agar, incubated at 30 °C in aerobiosis for up to 7 days for bacteria and up to 10 days for fungi. Bacteria were quantified with a maximum of 2.7×10^4 CFU cm⁻² on the floor and wall surfaces, 1.4×10^3 CFU m⁻³ in the air and filamentous fungi with a maximum of 7.5×10^4 CFU cm⁻² on the surfaces and 9.1×10^3 CFU m⁻³ in the air. Bacterial genera were isolated and identified: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Nocardia*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* and *Streptomyces* and the filamentous fungal genera: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Circinella*, *Syncephalastrum*, *Penicillium*, *Cyrryspunrichum*, *Cyrrysopositive*, *Cyrrysylopola*, *Rushingum*, *Cyrrysophyllizum*, *Nigrospora*, *Stachybotrys*, *Gliocladium* and *Verticillium*.

Keywords: Archeological Museum; Biodeterioration; Archeological Material; Museum management; Curatorship.

INTRODUCCIÓN

Las culturas prehispánicas han confeccionado complejos y edificios monumentales durante siglos, así como material cerámico y textil. La región de la costa norte de Perú, se ha caracterizado por sus impresionantes cerámicas y orfebrería (Shimada *et al.* 2003). En 1987-1990, se recuperó un espectacular tesoro de artefactos ornamentales y ceremoniales de oro y plata de las tumbas reales no saqueadas de Sipán, Perú (que data de 50-300 d.c.). Estos objetos dan evidencia de la artesanía sobresaliente de los orfebres Moche y reflejan las diversas técnicas elaboradas de metalurgia disponibles, en ese momento (Hörz & Kallfass, 2000). Hoy en día, estos artefactos están almacenados en condiciones ambientales no óptimas para climas tropicales, que muestran una colonización y deterioro visibles por comunidades microbianas. Las actividades de las comunidades microbianas en patrimonio cultural son causas importantes de daños, a través de procesos químicos o mecánicos (Ciferri, 2002; Warscheid & Braams, 2000). Este tipo de daño por microbiota, se conoce como biodeterioro, que se refiere a cualquier actividad biológica que afecta la apariencia e integridad de los materiales (Sterflinger & Piñar, 2013). El término “biodeterioro”, también se puede definir como la alteración no deseada de varios materiales, causada por pequeños organismos vivos, como insectos (Kakakhel *et al.* 2019).

La presencia y actividad de arqueas, bacterias, algas, líquenes, hongos, a veces animales y plantas superiores, a menudo, causan biodeterioro de reliquias de cerámica, resto óseos y metales, por lo tanto, son amenazas importantes para la preservación a largo plazo, de este valioso patrimonio cultural (Kakakhel *et al.* 2019). Los hongos juegan roles positivos y negativos en nuestra vida diaria. Son patógenos que sintetizan sustancias corrosivas y micotoxinas, que tienen el potencial de causar biodeterioro materiales, como piedra y hormigón (Meng *et al.* 2016; 2017) y también en materiales poliméricos (Gu *et al.* 1998, Gu, 2003). El daño de los objetos

del patrimonio cultural es un proceso causado por los procesos químicos y físicos, propios del metabolismo de los organismos involucrados (Kakakhel *et al.* 2019). El crecimiento microbiano en la superficie de los materiales puede causar el agrietamiento y el desplazamiento de los materiales de construcción, lo que resulta en el debilitamiento y la destrucción completa de los monumentos (Farooq *et al.* 2015; Liu *et al.* 2018). El biodeterioro, se ha discutido ampliamente, pero sus impactos negativos se han subestimado, debido a las pocas investigaciones sobre los mecanismos involucrados en el pasado (Kakakhel *et al.* 2019). Alguna vez, se creyó que los procesos químicos son los principales factores responsables de la descomposición, pero ahora las percepciones han cambiado y se ha aceptado, en general, que las bacterias, las arqueas y los hongos causan una seria destrucción al patrimonio cultural, como las momias, los libros y las pinturas, a través de su actividad enzimática, procesos metabólicos y corrosión/daño (Sterflinger & Piñar, 2013). El objetivo general fue identificar los microorganismos ambientales aislados de los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán, en Lambayeque, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación fue descriptivo de corte transversal, se analizaron 54 unidades de muestreo de los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, durante agosto-octubre de 2015. El muestreo, se realizó en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, en la provincia de Lambayeque, ubicada en la región Lambayeque, a 5°28'36" y 7°14'37" latitud Sur, 79°41'30" y 80°37'23" de longitud Oeste y 18 m s.n.m. Los almacenes donde se colectaron las muestras fueron Ventarrón, El Triunfo, Santa Rosa y Sipán. En los tres primeros, se guardaban restos orgánicos y cerámicas y, en el cuarto, se almacén cerámicas y objetos metálicos. En cada almacén, las muestras se obtuvieron en la superficie del piso, superficie de pared, aire del ambiente y aire de cajas conteniendo material arqueológico, tomando en cuenta una zona expuesta, cerca de la puerta o ventana y una zona protegida (Figura 1, 2 y 3).

En la superficie de pisos y de paredes, se delimitaron dos áreas de 1m², en las zonas expuesta y protegida, donde se colocaron seis “marcos” de cuadrados de cartulina, que delimitaron áreas de 5x5 cm y una superficie de 25 cm² (Figura 1a y 1b).

Estos marcos fueron esterilizados en horno (180 °C x 20'), se ubicaron en el área delimitada: cuatro en las esquinas y dos en el centro y en el interior, se tomaron las muestras con hisopos estériles (180 °C x 2 h) y humedecidos con una solución de cloruro de sodio (NaCl 0,85 % p/v), más Tween 80. La superficie muestreada, se frotó con el hisopo en sentido horizontal, vertical y diagonal; luego, los hisopos se depositaron en tubos con la misma solución, para el posterior aislamiento en Agar nutritivo, con antibiótico Cicloheximida y Agar Papa Dextrosa con Cloranfenicol.

El muestreo de aire en los almacenes, se realizó en seis áreas delimitadas por un tablero de 50x50 cm, sostenido por un soporte de cartón prensado, a una altura de 1,20 cm. Los lugares



Figura 1. Ubicación de marco de cuadrado para el muestreo. a. en la pared; b. en el suelo.

seleccionados correspondieron a tres zonas protegidas (no hubo corrientes de aire) y tres expuestas (cerca de ventanas y puertas con corrientes de aire), de los almacenes. Según la técnica de sedimentación por gravedad sobre el tablero, se colocaron en las esquinas (4) y en el centro (2) placas de Petri, con Agar Nutritivo-fluconazol (tres placas), Agar Sangre-antimicótico (dos placas) y Agar Papa dextrosa (tres placas) y se mantuvieron abiertas durante 15 minutos (López-Aranda *et al.* 2020) (Figura 2).

En los estantes de los ambientes muestreados, se seleccionaron dos cajas de almacenamiento: en las zonas “protegida” y “expuesta”, se

retiraron las tapas y, en su interior, se colocaron las placas de Petri abiertas, con Agar Nutritivo (tres placas) y Agar Papa Dextrosa (tres placas). Las cajas se taparon, cada 5 minutos, las paredes y la tapa de las cajas, se golpearon durante medio minutos y después de 15 minutos, se retiraron las placas de Petri. Los tubos con las muestras de superficie y las placas de Petri con las muestras de aire, se depositaron en la caja térmica (10 ± 1 °C) y se llevaron al laboratorio de Microbiología y Parasitología, para el aislamiento de bacterias y hongos (Figura 3).



Figura 2. Muestreo de aire en almacén.



Figura 3. Placas de Petri con medios de cultivo abiertas en caja de almacenamiento.

Las muestras de superficies de pisos y de paredes colectadas con hisopos fueron sembradas en placas de Petri con Agar Nutritivo-fluconazol, para cuantificar bacterias y Agar Papa Dextrosa-antibiótico, para cuantificar hongos. La incubación, se realizó a 30 °C, en aerobiosis, hasta por 7 días, para bacterias y 10 días, para

hongos. El número de unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFCm^{-3}) o metro cuadrado de superficie (UFCm^{-2}), se calculó según la ecuación 1.

$$N = 5a \times 10^4 \text{ (bt)}^{-1}$$

ecuación 1

Donde: $N = \text{UFCm}^{-3}$ o UFCm^{-2} ; a = número de colonias por placa de Petri; b (para m^2) = área (lado²) del muestreador (cm^2); b (para m^3) = área (πR^2) de la placa de Petri (cm^2); t = tiempo de exposición.

Las colonias de bacterias y los hongos fueron agrupados, según su morfología y cada morfotipo, se aisló por duplicado, en viales con Agar Nutritivo y Agar Papa Dextrosa.

En la identificación de las bacterias, se determinaron las características macroscópicas de las colonias desarrolladas en agar nutritivo a 37 °C, durante 3 días. Para la identificación, a nivel de género, se realizaron tinciones de Gram y de Ziehl-Neelsen y las pruebas de catalasa, motilidad, acidez a partir de carbohidratos, hidrólisis del almidón y gelatina, tolerancia a NaCl, hidrólisis de arginina, reducción de nitratos, prueba de Vogues Proskauer.

Para la identificación de hongos, se usaron las características macroscópicas de las colonias desarrolladas en agar papa dextrosa a 30 °C, hasta por 10 días, para llegar a género. A continuación, con la técnica de “impresión con cinta adhesiva transparente” (Labarca *et al.* 2006), sobre cada colonia de hongo, se depositó un fragmento de cinta adhesiva de 6 cm de longitud y luego se llevó a una lámina portaobjetos, conteniendo una gota de azul de lactofenol; se presionó de manera sucesiva y se observó con objetivo de 40x, identificándose las características microscópicas del micelio vegetativo y las estructuras reproductivas (Barnett & Hunter, 1998).

Los datos obtenidos fueron ordenados y expresados en tablas y figuras, que permitieron visualizar y analizar las bacterias y los hongos de riesgo potencial, para el material arqueológico y trabajadores del museo. Los datos fueron procesados utilizando los programas Microsoft Office Word 2013 y Microsoft Office Excel 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los hongos y las bacterias y el número de unidades formadoras de colonias de los microorganismos aislados en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, se muestran en las tablas 1 y 2.

En las superficies y ambiente de los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, en Lambayeque, se cuantificaron bacterias y hongos filamentosos; en otros estudios sobre biodeterioro, también se aislaron géneros de bacterias y hongos, que colonizaban material histórico, en almacenes de museos (Grbić *et al.* 2013; Konsa *et al.* 2014). En el aire de los almacenes, se cuantificaron hasta $1,3 \times 10^3$ UFCm^{-3} , superando $2,6 \times 10^2$ UFCm^{-3} , reportados por Guiamet *et al.* (2011). Esto quizás se deba a la manera de almacenamiento y a los materiales arqueológicos almacenados.

La variedad de partículas de diferente origen forma y tamaño suspendidas en el aire del interior y exterior de los ambientes constituye el aerosol atmosférico. Las instalaciones históricas,

como iglesias, criptas, bibliotecas y museos, son cruciales para preservar el patrimonio cultural, pero, al mismo tiempo, se visitan con frecuencia objetos turísticos y entornos de trabajo (Chmiel *et al.* 2019).

Se considera que la mayoría de las esporas de hongos se encuentran al aire libre, por lo que podrían ingresar a la mayoría de los locales examinados con el aire exterior o en la ropa de las personas. Por otro lado, los principales depósitos interiores de aerosoles bacterianos son la piel de humanos y animales, por lo tanto, los microorganismos predominantes en el aire atmosférico serían hongos, mientras que las bacterias prevalecerían en interiores (Cox & Wathes, 1995; Karbowska-Berent *et al.* 2011). Cuando se excluye la infiltración del aire exterior, el aumento del número de partículas fúngicas en el aire de bibliotecas, archivos y museos puede resultar de la dispersión de algunas fuentes internas, por ejemplo, colecciones contaminadas, papel tapiz o pintura (Karbowska-Berent *et al.* 2011).

En la superficie de pisos y paredes, se cuantificaron hasta $2,7 \times 10^4$ UFCcm^{-2} , de bacterias, valor inferior a $7,1 \times 10^5$ UFCcm^{-2} , reportado por Guiamet *et al.* (2011), en la superficie de mapas y fotografías de un museo. Al respecto, una diversidad de bacterias se ha cuantificado y aislado en diferentes materiales arqueológicos, en fibras textiles (Eyzaguirre, 2002), momias de sarcófagos (Cavka *et al.* 2010), cuerpos preservados en catacumbas (Piñar *et al.* 2013) muscle, hair, bone, stuffing materials, clothes, and surrounding walls as well as from the indoor air. In this study, we witnessed that the different degradation phenomena observed on the variety of materials located at the Capuchin Catacombs of Palermo are biological in origin. Molecular techniques showed the dominance of halophilic species of the domains Bacteria and Archaea on the walls and - as a result of salt emanating from the walls - on the mummies themselves. Nevertheless, specialized microorganisms belonging to taxa well-known for their cellulolytic and proteolytic activities were detected on clothes and stuffing material, and on skin, muscle, hair, and bone, respectively. This specialized microbiota is threatening the conservation of the mummies themselves. Additionally, sequences related to the human skin microbiome and to some pathogenic Bacteria (order Clostridiales, aire, libros y documentos de museos y archivos (Sequeira *et al.* 2012). *Fusarium* no se conoce típicamente como un género fúngico importante que degrada la madera, sino que es un hongo asociado con la basura y el suelo, que es importante para degradar los detritos de las plantas y como patógenos de plantas; sin embargo, el género, a menudo, se aísla de los materiales de madera y se sabe que posee una alta actividad lignocelulolítica (Daâssi *et al.* 2016; Obruca *et al.* 2012). El número de hongos filamentosos fue mayor en el aire que en las superficies y la superioridad numérica, se debe a la rápida dispersión de las esporas, por el movimiento de las corrientes de aire. De igual manera, Rojas *et al.* (2012) identificaron una mayor diversidad de géneros de hongos filamentosos en el aire, en comparación con otros objetos muestreados (18 géneros).

El número de bacterias superó al de hongos filamentosos, coincidiendo con Guiamet *et al.* (2011). En los almacenes investigados, se

Tabla 1. Nombre de almacén y procedencia de muestras colectadas en museo Tumbas Reales Señor de Sipán, Lambayeque, 2015.

Nombre de almacén	Procedencia	Condición	Muestras (N°)	UFC Bacterias				
				Procedencia de muestras		Protegida	Expuesta	
Ventarrón	Superficie de piso	Expuesta	1	Procedencia de muestras		Protegida	Expuesta	
		Protegida	1	Superficie de piso (UFCm ⁻²)	2,7 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁴		
	Superficie de pared	Expuesta	1	Superficie de pared (UFCm ⁻²)	3,4 x 10 ³	3,7 x 10 ³		
		Protegida	1	Aire de ambiente (UFCm ⁻³)	1,0 x 10 ³	1,3 x 10 ³		
	Aire de ambiente	Expuesta	3	Aire de caja (UFCm ⁻³)	1,4 x 10 ³	1,1 x 10 ³		
		Protegida	3	UFC Hongos filamentosos				
	Aire de caja	Expuesta	1	Procedencia de muestras		Protegida	Expuesta	
		Protegida	1	Superficie de piso (UFCm ⁻²)	4,9 x 10 ⁴	7,5 x 10 ⁴		
	El Triunfo	Superficie de piso	Expuesta	1	Superficie de pared (UFCm ⁻²)	1,1 x 10 ⁴	1,2 x 10 ⁴	
			Protegida	1	Aire de ambiente (UFCm ⁻³)	9,1 x 10 ⁴	5,5 x 10 ⁴	
Superficie de pared		Expuesta	1	Aire de caja (UFCm ⁻³)	3,5 x 10 ⁴	7,3 x 10 ⁴		
		Protegida	1					
Aire de ambiente		Expuesta	3					
		Protegida	3					
Aire de caja		Expuesta	1					
		Protegida	1					
Santa Rosa	Superficie de piso	Expuesta	1					
		Protegida	1					
	Superficie de pared	Expuesta	1					
		Protegida	1					
	Aire de ambiente	Expuesta	3					
		Protegida	3					
	Aire de caja	Expuesta	1					
		Protegida	1					
Sipán	Superficie de piso	Expuesta	2					
		Protegida	2					
	Superficie de pared	Expuesta	2					
		Protegida	2					
	Aire de ambiente	Expuesta	3					
		Protegida	3					
	Aire de caja	Expuesta	2					
		Protegida	2					
TOTAL			54					

Tabla 2. Frecuencia de géneros de bacterias identificadas en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, Lambayeque, 2015.

Género	Frecuencia (%) en almacenes		Género	Frecuencia (%) paredes de almacenes	
	Protegida	Expuesta		Protegida	Expuesta
<i>Bacillus</i>	92,5	96,2	<i>Bacillus</i>	100	100
<i>Micrococcus</i>	66,6	62,9	<i>Micrococcus</i>	75,0	75,0
<i>Acinetobacter</i>	37,0	29,6	<i>Acinetobacter</i>	33,0	25,0
<i>Nocardia</i>	33,3	29,6	<i>Nocardia</i>	25,0	25,0
<i>Streptococcus</i>	18,5	14,8	<i>Streptococcus</i>	8,3	8,3
<i>Staphylococcus</i>	14,8	7,4	<i>Streptomyces</i>	16,6	8,3
<i>Streptomyces</i>	11,1	11,1	<i>Staphylococcus</i>	8,3	8,3
Género	Frecuencia (%) en piso de almacenes		Género	Frecuencia (%) en piso de almacenes	
	Protegida	Expuesta		Protegida	Expuesta
<i>Bacillus</i>	100	100	<i>Bacillus</i>	60	80
<i>Micrococcus</i>	80	80	<i>Micrococcus</i>	60	60
<i>Acinetobacter</i>	60	60	<i>Acinetobacter</i>	20	20
<i>Nocardia</i>	60	40	<i>Nocardia</i>	20	20
<i>Streptomyces</i>	40	40	<i>Streptococcus</i>	20	20
<i>Streptococcus</i>	40	20			
<i>Staphylococcus</i>	20	20			
Género	Frecuencia (%) paredes de almacenes				
	Protegida	Expuesta			
<i>Bacillus</i>	100	100			
<i>Nocardia</i>	40	40			
<i>Acinetobacter</i>	40	20			
<i>Micrococcus</i>	40	20			
<i>Staphylococcus</i>	40	0			
<i>Streptococcus</i>	0	20			

identificaron siete géneros de bacterias, entre los que *Bacillus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus* y *Streptomyces* fueron reportados por Guimet *et al.* (2011), así como *Acinetobacter* y *Nocardia*. Las bacterias Gram positivas predominaron frente a las Gram negativas, similar con Guimet *et al.* (2011). Los cocos Gram positivos están asociados a la actividad humana; son acarreados en la piel y membranas mucosas (Zhu *et al.* 2003). El género *Bacillus*, se identificó en todas las muestras investigadas, evidenciándose un requerimiento de mantenimiento adecuado en los ambientes de procedencia (Guimet *et al.* 2011).

En cuanto a las zonas investigadas, el número promedio de hongos filamentosos fue superior en las muestras de superficie de pisos,

paredes y aire de las cajas de zonas expuestas, así como también en el aire del ambiente de zonas protegidas (Tabla 1). El número promedio de bacterias fue menor que el de hongos filamentosos en las superficies de pisos y paredes y en el aire de ambientes y cajas de los almacenes, en el museo Tumbas Reales Señor de Sipán (Tabla 1).

En los almacenes investigados, se identificaron 15 géneros de hongos filamentosos, entre los que *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium* fueron reportados en ambientes y material arqueológico, por Guimet *et al.* (2011) y Rojas *et al.* (2012).

El género *Syncephalastrum* fue reportado por Guimet *et al.* (2011) y Rojas *et al.* (2012); los géneros *Rhizopus* y *Stachybotrys*, por Rojas *et al.* (2012); *Alternaria* y *Nigrospora*, por Rojas *et al.* (2012); *Chrysosporium*, por Cavka *et al.* (2010).

Los géneros *Verticillium*, por Piñar *et al.* (2013); *Gliocladium* también, se identificaron *Cunninghamella*, *Circinella*, *Staphylotrichum* y *Cercospora*, hongos encontrados sobre materia orgánica vegetal.

El género *Aspergillus* fue el más frecuente, similar con Guimet *et al.* (2011) y Rojas *et al.* (2012). Este género de hongo filamentoso ha sido reportado en el aire en superficies de mapas y fotografías (Guimet *et al.* 2011), en momias (López-Aranda *et al.* 2020; Cavka *et al.* 2010) y en ambientes interiores y exteriores de bibliotecas (Montanari *et al.* 2012). Asimismo, Rojas *et al.* (2012), en el aire y soportes de siete edificios históricos, identificaron *Aspergillus*, como uno de los géneros de hongos filamentosos más comunes, correspondiéndole el 34,2 %, de 38 especies identificadas.

Tabla 3. Frecuencia de géneros de hongos filamentosos identificados en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, Lambayeque, 2015.

Género	Frecuencia (%) en almacenes		Género	Frecuencia (%) superficies de paredes	
	Protegida	Expuesta		Protegida	Expuesta
<i>Aspergillus</i>	88,8	75,9	<i>Aspergillus</i>	100	40
<i>Cladosporium</i>	62,9	59,2	<i>Circinella</i>	0	80
<i>Circinella</i>	25,9	40,7	<i>Cladosporium</i>	40	20
<i>Syncephalastrum</i>	37,0	18,5	<i>Syncephalastrum</i>	40	0
<i>Penicillium</i>	29,6	14,8	<i>Rhizopus</i>	40	0
<i>Alternaria</i>	14,8	14,8	<i>Staphylotrichum</i>	0	20
<i>Staphylotrichum</i>	7,4	14,8	Género	Frecuencia (%) en el ambiente	
<i>Cercospora</i>	7,4	7,4		Protegida	Expuesta
<i>Rhizopus</i>	14,8	0	<i>Cladosporium</i>	100,0	75,0
<i>Cunninghamella</i>	0	11,1	<i>Aspergillus</i>	100,0	66,6
<i>Chrysosporium</i>	0	7,4	<i>Syncephalastrum</i>	50,0	25,0
<i>Nigrospora</i>	7,4	0	<i>Alternaria</i>	33,3	33,3
<i>Stachybotrys</i>	0	7,4	<i>Penicillium</i>	33,3	33,3
<i>Gliocladium</i>	3,7	0	<i>Circinella</i>	16,6	25,0
<i>Verticillium</i>	3,7	0	<i>Cercospora</i>	16,6	16,6
Género	Frecuencia (%) en pisos de almacenes		<i>Cunninghamella</i>	0	16,6
	Protegida	Expuesta	<i>Nigrospora</i>	16,6	0
<i>Aspergillus</i>	100	100	Género	Frecuencia (%) cajas de almacenamiento	
<i>Circinella</i>	100	80		Protegida	Expuesta
<i>Cladosporium</i>	20	60	<i>Aspergillus</i>	40	40
<i>Syncephalastrum</i>	40	40	<i>Cladosporium</i>	40	40
<i>Staphylotrichum</i>	40	20	<i>Chrysosporium</i>	0	40
<i>Penicillium</i>	40	0	<i>Penicillium</i>	40	0
<i>Gliocladium</i>	20	0	<i>Stachybotrys</i>	0	40
<i>Verticillium</i>	20	0	<i>Cunninghamella</i>	0	20

En los almacenes, se aislaron e identificaron siete géneros de bacterias (Tabla 2), predominando *Bacillus* (94,4 %) y *Micrococcus* (64,8 %), seguido de *Acinetobacter* (63,3 %), *Nocardia* (31,4 %), *Streptococcus* (16,6 %), *Staphylococcus* (11,1 %) y *Streptomyces* (11,1 %). Los géneros *Bacillus*, *Micrococcus*, *Nocardia* y *Streptococcus*, se identificaron en las superficies de pisos, paredes y aire de ambientes y cajas, destacando *Bacillus*, que se registró en todas las muestras. A su vez, *Staphylococcus*, se identificó en las superficies de pisos, paredes y aire de los ambientes, así como *Streptomyces*, en las superficies de pisos y aire de los ambientes (Tabla 2).

En la presente investigación no se identificaron levaduras; sin embargo, López-Aranda *et al.* (2020) reportaron los géneros *Candida* y *Rhodotorula*, junto a hongos filamentosos, en momias, con visible deterioro. En su mayoría, los microorganismos identificados en la presente investigación han sido reportados como agentes de biodeterioro, por su actividad enzimática, con hidrólisis de la celulosa, lignina y proteína, producción de ácidos orgánicos y pigmentos (López-Aranda *et al.* 2020), destacando *Bacillus*, *Streptomyces* (Guíamet *et al.* 2011), *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Nigrospora*, *Rhizopus*, *Syncephalastrum* (Rojas *et al.* 2012) y *Penicillium*. El biodeterioro implica alteraciones de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del material o soporte histórico, por acción de los organismos vivos. En este aspecto, bacterias y hongos causan un daño significativo en el material histórico, como resultado de su actividad metabólica (Farooq *et al.* 2015).

El género *Aspergillus*, seguido de *Cladosporium*, fueron los más frecuentes y se identificaron en las superficies de pisos, paredes y aire de ambientes y cajas de todos los almacenes. Los géneros *Circinella*, *Syncephalastrum* y *Penicillium*, se identificaron en las superficies y aire de algunos ambientes; *Staphylotrichum*, *Gliocladium*, *Verticillium* y *Rhizopus*, en las superficies, así como *Chrysosporium*, *Stachybotrys*, *Cunninghamella*, *Alternaria*, *Cercospora* y *Nigrospora*, en el aire (Tabla 3).

Las bacterias y los hongos identificados en los almacenes del museo Tumbas Reales Señor de Sipán, también han sido reportados como patógenos para el hombre, mencionándose *Nocardia*, como causante de endocarditis infecciosa y micetoma; *Acinetobacter*, responsable de infecciones nosocomiales multiresistentes; *Bacillus* y *Streptococcus*, causantes de trastornos diversos en niños; *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* y los mucorales, como causantes de procesos alérgicos y *Rhizopus*, *Aspergillus* y *Penicillium*, asociados a infecciones oportunistas en personas inmunodeprimidas. La presencia de bacterias y de hongos filamentosos en los ambientes de almacenamiento del material histórico representa un riesgo potencial de biodeterioro y enfermedades para los curadores, requiriéndose implementar adecuadas medidas de control y de mantenimiento. Se aislaron *Bacillus*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Nocardia*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* y *Streptomyces* y los géneros de hongos filamentosos: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Circinella*, *Syncephalastrum*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Staphylotrichum*, *Cercospora*, *Rhizopus*, *Cunninghamella*, *Chrysosporium*, *Nigrospora*, *Stachybotrys*, *Gliocladium* y *Verticillium*, en los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán.

Agradecimientos. Al Museo Tumbas Reales, por habernos facilitado las muestras para el estudio y a Edgar Bracamonte Lévano, en la realización del estudio. **Financiación:** Autofinanciado. **Conflictos de interés:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. BARNETT, H.L.; HUNTER, B.B. 1998. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. 4th Edition, APS Press, St. Paul. 218p.
2. CAVKA, M.; GLASNOVIĆ, A.; JANKOVIĆ, I.; SIKANJIC, P.R.; PERIĆ, B.; BRKLJACIĆ, B.; MLINARIĆ-MISSONI, E.; SKRLIN, J. 2010. Microbiological analysis of a mummy from the archeological museum in Zagreb. *Collegium Antropologicum*. 34(3):803-805.
3. CHMIEL, M.; KRAL, I.; LENART-BORON, A. 2019. Concentration and size distribution of microbial aerosol in the historical objects in Kraków as a potential health risk and biodeterioration factor. *Aerobiologia*. 35(4):743-758. <https://doi.org/10.1007/s10453-019-09614-x>
4. CIFERRI, O. 2002. The role of microorganisms in the degradation of cultural heritage. *Studies in Conservation*. 47(Supplement-1):35-45. <https://doi.org/10.1179/sic.2002.47.supplement-1.35>
5. COX, C.S.; WATHES, C.M. 1995. *Bioaerosols handbook*. crc press.
6. DAÂSSI, D.; ZOUARI-MECHICHI, H.; BELBAHRI, L.; BARRIUSO, J.; MARTÍNEZ, M.J.; NASRI, M.; MECHICHI, T. 2016. Phylogenetic and metabolic diversity of Tunisian forest wood-degrading fungi: a wealth of novelties and opportunities for biotechnology. *3 Biotech*. 6(1):46. <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0356-8>
7. EYZAGUIRRE, M.PL. 2002. Análisis científico de fibras arqueológicas. *Conserva*. 6(1):47-59.
8. FAROOQ, M.; HASSAN, M.; GULL, F. 2015. Mycobial Deterioration of Stone Monuments of Dharmarajika, Taxila. *J. Microbiology & Experimentation*. 2(1):29-33. <https://doi.org/10.15406/jmen.2015.02.00036>
9. GRBIĆ, M.L.; STUPAR, M.; VUKOJEVIĆ, J.; MARIČIĆ, I.; BUNGUR, N. 2013. Molds in museum environments: Biodeterioration of art photographs and wooden sculptures. *Archives of Biological Sciences*. 65(3):955-962. <https://doi.org/10.2298/ABS1303955G>

10. GU, J.D. 2003. Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: Recent research advances. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 52(2):69-91. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00177-4](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00177-4)
11. GU, J.D.; FORD, T.E.; BERKE, N.S.; MITCHELL, R. 1998. Biodeterioration of concrete by the fungus *Fusarium*. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 41(2):101-109. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(98\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(98)00034-1)
12. GUIAMET, P.; BORREGO, S.; LAVIN, P.; PERDOMO, I.; GÓMEZ DE SARAVIA, S. 2011. Biofouling and biodeterioration in materials stored at the Historical Archive of the Museum of La Plata, Argentine and at the National Archive of the Republic of Cuba. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 85(2):229-234. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.02.031>
13. HÖRZ, G.; KALLFASS, M. 2000. The treasure of gold and silver artifacts from the Royal Tombs of Sipán, Peru - A study on the Moche metalworking techniques. *Materials Characterization*. 45(4-5):391-419. [https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(00\)00093-0](https://doi.org/10.1016/S1044-5803(00)00093-0)
14. KAKAKHEL, M.A.; WU, F.; GU, J.D.; FENG, H.; SHAH, K.; WANG, W. 2019. Controlling biodeterioration of cultural heritage objects with biocides: A review. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 143(2019):104721. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104721>
15. KARBOWSKA-BERENT, J.; GÓRNY, R.L.; STRZELCZYK, A.B.; WLAZŁO, A. 2011. Airborne and dust borne microorganisms in selected Polish libraries and archives. *Building and Environment*. 46(10):1872-1879. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.03.007>
16. KONSA, K.; TIRRUL, I.; HERMANN, A. 2014. Wooden objects in museums: Managing biodeterioration situation. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 86(2014):165-170. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.06.023>
17. LABARCA, M.; SANABRIA, N.; ARCIA, A. 2006. Patogenicidad de *Pestalotiopsis palmarum* Cooke, sobre plantas de vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 23:417-424
18. LIU, X.; MENG, H.; WANG, Y.; KATAYAMA, Y.; GU, J.D. 2018. Water is a critical factor in evaluating and assessing microbial colonization and destruction of Angkor sandstone monuments. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 133(2018):9-16. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.05.011>
19. LÓPEZ-ARANDA, B.G.; IGLESIAS-OSORES, S.; TULLUME GONZALES, L.; CARREÑO-FARFAN, C. 2020. Caracterización microbiológica de los almacenes del museo tumbas reales de Sipán en Lambayeque, Perú. *La zaranda de ideas*. 18(2):136-145.
20. MENG, H.; KATAYAMA, Y.; GU, J.D. 2017. More wide occurrence and dominance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria at three Angkor sandstone temples of Bayon, Phnom Krom and Wat Athvea in Cambodia. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 117:78-88. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.012>
21. MENG, H.; LUO, L.; CHAN, H.W.; KATAYAMA, Y.; GU, J.D. 2016. Higher diversity and abundance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria detected at the Bayon Temple of Angkor Thom in Cambodia. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 115(2016):234-243. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.08.021>
22. MONTANARI, M.; MELLONI, V.; PINZARI, F.; INNOCENTI, G. 2012. Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 75:83-88. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.03.011>
23. OBRUCA, S.; MAROVA, I.; MATOUSKOVA, P.; HARONIKOVA, A.; LICHNOVA, A. 2012. Production of lignocellulose-degrading enzymes employing *Fusarium solani* F-552. *Folia Microbiologica*. 57(3):221-227.
24. PIÑAR, G.; PIOMBINO-MASCALI, D.; MAIXNER, F.; ZINK, A.; STERFLINGER, K. 2013. Microbial survey of the mummies from the Capuchin Catacombs of Palermo, Italy: biodeterioration risk and contamination of the indoor air. *FEMS Microbiology Ecology*. 86(2):341-356. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12165>
25. ROJAS, T.I.; AIRA, M.J.; BATISTA, A.; CRUZ, I.L.; GONZÁLEZ, S. 2012. Fungal biodeterioration in historic buildings of Havana (Cuba). *Grana*. 51(1):44-51. <https://doi.org/10.1080/00173134.2011.643920>
26. SEQUEIRA, S.; CABRITA, E.J.; MACEDO, M.F. 2012. Antifungals on paper conservation: An overview. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 74(2012):67-86. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.011>
27. SHIMADA, I.; HÄUSLER, W.; JAKOB, M.; MONTENEGRO, J.; RIEDERER, J.; WAGNER, U. 2003. Early pottery making in Northern Coastal Peru. Part IV: Mössbauer study of ceramics from Huaca Sialupe. *Hyperfine Interactions*. 150(1-4):125-139. <https://doi.org/10.1023/B:HYPE.0000007354.42840.ef>
28. STERFLINGER, K.; PIÑAR, G. 2013. Microbial deterioration of cultural heritage and works of art - Tilting at windmills?

-
- Applied Microbiology and Biotechnology. 97(22):9637-9646.
<https://doi.org/10.1007/s00253-013-5283-1>
29. WARSCHEID, T.; BRAAMS, J. 2000. Biodeterioration of stone: A review. *Internal Biodeterioration and Biodegradation*. 46(4):343-368.
[https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00109-8](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00109-8)
30. ZHU, H.; PHELAN, P.E.; DUAN, T.; RAUPP, G.B.; FERNANDO, H.J.S.; CHE, F. 2003. Experimental study of indoor and outdoor airborne bacterial concentrations in Tempe, Arizona, USA. *Aerobiologia*. 19(3-4):201-211.
<https://doi.org/10.1023/B:AERO.0000006571.23160.8a>



Atributos afectivos y cognitivos hacia la fauna silvestre y su relación con factores sociodemográficos en población rural

Affective and cognitive attributes to wildlife and its relationship with sociodemographic factors in the rural population

Leidis Toro-Julio¹; Estefanía Espitia-Martínez²; Omar Tapasco-Alzate³; Beatriz Toro⁴

¹Bióloga. Universidad de Caldas. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: leidis0826@hotmail.com;  <https://orcid.org/0000-0002-5664-7378>

²Bióloga. Universidad de Caldas. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: estephannie-espitia@hotmail.com;  <https://orcid.org/0000-0002-6828-8544>

³Ing., Ph.D. Universidad de Caldas. Departamento de Matemáticas. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: omartapasco@ucaldas.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-9751-6737>

⁴Bióloga. Universidad del Caldas. Departamento de Ciencias Exactas y Naturales. Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: beatriz.toro@ucaldas.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-2555-5147>

Cómo citar: Toro-Julio, L.; Espitia-Martínez, E.; Tapasco-Alzate, O.; Toro, B. 2021. Atributos afectivos y cognitivos hacia la fauna silvestre y su relación con factores sociodemográficos en población rural. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1840. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1840>

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

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

Recibido: febrero 1 de 2021

Aceptado: noviembre 16 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Las posibles asociaciones entre factores sociodemográficos y el grado de conciencia ambiental, expresado en términos de un subconjunto de atributos afectivos y cognitivos, puede determinar la incidencia de programas de educación ambiental en zonas rurales, sobre la percepción frente a diversas problemáticas ambientales, de carácter local, así como la postura adoptada hacia la conservación de la fauna silvestre. En la zona de estudio, se observaron afectaciones al entorno, cacería ilegal, minería, deforestación, quemas y contaminación por residuos. Por lo anterior, fue importante conocer el nivel de conciencia ambiental de las personas involucradas. Además, este tipo de estudio es muy importante en el país, ya que contribuye en las investigaciones sobre el nivel de conciencia ambiental, por lo que es relevante indagar sobre este aspecto. Se tomó una muestra de 152 habitantes, pertenecientes a las 15 comunidades del área de influencia del

travase Manso – Caldas, Colombia, a las que se les aplicaron encuestas cara a cara. Para el análisis estadístico, se recurrió a las pruebas de independencia y al análisis de correspondencias múltiples. Dentro de los atributos afectivos, se pudo identificar asociación entre la tenencia de tierra, la permanencia en la zona y el pertenecer a diferentes organizaciones de índole asociativo, con un incremento en el indicador utilizado, para evidenciar la conciencia ambiental. El estudio realizado expone el tratamiento de información empírica, que da cuenta de los avances alcanzados en programas de educación ambiental, ejecutados entre pobladores de zonas rurales, así como su relación con ciertos comportamientos proambientales.

Palabras clave: Actitudes ambientales; Conciencia ambiental; Conservación de la fauna; Educación ambiental; Sensibilización ambiental.

ABSTRACT

The possible associations between sociodemographic factors and the degree of environmental awareness, expressed in terms of a subset of affective and cognitive attributes, can determine the incidence of environmental education programs in rural areas on the perception of various environmental problems of a local nature, as well as the position adopted towards the conservation of wild fauna. In the study area, effects on the environment, illegal hunting, mining, deforestation, burning and contamination by residues were observed. Therefore, it was important to know the level of environmental awareness of the people involved in these programs. In addition, this type of study is very important in the country since it contributes to research on the level of environmental awareness, so it is relevant to inquire about this aspect. A sample of 152 inhabitants was taken from the 15 communities in the Manso transfer area, Caldas-Colombia, to which face-to-face surveys were applied. For statistical analysis, independence tests and Multiple Correspondence Analysis were used. Within the affective attributes, it was possible to identify an association between land ownership, permanence in the area and belonging to different organizations of an associative nature with an increase in the indicator used to demonstrate environmental awareness. The study carried out exposes the treatment of empirical information that accounts for the progress made in Environmental Education programs carried out among residents of rural areas, as well as its relationship with certain pro-environmental behaviors.

Keywords: Conservation of fauna; Environmental attitudes; Environmental awareness; Environmental Conscience; Environmental education.

INTRODUCCIÓN

En general, se considera que la actitud de los seres humanos, se relaciona con el valor que ellos le asignan al medio ambiente, por lo que algunos sujetos, se muestran más preocupados o implicados por la protección ambiental y se centran en los valores humanos, como una forma de conservar el entorno. Al respecto, Stern *et al.* (2000) contemplan la preocupación ambiental, como un conjunto de sentimientos de obligación personal o normas morales, que emergen de orientaciones de valores egoístas, socialtruistas y biosféricas. Por lo anterior, se plantea que los individuos solo realizan conductas ambientalmente responsables cuando están suficientemente informados sobre la problemática ambiental y se encuentran motivados hacia ella. De acuerdo con esto, surge la necesidad de realizar más investigaciones sobre comportamientos ambientales, ya que tendrán efectos directos o indirectos sobre el entorno (Hemayatkah *et al.* 2018).

Entre las conductas presentadas por los seres humanos, referente al medio ambiente, se pueden encontrar atributos afectivos y cognitivos. Los atributos son conductas y se relacionan con el valor que estas le puedan dar al medio ambiente, ya sea en términos afectivos, ligados a sentimientos de preocupación por la problemática ambiental o cognitivos, relacionados al entendimiento

de los problemas ecológicos y el interés por mantenerse informado sobre el tema (Jiménez & Lafuente, 2006). Estos atributos, se han formulado para explicar y predecir diferentes conductas hacia el medio ambiente, haciendo referencia a la protección ambiental (Gifford & Nilsson, 2014).

En concordancia, las actitudes de las personas están relacionadas con la conciencia ambiental, la cual, se entiende, de acuerdo con Prada Rodríguez (2013), al sistema de vivencias, de conocimientos y de experiencias, que el individuo utiliza activamente en su relación con el medio ambiente, infiriendo la presencia de subjetividad en el proceso de interrelación con el entorno. También, la conciencia ambiental está relacionada con todas las situaciones que se llevan a cabo en el medio, sin focalizar comportamientos de preservación o conservación (Ibáñez *et al.* 2020).

El poder conocer el nivel de conciencia ambiental fortalece las discrepancias entre la preocupación ambiental y la realización de conductas sostenibles. Actualmente, la mayor parte de las investigaciones sobre las actitudes, se centran en el valor predictivo que éstas pueden tener sobre las conductas; pero, aunque son numerosos los trabajos realizados para identificar los factores que determinan las actitudes hacia el medio ambiente, se encuentran dificultades derivadas de la falta de consenso sobre el propio concepto de la actitud ambiental (Cruz & Soto Troncoso, 2016). Por lo tanto, es necesario la adquisición de un conocimiento científico-ambiental y un comportamiento ecológico, tendiente a generar un desarrollo ajustado a nuestros límites (Álvarez & Vega, 2009).

Particularmente, las dimensiones afectivas y cognitivas relacionadas con la conciencia ambiental son poco estudiadas en el contexto rural. Al respecto, Pasek De Pinto (2004) menciona que “es sabido que en la escuela al igual que en el resto de la sociedad, parece no brindársele la importancia que se debe a los temas ambientales, tal vez por la carencia de una cultura ecológica desde épocas anteriores o por los pocos estudios realizados en el tema”, por lo que es fundamental profundizar en temas de conciencia ambiental, en perspectiva de conocer los atributos que la determinan, por lo que se hace necesaria la formación de valores asociados a los saberes ambientales, la que ha permitido, a las sociedades humanas, adaptarse a las distintas condiciones del medio ambiente (Calixto Flores, 2012); esto, teniendo en cuenta que la solución de los problemas ambientales no depende solo de la movilización de recursos, de la investigación científica, de conferencias y de programas, sino también de dicha formación (Vinces Centeno *et al.* 2018).

Dado lo anterior y teniendo en cuenta los hallazgos de Chuliá Rodrigo (1995) y de Jiménez & Lafuente (2006), el objetivo de la presente investigación consistió en dilucidar las posibles asociaciones que tienen algunos factores sociodemográficos con el grado de conciencia ambiental, expresado este último, en términos de un subconjunto de atributos afectivos y cognitivos, entre pobladores de una zona rural en el oriente de Caldas. Asimismo, determinar si las actividades del programa en educación

ambiental realizadas en las comunidades educativas del área de influencia del trasvase Manso, Caldas-Colombia, han incrementado su nivel de conciencia, con relación a las diversas problemáticas locales de carácter ambiental. Consecuentemente, surge como pregunta orientadora de la investigación, la siguiente: ¿qué factores sociodemográficos muestran asociación con el grado de conciencia ambiental, expresado en términos de un subconjunto de atributos afectivos y cognitivos, entre las personas de la zona de interés?

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La población de interés fue la comunidad aledaña al embalse Amaní, específicamente, en el departamento de Caldas, en el área de influencia directa del trasvase Manso, correspondiente a la vertiente oriental de la cordillera Central, la cual, presenta un bosque húmedo tropical, compuesto por una matriz con predominio de bosques y potreros (Holdridge, 1982). Esta investigación, se enfocó en 15 veredas, pertenecientes a los municipios de Samaná y Norcasia, donde seis se encuentran aguas arriba (La Reforma, La Argentina, La Sonrisa, Berlín, Piedras Verdes y San Diego) y nueve veredas, aguas abajo (Las Delicias, Manizalitos, Jagual Alto y Bajo, Quebra de Roque, La Samaria, La Estrella, Cadenales y Risaralda), del trasvase Manso. Se seleccionaron estas veredas, porque han participado en diversos procesos de educación ambiental desarrollados por la empresa ISAGEN, en convenios con varias entidades, como Fundecos, Corpocaldas, la Universidad Católica de Oriente, la Universidad Pontificia Javeriana y la Universidad de Caldas. Uno de estos procesos educativos ha sido el “Programa de educación ambiental enfocado al fortalecimiento de las comunidades escolares en las áreas de influencia de La Central Hidroeléctrica Miel I y de los trasvases Manso y Guarinó”, el cual, se viene desarrollando desde el 2012.

En general, la principal fuente de ingresos de las comunidades es la ganadería y la agricultura, con predominio de cultivos de aguacate y de cacao. Las problemáticas ambientales que más se observan en la zona son la cacería, la deforestación, las quemadas, la minería y la contaminación de las fuentes hídricas.

Se realizaron encuestas cara a cara, a 152 residentes adultos de la zona, a quienes se les solicitó colaboración voluntaria, garantizándoles confidencialidad en el tratamiento de la información. El tiempo medio de aplicación del instrumento fue de quince minutos. Además, se realizaron algunas entrevistas a grupos focales participantes del programa, con el objetivo de conocer la percepción de los aprendizajes alcanzados en el mismo.

Las variables sociodemográficas tenidas en cuenta en el presente estudio y sus correspondientes niveles, fueron: localización de la zona de residencia (rural/urbano); grupos de edad (menores de 30 años/entre 30 y 50 años/mayores de 50 años); género (femenino/masculino); nivel de escolaridad (sin escolaridad/ primaria/ secundaria/ universitario); permanencia en la zona (tiempo en años); tenencia de tierras (no posee tierras/sí posee tierras) y, finalmente, su participación en organismos comunitarios (sí ha pertenecido/no ha pertenecido).

Instrumento. Los indicadores subyacentes a las dimensiones afectiva y cognitiva empleadas en el presente estudio estuvieron basadas en la propuesta de Chuliá Rodrigo (1995) y Jiménez & Lafuente (2006). La dimensión afectiva hace referencia a los sentimientos de preocupación por la problemática medio ambiental y al grado de afinidad a valores culturales, favorables a la protección de la naturaleza. A este respecto, González Navarro *et al.* (2017) mencionan que esta dimensión genera una disposición positiva y motivacional hacia el desarrollo de una conducta, que puede ser en pro del ambiente. Por su parte, Gómez Benito *et al.* (1999) reseñan dos facetas de dicha dimensión: la sensibilidad hacia los problemas ambientales y la percepción de su gravedad. En este sentido, Jiménez & Lafuente (2006) proponen cuatro tipos de indicadores: percepción de gravedad, preocupación personal, priorización de los problemas ambientales y adhesión a valores proambientales.

Puesto que el componente afectivo está formado por apreciaciones subjetivas de los individuos y sus emociones, que se ubican dentro del campo de correlación hombre-ambiente, este componente se investigó desde la identificación de la intensidad de carga emocional existente, así como a través de la evaluación de los individuos de los tratamientos en situaciones ambientales. Este medio contiene dos aspectos: interno (emociones) y externo (estimaciones) y la presencia de ambos testigos sobre la existencia del componente afectivo (Shedlovska, 2013).

Por otro lado, la dimensión cognitiva, Chuliá Rodrigo (1995), la define como un conjunto de conocimientos relacionados con el entendimiento de los problemas ecológicos y el interés por mantenerse informado sobre el tema. Por su parte, Jiménez & Lafuente (2006) proponen tres tipos de indicadores para su seguimiento, a saber: grado de información general sobre la problemática ambiental, conocimiento especializado sobre temas ambientales y conocimiento sobre la política ambiental.

El indicador propuesto no tiene pretensiones de servir de referente para la medición de los atributos ambientales asociados a las dimensiones afectivas y cognitivas, sino más bien de servir, como indicador relativo de tales atributos, con propósitos comparativos, cuya descripción de su operacionalización queda registrada en la tabla 1. La métrica utilizada, expresada en la ecuación 1, se refiere a un proceso de normalización por rangos, cuyo objetivo es uniformizar la información, mediante la unificación de las unidades de medida, permitiendo la comparabilidad de las unidades (Aznar & Guijarro, 2012).

$$y_i = \frac{2}{R} (x_i - \text{Mín.}) - 1, \text{ siendo } R = \text{Máx.} - \text{Mín.} \quad \text{ecuación 1}$$

Análisis estadístico. El estudio fue de carácter observacional y exploratorio, de tipo transversal y de alcance correlacional. Las características sociodemográficas de los encuestados corresponden a las variables independientes, mientras que las valoraciones obtenidas para los atributos de las dimensiones afectivas y cognitivas, constituyen las variables de respuesta.

Tabla 1. Operacionalización de las dimensiones afectivas y cognitivas en la construcción del indicador propuesto.

Dimensión	Atributos	Variable Codificada	Niveles
Afectiva	Reconoce disminución de especies sin interés económico	Y2. A	-1 : No 1 : Si
	Reconoce causas de la disminución de especies	Y3. A	
	Relaciona la pérdida de fauna con la pérdida de flora	Y4. A	
	Asocia la disminución de agua con la pérdida de fauna y flora	Y5. A	
	Asocia los cambios de temperatura con la pérdida de fauna y flora	Y6. A	
	Asocia otras afectaciones con la pérdida de fauna y flora	Y7. A	
	Considera, como animales importantes para la región, a especies que han disminuido en población	Y10.A	
	Reconoce los principales problemas ambientales que afectan la zona	Y12.A	
Cognitiva	Recuerda el nombre de algún programa de conservación ambiental ejecutado en la región, en los últimos 10 años	Y1.C	-1 : No 1 : Si
	Menciona tecnolectos asociados a la terminología ambiental, en referencia a los beneficios ambientales que presta la fauna silvestre	Y8.C	Variable estandarizada de -1 a 1
	Menciona una especie no carismática, como un animal de importancia para la región	Y9.C	-1 : No 1 : Si
	Menciona tecnolectos asociados a la terminología ambiental, en referencia a la importancia de los animales para la región	Y11.C	Variable estandarizada de -1 a 1

Dada la naturaleza predominantemente cualitativa de los datos recolectados, se emplearon pruebas de independencia, para evidenciar la asociación entre las variables sociodemográficas utilizadas. Las variables con la más alta significancia, se incorporaron en el posterior análisis multivariado, mediante el uso del Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) (Hair *et al.* 1999). Además, se empleó el paquete estadístico SPSS versión 18, en el que se realizó un análisis de fiabilidad, a través del coeficiente Alfa de Cronbach (George & Mallery, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es necesario precisar que, aunque toda la población de interés pertenece a la zona rural, algunos de ellos viven en corregimientos y otros en veredas, por lo tanto, su interacción con el entorno natural, hábitos y costumbres son diferentes, por lo cual, se categorizó en pobladores de la zona urbana, a los primeros y de la zona rural, a los segundos. Los rasgos predominantes de la muestra seleccionada fueron, en su mayoría, habitantes de la zona rural, con un rango de edad de entre 30 a 50 años, con predominancia de mujeres. La comunidad, se caracterizó por tener baja escolaridad, puntualmente, primaria incompleta, haber permanecido en la zona

entre 10 a 20 años, haber nacido en la zona de estudio, no ser poseedor de tierras y manifestar no haber pertenecido a ningún tipo de organización cooperativa (Tabla 2).

El análisis de fiabilidad, se realizó mediante el uso del coeficiente Alfa de Cronbach, el cual, señala que cinco ítems guardan consistencia interna, con un coeficiente de 0,673, alcanzando un nivel aceptable de fiabilidad (George & Mallery, 1999). Entre tales variables, tres de ellas componen la dimensión afectiva: “Relaciona la pérdida de fauna con la pérdida de flora”, “Asocia la disminución de agua con la pérdida de fauna y flora” y “Asocia los cambios de temperatura con la pérdida de fauna y flora” y dos variables, están relacionadas a la dimensión cognitiva: “Hace mención de tecnolectos asociados a la terminología ambiental en referencia a los beneficios ambientales prestados por la fauna silvestre” y “Hace mención de tecnolectos asociados a la terminología ambiental en referencia a la importancia de los animales para la región”. De acuerdo con esto, para el respectivo análisis de Correspondencias Múltiples, solo se incluirán los reactivos señalados.

Los resultados arrojaron que la variable posesión de tierras seguida de escolaridad y permanencia son las de mayor asociación con

los indicadores cognitivos, relacionados, específicamente, al uso de tecnolectos, aunque solo la primera presentó una asociación estadísticamente significativa (Tabla 3). Con relación a aspectos cognitivos, según el metaanálisis clásico de Hines *et al.* (1987), quienes mencionan que es poco probable que las personas se preocupen por el medio ambiente, a menos de tener un conocimiento científico. Ante esta afirmación, Mejía Madero (2020) encontró que, en los colegios privados, donde se realiza mayores actividades

de educación ambiental, presentan altos índices de conocimiento y comportamiento proambiental que los oficiales. También, un estudio británico encontró que el mejor discriminador entre los adolescentes preocupados por el medio ambiente y los adolescentes indiferentes era la cantidad de conocimiento ambiental, sobre temas específicos que decían tener, aunque los adolescentes preocupados también tenían más conocimientos científicos que los adolescentes despreocupados (Lyons & Breakwell, 1994).

Tabla 2. Características sociodemográficas de la muestra.

Variable	Frecuencias porcentuales		
Zona	Urbano (15,8)	Rural (84,2)	
Edad	<30 años (27,6)	30-50 años (47,4)	>50 años (25,0)
Sexo	Femenino (54,6)	Masculino (45,4)	
Escolaridad	Primaria incompleta (42,1)	Primaria completa (36,8)	Bachiller + (21,1)
Permanencia	<10 años (27,6)	10-20 años (42,1)	>20 años (30,3)
Procedencia	De la zona (84,2)	Fuera de la zona (15,8)	
Tierras	No posee (43,4)	Menor a 5ha (29,6)	Mayor a 5ha (27,0)
Organización	No (51,3)	Si (48,7)	

Los resultados arrojados del ACM (Tabla 4) muestran que el porcentaje de variabilidad, explicada de las tres principales dimensiones, reúne el 50,5 % de la variabilidad total de los datos (Tabla 4). Las variables de interés para el estudio de ACM, como son los indicadores propuestos, presentaron más altas cargas factoriales en la dimensión tres y considerando, además, que el porcentaje de varianza, explicada por las dimensiones dos y tres, muestran gran similitud, se procedió a realizar el análisis del segundo plano perceptual del ACM, es decir, el conformado por las dimensiones uno y tres, denotado, como figura 1.

Como lo mostraron los coeficientes factoriales, los indicadores propuestos cargaron de forma marcada en la dimensión tres, ubicándose en la parte inferior los valores bajos de ambos indicadores y hacia arriba, lo opuesto, conformándose unos perfiles sociodemográficos por cuadrantes, asociados a las categorías asignadas de los indicadores. Es así, como en el primer cuadrante, se ubicaron los registros de los valores más altos del indicador de atributos afectivos, asociados a las variables de las personas de la zona, que viven en la parte rural, quienes manifestaron tener vínculos con organizaciones comunales, llevan más de veinte años en la zona y predominantemente son poseedoras de tierras. Lo anterior, se ve reflejado en las declaraciones hechas por pobladores de la región, poseedores de tierra, como los señores Jorge Trujillo y Luis Antonio Pérez Marín, quienes manifestaron “es importante cuidar estas tierras ya que nosotros siempre hemos sido de por acá y nos interesan los programas que lleguen a la vereda”.

Diagonal a dicho comportamiento, se encontró, en el cuadrante tres, el perfil opuesto, es decir, asociado a un bajo valor registrado, del indicador de atributos afectivos, las personas cuyas variables

sociodemográficas son las contrarias a las mencionadas anteriormente. Es claro que dicho perfil, se encuentra enmarcado dentro del arraigo; éste, se ha considerado como un apego al lugar, siendo un lazo o vínculo afectivo entre las personas y determinados lugares; por ejemplo, Quezada Ortega (2007) menciona que el concepto de “arraigo”, se entiende como el proceso y efecto, a través del cual, se establece una relación particular con el territorio, en la que, metafóricamente, se “echan raíces” en él, por diversas situaciones, creando lazos que mantienen algún tipo de “atadura” con el lugar. Por su parte, Leff (2004) menciona que el arraigo, desde la parte cultural en sus territorios, fortalece saberes ambientales. Particularmente, el concepto de arraigo al lugar, se asocia a emociones positivas, creando una clase de lazo entre las personas y el lugar, en otras palabras, dicho arraigo hace referencia a una cualidad que tienen las personas, derivado de la percepción e interacción hacia su territorio (Mostaghni *et al.* 2021). De hecho, este concepto se refiere al impacto emocional de un lugar que atrae a las personas emocional y culturalmente. Este sentimiento, se puede crear con relación a una habitación, hogar, barrio, así como con una ciudad o país. Por lo anterior, los habitantes de la zona presentaron un alto arraigo al lugar donde residen, llevándolos a cuidar y a proteger la fauna; además, el nivel de conciencia ambiental, se vio influenciado por el desarrollo de programas que incentivan el sentido de pertenencia.

Por su parte, en el cuadrante dos, se observaron las variables sociodemográficas asociadas a un valor alto del indicador de atributos cognitivos, en donde se destacó, el hecho de ser predominantemente mujeres, con algún tipo de escolaridad, de edad mediana y con un tiempo de permanencia en la zona, de 10 a 20 años, mientras que en el cuadrante opuesto, asociado a un nivel

Tabla 3. Pruebas de independencia entre variables sociodemográficas y atributos cognitivos.

Variable	Categorías	Y8.C	Valor P	Y11.C	Valor P
Zona	Urbano	-0,35	0,046*	-0,54	0,265
	Rural	-0,62		-0,72	
Edad	<30años	-0,52	0,529	-0,64	0,660
	30-50 años	-0,57		-0,68	
	>50 años	-0,64		-0,76	
Sexo	Femenino	-0,55	0,548	-0,71	0,653
	Masculino	-0,60		-0,67	
Escolaridad	Primaria incompleta	-0,66	0,106	-0,80	0,111
	Primaria completa	-0,56		-0,66	
	Bachiller +	-0,44		-0,53	
Permanencia	<10años	-0,67	0,267	-0,38	0,134
	10-20 años	-0,57		-0,77	
	>20 años	-0,50		-0,54	
Procedencia	De la zona	-0,55	0,215	-0,70	0,831
	Fuera de la zona	-0,69		-0,67	
Tierras	No posee	-0,52	0,049*	-0,80	0,043*
	Sí posee	-0,68		-0,58	
Organización	No	-0,59	0,699	-0,75	0,178
	Sí	-0,56		-0,62	

* Significativas a un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 4. Medidas de discriminación de las variables del ACM.

Variables	Dimensión			Media
	1	2	3	
Zona	0,33	0,28	0,02	0,21
Grupos de edad	0,47	0,14	0,04	0,22
Sexo	0,17	0,08	0,20	0,15
Escolaridad	0,48	0,39	0,08	0,31
Permanencia en la zona	0,10	0,15	0,31	0,19
Procedencia	0,03	0,23	0,22	0,16
Tenencia de tierra	0,49	0,03	0,07	0,20
¿Pertenece o ha pertenecido a algún tipo de organización?	0,08	0,12	0,18	0,12
Indicador AAcat ^a	0,01	0,01	0,17	0,04
Indicador ACcat ^b	0,03	0,05	0,21	0,09
Porcentaje de la varianza	21,8	14,6	14,1	26,8

^a Indicador de atributos afectivos categorizado.

^b Indicador de atributos cognitivos categorizado.

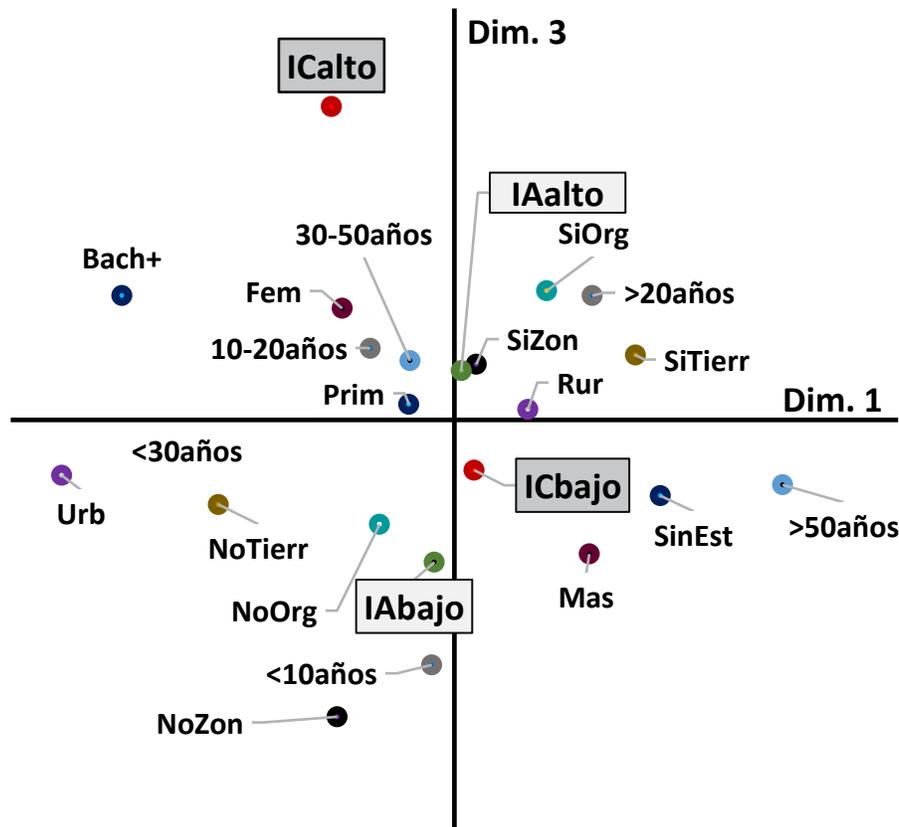


Figura 1. Mapa perceptual del análisis de correspondencia múltiple.

bajo del indicador de atributos cognitivos, se ubicaron las personas de perfil contrario, es decir, predominantemente hombres, sin estudios y con edades superiores a los 50 años. Lo anterior, se puede justificar, ya que las mujeres suelen estar socializadas para empatizar con las necesidades y el bienestar de otras personas y para ser más interdependientes y cooperativas. Esta mayor empatía adquirida por ellas durante la socialización y las expectativas y experiencias del rol de género, dan lugar a una mayor preocupación hacia los animales y el entorno natural (Musitu-Ferrer *et al.* 2020). Sumado a esto se tiene la predominante asistencia del género femenino a los programas de educación ambiental, quienes muestran un mayor interés en conocer las temáticas ambientales, aunque es importante anotar, que para los hombres de la región, existen limitantes de tiempo y de disponibilidad, tal como lo manifiesta la señora Yurley Daniela Pardo Zapata, participante del programa, “los hombres de la zona se encuentran ocupados con las labores del campo y les queda difícil participar de las actividades programadas”.

La marcada incidencia de la variable tenencia de tierras sobre el indicador de atributos afectivos (Figura 2), indicó que el hecho de poseer tierras muestra una tasa más elevada de personas con un alto valor del indicador en mención ($P=0,023$). Particularmente, en el área de influencia, se encontró que gran parte de la población ha vivido allí por varios años, llevándolos a cuidar y a proteger su entorno.

En este sentido, se observó asociación sobre el mismo indicador, con la variable relacionada a la participación en organizaciones

comunales, que muestra una asociación estadísticamente significativa ($P=0,047$), a favor de aquellos que manifestaron pertenecer a este tipo de organizaciones. Es importante mencionar que las personas del área rural participan activamente de programas de educación ambiental, lo cual, ha generado capacidades en términos de conocimiento y de conciencia de las problemáticas o potencialidades, respecto a la fauna silvestre de su contexto. El pertenecer a organizaciones comunales, genera espacios de diálogo de saberes o la retroalimentación de experiencias, que generan conciencia en las personas (Berenguer Santiago & Corraliza, 1998).

Por último, entre las variables con una mayor asociación respecto al indicador de atributos cognitivos, se encuentra la escolaridad ($P=0,014$), que indicó que un mayor nivel de estudios se asocia a un valor superior del indicador de atributos cognitivos relacionados con el conocimiento de la fauna silvestre de la región. Esto, se vio reflejado en la forma de actuar de los habitantes de la zona, ya que, por medio de la observación, aquellas personas con un alto grado de escolaridad, se expresaron de forma correcta de su contexto, siendo capaz de identificar las problemáticas asociadas a la fauna silvestre.

Los datos empíricos obtenidos mostraron cómo la manifestación de un mayor grado conciencia ambiental, medido desde los atributos afectivos y cognitivos, está influenciado de forma directa por la tenencia de tierras y el tiempo de permanencia en la zona. Esto es explicado por distintos autores, desde los lazos afectivos que se despiertan entre los pobladores y sus ambientes residenciales

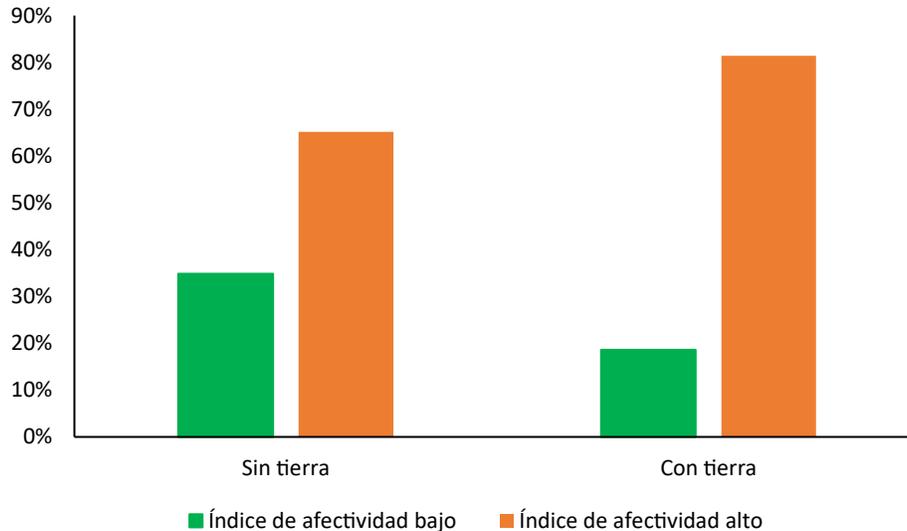


Figura 2. Perfiles del indicador de afectividad categorizado, según la tenencia o no de tierras.

(Mostaghni *et al.* 2021). Adicionalmente, se observó en los datos analizados, cómo las personas con una mayor valoración en los indicadores de los atributos afectivos y cognitivos son más proclives a participar en colectivos de carácter comunitario, además, presentaron un mayor grado de escolaridad.

En las conclusiones, se evidencia una relación entre la tenencia de tierra y el nivel de conciencia ambiental alcanzado por las personas encuestadas, reflejando un mayor compromiso ante las problemáticas ambientales en las personas que manifiestan un mayor arraigo y sentido de pertenencia por el territorio. Esta argumentación, se debe tener en cuenta, para el fortalecimiento del programa de educación ambiental y, a su vez, para futuros estudios.

Es importante precisar que el estudio realizado no tiene pretensiones predictivas, en términos de pronosticar las decisiones que asumen las personas, según sus rasgos sociodemográficos, sino el de buscar asociaciones entre tales características y los atributos afectivos y cognitivos hacia la fauna silvestre, moderado por la participación en programas de educación ambiental.

El poder identificar y conocer los atributos que están determinando el grado de conciencia ambiental en las personas del área de influencia del trasvase Manso, inducen que los pobladores han adquirido comportamientos proambientales; sin embargo, es necesario hacer más estudios de tipo experimental, que ayuden a clarificar la relación existente entre los atributos y las variables de arraigo y tenencia de tierra. Finalmente, se recomienda la realización de más estudios, que conduzcan a evidenciar la incidencia que tienen programas de educación ambiental sobre la población sujeta a dicha formación, en términos de la apropiación de conceptos proambientales, hacia el cuidado de la fauna silvestre y a la capacitación de habitantes en zonas rurales.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la Universidad de Caldas e ISAGEN, por el acompañamiento y la financiación en la

ejecución de la investigación, enmarcada en el proyecto “Educación ambiental enfocada al fortalecimiento de las comunidades escolares es las áreas de influencia de la Central Hidroeléctrica Miel I y de los trasvases Manso y Guarínó”. Además, se agradece a las comunidades del área de influencia del trasvase Manso. Conflicto de intereses: El presente trabajo fue preparado por los autores, quienes declaran que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados o la voluntad de publicación de estos.

REFERENCIAS

1. ÁLVAREZ, P.; VEGA, P. 2009. Actitudes ambientales y conductas sostenibles. Implicaciones para la educación ambiental. *Revista de Psicodidáctica*. (España). 14(2):245-260.
2. AZNAR, J.; GUIJARRO, F. 2012. Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio, 2ª Edición. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. (España). p.33-34.
3. BERENGUER SANTIAGO, J.; CORRALIZA, J.A. 1998. Estructura de las actitudes ambientales: ¿orientación general o especialización actitudinal? *Revista de Psicología Social* (España). 13(3):399-406.
4. CALIXTO FLORES, R. 2012. investigación en educación ambiental. *RMIE*. (México). 17(55):1019-1033.
5. CHULIÁ RODRIGO, E. 1995. La conciencia ambiental de los españoles en los noventa. *ASP Research Paper*. (España). 12(a):4-5.
6. CRUZ, M.F.; SOTO TRONCOSO, L. 2016. Valoración actitudinal frente a temas ambientales. *Revista Luna Azul*. 43:448-467.

7. GEORGE, D.; MALLERY, P. 1999. SPSS For Windows Step-By-Step Guide: A simple guide and reference. Cuarta edición. Allyn and Bacon (Massachusetts). p.432.
8. GIFFORD, R.; NILSSON, A. 2014. Personal and social factors that influence pro-environmental concern and behavior: a review. *Int. J. Psychol. (Canada)*. 49:141-157. <https://doi.org/10.1002/ijop.12034>
9. GÓMEZ BENITO, C.; NOYA, F.J.; PANIAGUA, A. 1999. Actitudes y comportamientos hacia el medio ambiente en España. *Centro de Investigaciones Sociológicas*. 2(14):245-260.
10. GONZÁLEZ NAVARRO, M.G.; MARCHANT SAN MARTÍN, M.E.; RUÍZ RODRÍGUEZ, V.H.; NAVARRO SALDAÑA, G. 2017. Desarrollo de la dimensión afectiva de las competencias genéricas por medio del uso de la reflexión. *Educación, (Costa Rica)*. 26(51):35-54. <https://doi.org/10.18800/educacion.201702.002>
11. HAIR, J.; ANDERSON, R.; TATHAN, R.; BLACK, W. 1999. Análisis multivariante, 5ª edición, Ed. Prentice Hall Iberia, Madrid, (España). p.814.
12. HEMAYATKHAH, M.; RAHMANIAN, V.; MANSOORIAN, E. 2018. Evaluating the level of environmental behaviors among students at Jahrom University of medical sciences/ 2016-2017. *J. Environ. Health Sustain. Dev. (Irán)*. 3(3):567-77.
13. HINES, J.M.; HUNGERFORD, H.R.; TOMERA, A.N. 1987. Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: a meta-analysis. *The Journal of Environmental Education (Estados Unidos)*. 8(2):1-8. <http://dx.doi.org/10.1080/00958964.1987.9943482>
14. HOLDRIDGE, L.R. 1982. *Ecología basada en zonas de vida*. 1a. ed. IICA. San José, (Costa Rica). 216p.
15. IBÁÑEZ, M.E.; MUSITU FERRER, D.; AMADOR MUÑOZ, L.V.; MATEOS CLAROS, F.; OLMEDO RUÍZ, F.J. 2020. University as Change Manager of Attitudes towards Environment (The Importance of Environmental Education). *Sustainability. (Suiza)*. 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114568>
16. JIMÉNEZ, M.; LAFUENTE, M. 2006. La operacionalización del concepto de conciencia ambiental en las encuestas. La experiencia del Ecobarómetro andaluz. En: Castro, R. (ed.). *Persona, Sociedad y Medio Ambiente*. Junta de Andalucía (España). p.121-150.
17. LEFF, E. 2004. Racionalidad ambiental y diálogo de saberes. *Polis Revista Latinoamericana*. 7.
18. LYONS, E.; BREAKWELL, G.M. 1994. Factors predicting environmental concern and indifference in 13 to 16 years olds. *Environment and behavior (Inglaterra)*. 2(26):223-238. <https://doi.org/10.1177/001391659402600205>
19. MEJÍA MADERO, M.B. 2020. Relación entre conciencia ambiental y el comportamiento ecológico. *Centro Sur (Perú)*. 4(2):74-85.
20. MOSTAGHNI, A.; FARASATKHAH, M.; MIZBAN, P. 2021. In the quest of a model to improve the concept of place attachment case de study: the university of art. *Bagh-e nazazr. (Estados Unidos)*. 18(101):5-26. <http://doi.org/10.22034/bagh.2021.247858.4678>
21. MUSITU-FERRER, D.; IBÁÑEZ, M.E.; LEÓN-MORENO, C.; CALLEJAS JERÓNIMO, J.E.; AMADOR-MUÑOZ, L.V. 2020. Fiabilidad y validez de la escala de actitudes hacia el medio ambiente natural para adolescentes (Aman-a). *Revista de Humanidades (España)*. 39:247-270. <https://doi.org/10.5944/rdh.39.2020.25471>
22. PASEK DE PINTO, E. 2004. Hacia una conciencia ambiental. *Educere (Venezuela)*. 24(8):34-40.
23. PRADARODRÍGUEZ, E.A. 2013. Conciencia, concientización y educación ambiental: conceptos y relaciones. *Revista Temas (Colombia)*. 7(2013):231-244. <https://doi.org/10.15332/rt.v0i7.585>
24. QUEZADA ORTEGA, M.J. 2007. Migración, arraigo y apropiación del espacio en la recomposición de identidades socioterritoriales. *Cultura y representaciones sociales (México)*. 2(3):35-67.
25. SHEDLOVSKA, M. 2013. The conceptual model for environmental consciousness measurement. *Economics & Sociology (Polonia)*. 6(1):78-88.
26. STERN, P.C. 2000. New Environmental Theories: Toward a coherent theory on environmentally significant behavior. *J. Social Issues. (New York)*. 56(3):407-424. <https://doi.org/10.1111/0022-4537.00175>
27. VINCES CENTENO, M.R.; MILÁN, M.R.; MUÑOZ CAMPOS, M.R. 2018. Estrategia de Educación Ambiental no Formal: contribución al cumplimiento de la Responsabilidad Socio Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*. 6(3):1-14.



Actividad anticoagulante *in vitro* del extracto etanólico de las hojas de dos especies de la familia Euphorbiaceae

In vitro anticoagulant activity of the ethanolic extract of the leaves of two species of the family Euphorbiaceae

Jhon Ruiz-Baquero¹; Oscar Camacho-Romero²; Samir Bolívar-González³; Álvaro Castro-Zafra⁴

¹Químico Farmacéutico. Universidad del Atlántico, Facultad de Química y Farmacia, Semillero de Investigación Grupo de Investigación Fitoquímica. Barranquilla - Atlántico, Colombia; e-mail: jhonruiz-11a@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7096-6001>

²Químico Farmacéutico, M.Sc. Universidad del Atlántico, Facultad de Química y Farmacia, Grupo de Investigación Fitoquímica. Barranquilla - Atlántico, Colombia; e-mail: oscarcamacho@mail.uniatlantico.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-3760-9827>

³Químico Farmacéutico, Ph.D. Universidad del Atlántico, Facultad de Química y Farmacia, Grupo de Investigación Farmacia Asistencial y Farmacología. Barranquilla - Atlántico, Colombia; e-mail: samirbolivar@mail.uniatlantico.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2419-7456>

⁴Químico Farmacéutico. Universidad del Atlántico, Facultad de Química y Farmacia, Semillero de Investigación Grupo de Investigación Administración & Gestión Farmacéutica. Barranquilla - Atlántico, Colombia; e-mail: ajuniorcastro@mail.uniatlantico.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-0651-9554>

Cómo citar: Ruiz-Baquero, J.; Camacho-Romero, O.; Bolívar-González, S.; Castro-Zafra, Á. 2021. Actividad anticoagulante *in vitro* del extracto etanólico de las hojas de dos especies de la familia Euphorbiaceae. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1681. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1681>

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

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

Recibido: agosto 16 de 2020

Aceptado: octubre 13 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son un conjunto de trastornos del corazón y de los vasos sanguíneos, que constituyen la principal causa de mortalidad en el mundo. En la búsqueda de alternativas para esta problemática, plantas medicinales de la familia Euphorbiaceae, han sido empeladas con fines terapéuticos, para prevenir, atenuar o curar los efectos generados por estas enfermedades. El objetivo de este trabajo fue conocer el perfil fitoquímico y evaluar la actividad anticoagulante *in vitro* de los extractos etanólicos de las hojas de *Croton malambo* y *Acalypha hispida* sobre plasma humano. Para ello, se obtuvo el extracto de las hojas y se le realizó el tamizaje fitoquímico, la evaluación del Tiempo de Tromboplastina Parcial activada (TTPa) y del Tiempo de Protombina (TP). En el perfil fitoquímico, se confirmó la presencia de alcaloides, taninos, flavonoides, leucoantocianidinas, fenoles, sesquiterpenlactonas, glucósidos cardiotónicos y terpenos.

En la actividad anticoagulante, se evidenció la inhibición de la coagulación en la vía intrínseca, obteniendo resultados significativos para el TTPa, a diferencia que el test TP, donde los resultados obtenidos se encontraron similares al control. Esta investigación demuestra la acción anticoagulante de las plantas, ya que induce, significativamente, a una mayor prolongación del tiempo de coagulación; ambas especies presentaron una mayor actividad, a 200 mg/mL.

Palabras clave: *Acalypha hispida*; *Croton malambo*; Plantas medicinales; Tiempo de Tromboplastina Parcial activada; Tiempo de Protombina.

ABSTRACT

Cardiovascular diseases (CVD) are a group of disorders of the heart and blood vessels, which correspond to the principal

causes of death in the world. In the search for alternatives to this problem, medicinal plants of the Euphorbiaceae family have been investigated for therapeutic purposes to prevent, attenuate or cure the effects generated for these illnesses. The objective of this work was to know the phytochemical profile and evaluate the anticoagulant activity *in vitro* of the ethanolic extracts of the leaves of *Croton malambo* and *Acalypha hispida* on human plasma. For this, extract of their leaves was obtained, and phytochemical screening was performed, as well as the evaluation of the Activated Partial Thromboplastin Time (aPTT) and the Prothrombin Time (TP). The phytochemical profile confirmed the presence of alkaloids, tannins, flavonoids, leucoanthocyanidins, phenols, sesquiterpene lactones, cardiotonic glycosides, and terpenes. In the anticoagulant activity, the inhibition of coagulation in the intrinsic pathway was evidenced, obtaining significant results for aPTT, unlike the TP test where the results obtained were like the control. This research demonstrates the effectiveness of the plant with anticoagulant action since they significantly induce a longer prolongation of the clotting time, both species showed higher activity at 200 mg/mL.

Keywords: *Acalypha hispida*; *Croton malambo*; Medicinal plants; Activated Partial Thromboplastin Time; Prothrombin Time.

INTRODUCCIÓN

Los eventos isquémicos en el miocardio y los accidentes cerebrovasculares suelen ser fenómenos agudos, que se deben, sobre todo, a obstrucciones que impiden que la sangre fluya hacia el corazón o el cerebro (Oberreuter *et al.* 2014); una de las causas más frecuentes es la formación de coágulos de sangre (trombos) en las venas, que se pueden desprender y alojar en los vasos del corazón y del cerebro (OMS, 2015).

Actualmente, en el mundo, las enfermedades cardiovasculares representan la principal causa de mortalidad. Para 2008, causaron el 63 % de las muertes y se estima un incremento del 15 % (44 millones), entre 2010 y 2020, alcanzando el 73 % de la mortalidad y el 60 % de la carga de la morbilidad (ONS, 2013). En Colombia, entre 2005 y 2017, la principal causa de muerte en la población general fueron las enfermedades del sistema circulatorio, las cuales, presentaron una tendencia decreciente en el tiempo, pasando de 166,43 a 150,30 muertes por cada 100.000 habitantes (Minsalud, 2018).

A nivel clínico, el tratamiento de los trombos se trata con anticoagulantes sintéticos (Jerjes-Sánchez *et al.* 2017); sin embargo, presentan efectos adversos, como trombocitopenia, urticaria, asma, anafilaxis, entre otras (Warkentin *et al.* 1995), lo que resulta en una problemática más relacionada con las enfermedades cardiovasculares (Rocha *et al.* 2004; Trejo I., 2004). En la búsqueda de nuevos fármacos anticoagulantes existe un mayor interés por el uso de plantas medicinales que presenten estas actividades biológicas y disminuyan la presencia de efectos secundarios, teniendo en cuenta que, en la actualidad, se presenta una tendencia progresiva por el uso de los sistemas tradicionales de medicina (Gallegos-Zurita, 2016).

Croton malambo y *Acalypha hispida* son dos especies de la familia Euphorbiaceae que se estudian por su actividad biológica, como es el caso de su uso como anticoagulante (Morón Rodríguez *et al.* 2007; Barragán Zarate *et al.* 2016). El género *Croton*, se caracteriza porque sus especies poseen una gran cantidad de usos, a nivel etnobotánica; también, se reportan varios usos interesantes en la medicina tradicional y se destaca la presencia de metabolitos secundarios, que se caracterizan porque poseen un amplio rango de actividad biológica (Coy Barrera *et al.* 2016; Matará *et al.* 2021). En el caso de *A. hispida*, se caracteriza por sus constituyentes con potencial para el tratamiento de muchas patologías, debido a su actividad antiinflamatoria y antioxidante (Siraj *et al.* 2016). Varias investigaciones reportan las diferentes actividades biológicas que presentan estas dos especies de Euphorbiaceae, dado que la mayoría de sus aceites esenciales presentan propiedades curativas (Jaramillo C. *et al.* 2010; Wardoyo *et al.* 2021).

Con base en lo anterior, se determinó el perfil fitoquímico y la actividad anticoagulante *in vitro*, a través de las técnicas Tiempo de Tromboplastina Parcial Activada (TTPA) y Tiempo de Protrombina (TP), de los extractos etanólicos de las hojas de *C. malambo* y *A. hispida*, sobre plasma humano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo, se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Investigaciones-Productos Naturales adscrito a la Facultad de Química y Farmacia, de la Universidad del Atlántico.

Recolección del material vegetal. La colecta de las hojas de *C. malambo* y *A. hispida*, se realizó en el corregimiento de Paluato, Galapa-Atlántico, con coordenada geográficas 10°48'N, 74°54'O y Salgar, Puerto Colombia-Atlántico, con coordenada geográficas 11°0'N y 74°47'O, a 18 m s.n.m. y ambas zonas presentan condiciones similares de temperatura ~ 30 °C y humedad relativa ~75 %, aprox., a las 7 a.m. Las plantas crecieron en condiciones de campo abierto y las muestras se tomaron de plantas sin evidencia de afectación por fitopatógenos o ataque de insectos. Las especies están situadas en la costa del Mar Caribe, zona con suelo franco arcilloso, sustrato que proporciona condiciones adecuadas para la absorción de los nutrientes. Para la identificación, se tomaron dos muestras de cada especie y se enviaron al Herbario Nacional Colombiano del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Obtención de los extractos etanólicos. Se realizó un proceso de limpieza y de secado del material vegetal a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizó el proceso de molienda, para obtener un tamaño de partícula moderadamente fino y llevado al método de extracción por maceración (Terán Portelles *et al.* 2019), con etanol al 96 %, durante 8 días, con agitación esporádica. Finalmente, se filtró y se concentró con un rotaevaporador R-10, a 38 °C, hasta obtener un extracto seco (Camacho-Romero *et al.* 2019).

Tamizaje fitoquímico preliminar. Los extractos fueron sometidos a un screening fitoquímico cualitativo, a través de

ensayos de coloración y de precipitación (Martínez, 2008), con el fin de confirmar los principales constituyentes químicos presente en los extractos etanólicos, de las hojas de *C. malambo* y *A. hispida*. Para el caso de alcaloides, esteroides y triterpenoides, se emplearon las pruebas descritas por Gil-Frómata *et al.* (2019) y para taninos, saponinas, leucoantocianidinas, flavonoides, fenoles, antraquinonas y sesquiterpenlactonas, las pruebas mencionadas por Beltrán Villanueva *et al.* (2013) y Soto Vásquez (2015).

Evaluación de la actividad anticoagulante in vitro. A partir de los extractos secos de *C. malambo* y *A. hispida*, se tomaron 5 g y se aforaron en un matraz de 25 mL, obteniéndose la concentración de 200 mg/mL; de igual modo, se realizaron diluciones de 10, 50 y 100 mg/mL. Posteriormente, se realizó la prueba de coagulación, utilizando las técnicas de tiempo de tromboplastina parcial activada (TTPA) y el tiempo de protrombina (TP) y, como control negativo, se utilizó plasma sanguínea normal, es decir, el valor de referencia, en la cual, coagula la sangre en estado normal.

Análisis estadístico. El análisis estadístico, se realizó mediante el uso de las pruebas ANOVA y Tukey, para tamaños de muestras iguales, con un nivel del 95,0 % de confianza y $p < 0,05$. Para establecer la correlación entre las variables, se consolidó la base de datos en Microsoft Excel y se realizó el plan de análisis con estadística descriptiva, para conocer la capacidad de formación del coágulo, de manera similar en las muestras, donde todas se realizaron por triplicado, a través del programa estadístico Statgraphics Centurion (XV).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfil fitoquímico. En la tabla 1, se observan los resultados cualitativos obtenidos en la marcha fitoquímica preliminar de los extractos etanólicos de las hojas de *C. malambo* y *A. hispida*, los cuales, mostraron resultados positivos para metabolitos secundarios, como alcaloides, flavonoides, esteroides y triterpenos, taninos, leucoantocianidinas, sesquiterpenlactonas y fenoles y negativo para los grupos químicos de saponinas y de antraquinonas.

Tabla 1. Marcha fitoquímica preliminar de las hojas de *Croton malambo* y *Acalypha hispida*.

Tipo de compuesto	Pruebas (reactivos)	<i>C. malambo</i>	<i>A. hispida</i>
Alcaloides	Hager	+++	+++
	Wagner	+++	+++
Esteroides y triterpenoides	Lieberman-Burchard	+	+++
Taninos	Gelatina-Sal	+++	++
	Dicromato de potasio	+++	++
	Cafeína	+	+
Saponinas	Espuma	-	-
	Rosenhein	++	+
Leucoantocianidinas	Ácido clorhídrico concentrado	++	++
	Shinoda	++	++
Flavonoides	Pews	+	+++
	Baljet	++	++
Sesquiterpenlactonas y glicósidos cardiotónicos	Baljet	++	++
Fenoles	Tricloruro férrico	+++	+++
Antraquinonas	Acetato de magnesio	-	-

No hay presencia (-), se encuentra en poca cantidad (+), se encuentra en mediana cantidad (++), se encuentra en gran cantidad (+++).

Actividad anticoagulante. Los extractos de las especies *C. malambo* y *A. hispida* fueron probados a diferentes concentraciones, para evaluar su actividad anticoagulante y los resultados obtenidos, se presentan en la tabla 2; están expresados en segundos transcurridos hasta la formación del coágulo. Las pruebas empleadas para la evaluación de los tiempos de coagulación fueron: tiempo de tromboplastina parcialmente activa, la cual, su prolongación (tiempo que se demora en formar un coágulo sanguíneo) indica inhibición de la vía intrínseca y tiempo de protrombina, donde su

prolongación indica inhibición de la vía extrínseca de la cascada de coagulación (Zamora-González, 2012).

En la tabla 2, se puede observar que, a concentración de 200 mg/mL, el extracto de *C. malambo* registró un tiempo de coagulación promedio de 39,1 segundos, mientras que el extracto de *A. hispida*, a la misma concentración, presentó un tiempo de coagulación promedio de 41,8 segundos. Según lo anterior, a estas concentraciones, los extractos se catalogan como sustancias

Tabla 2. Actividad anticoagulante *In vitro* mediante TTPa y TP de *Croton malambo* y *Acalypha hispida*.

Especie	Concentraciones (mg/mL)	TTPa (segundos)*	TP (segundos)*	TP (INR)*
<i>C. malambo</i>	10	29,7±0,06 ^a	12,2±0,00 ^e	1,03±0,06 ^d
	50	34,8±0,00 ^d	12,2±0,00 ^e	1,03±0,00 ^d
	100	38,1±0,00 ^e	12,2±0,00 ^e	1,03±0,00 ^d
	200	39,1±0,00 ^g	12,6±0,00 ^f	1,06±0,00 ^e
<i>A. hispida</i>	10	32,1±0,04 ^b	12,2±0,05 ^e	1,03±0,00 ^d
	50	34,1±0,00 ^c	11,2±0,00 ^c	0,94±0,00 ^b
	100	38,6±0,00 ^f	9,6±0,00 ^b	0,81±0,00 ^a
	200	41,8±0,00 ^h	9,5±0,00 ^a	0,80±0,00 ^a
Control negativo		29,7±0,01 ^a	11,9±0,00 ^d	1,00±0,00 ^c

* Medias con letras dentro de cada variable para mirar grupos en subconjuntos homogéneos, según prueba de Tukey, para $p \leq 0,05$ ($n=3$) \pm DS Desviación estándar.

que demoran la formación del coágulo, puesto que sobrepasan los 10 segundos obtenidos con el control negativo; no obstante, en términos generales, las concentraciones de 50 y 10 mg/mL, para ambas especies, mostraron resultados dentro de los rangos normales de 25 a 35 segundos, en comparación con el control negativo, los cuales, contabilizan hasta 6 segundos por encima o por debajo del valor obtenido en el control negativo (Zamora-González, 2012).

En ambas especies, se evidenció una actividad anticoagulante significativa para el TTPa, en comparación con el control negativo 29,7 segundos, registrando tiempos de coagulación más amplios a este, a excepción de *C. malambo*, a 10 mg/mL, que presentó el mismo valor. Además, se demostró proporcionalidad, corroborada al observar que, en la medida que las concentraciones aumentaron, los tiempos de coagulación se fueron prolongando; por otra parte, el efecto anticoagulante no se evidenció de acuerdo con los resultados obtenidos por la prueba del TP, donde la prueba ANOVA mostró que no había diferencia significativa entre el valor del TP control y las concentraciones de los extractos de *C. malambo* y *A. hispida*.

Estudios realizados con el género *Croton*, en el que se analizaron 14 especies, se determinaron la presencia de metabolitos secundarios, como alcaloides, taninos, fenoles simples, glucósidos cardiotónicos, triterpenos y flavonoides (Payo Hill *et al.* 2001). En otro estudio realizado con otras especies, como *C. mutisianus*, *C. polycarpus*, *C. phyllanthus*, *C. securinega* y *C. schiedeanus*, se notó la ausencia de saponinas y se confirmó la presencia de alcaloides, flavonoides, taninos y terpenos (Payo Hill *et al.* 2001). En otro estudio, en el que se incluyó a *C. malambo*, Jaramillo *et al.* (2010) encontraron los metabolitos alcaloides, terpenos, taninos, fenoles, flavonoides, sesquiterpenlactonas y glucósidos cardiotónicos, metabolitos que concuerdan con los hallados en el presente estudio.

Para *A. hispida*, se reporta la presencia de alcaloides, flavonoides, taninos, glucósidos cardiotónicos y fenoles, y la ausencia de saponinas y de antraquinonas (Onocha *et al.* 2011; Osarumwense & Okunrobo, 2013; Manikanta *et al.* 2014); dichos resultados concuerdan con los obtenidos en el estudio. Estos compuestos demuestran el potencial terapéutico que tienen estas plantas como

antiinflamatorio (Siraj *et al.* 2016), hipoglucémico (Alfarisi *et al.* 2020) y antibacteriano (Noumedem *et al.* 2013).

El modelo clásico de la coagulación, descrita por Davie & Ratnoff (1964), muestra cómo ocurre el proceso enzimático en cascada (Gómez Baute *et al.* 2011), que se divide por dos vías, la intrínseca y la extrínseca, siendo evaluadas por las pruebas de laboratorio tiempo de tromboplastina parcial activada (TTPa) y tiempo de protrombina (TP), respectivamente. En la vía intrínseca participan los factores intrínsecos de la sangre (factores VIII, IX y XI) y la vía extrínseca, se caracteriza por requerir una sustancia activadora extrínseca, el factor tisular (Palomo *et al.* 2009).

Al analizar los resultados obtenidos frente a la evidencia (Figura 1), se aprecia concordancia con los efectos anticoagulantes de otras plantas, como la *Ricinus communis* y *Jatropha curcas*, que también pertenecen a las euforbiáceas; cabe resaltar que Gallardo-Vásquez *et al.* (2019) utilizaron para su investigación el látex de *J. curcas*, lo que podría justificar la mayor prolongación del tiempo de coagulación, 56 segundos, a diferencia del promedio de 40 segundos, de las otras plantas. Además, según la literatura, la Warfarina prolonga el tiempo de coagulación por encima de los 60 segundos, a concentraciones muy bajas; esto quiere decir que, este agente químico de efecto comprobado, presenta mayor eficiencia que los extractos de las especies vegetales estudiadas (Ku & Bae, 2014).

En los valores de INR (prueba de tiempo de protrombina) para cada prueba del tiempo de tromboplastina, se observó que los resultados de las dos especies se encuentran dentro de los referenciados para esta prueba 0,8-1,2. Gallardo-Vásquez *et al.* (2019) reportaron en su investigación con el látex de *J. curcas* resultados similares a los encontrados en este estudio, al obtener tiempos de coagulación más prolongados, mediante el test TTPa, pero el TP no presentó resultados significativos con referencia a los controles negativo. Por tanto, los extractos de *C. malambo* y *A. hispida* inhiben la coagulación en la vía intrínseca, por lo que se espera que actúe sobre alguno de los factores responsables de la conversión de la protombina en trombina (factores VII, IX, XI y XII de la cascada de coagulación); pero no actúan sobre la vía extrínseca. Los medicamentos, como la Heparina y Warfarina, también actúan sobre la vía intrínseca, inhibiendo algunos de estos factores (Trejo I., 2004).

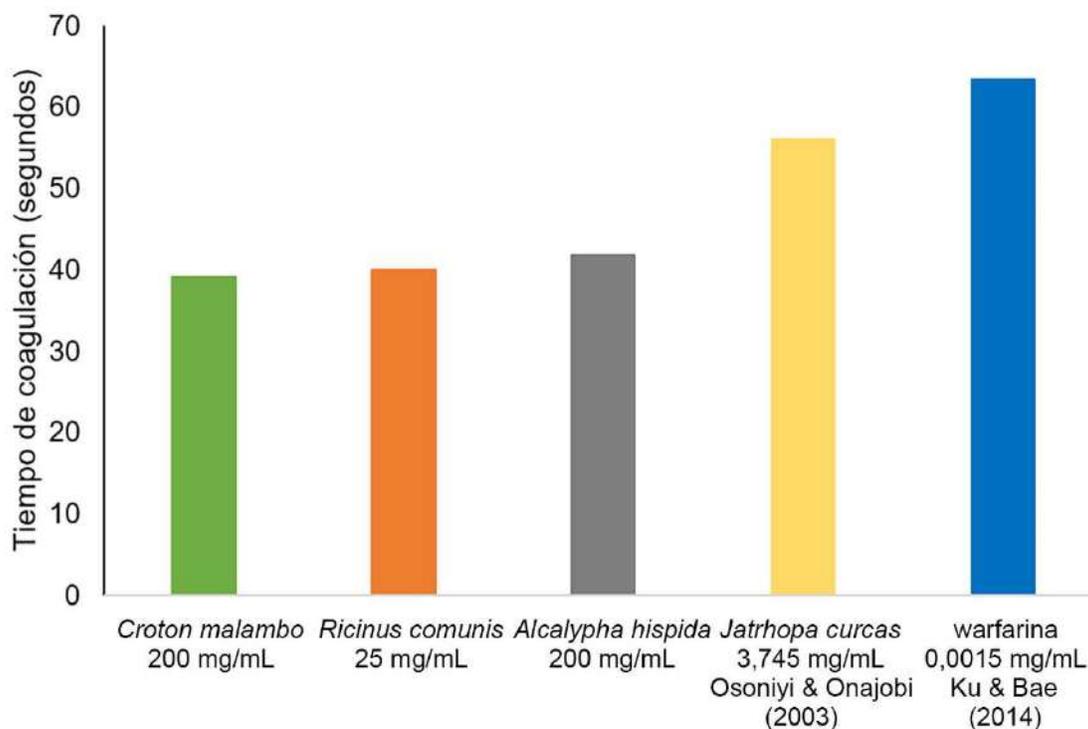


Figura 1. Comparación del tiempo de coagulación obtenido por TTPa reportado en la literatura (Osoniyi & Onajobi, 2003; Ku & Bae, 2014).

Se puede concluir que el extracto etanólico de las dos especies evaluadas en dosis de 200 mg/mL actuó como un anticoagulante, inhibiendo la coagulación en la vía intrínseca, vía por la que actúan los medicamentos anticoagulantes mayormente empleados, como la Heparina y Warfarina, alargando los tiempos de coagulación en las pruebas empleadas en condiciones *in vitro*.

Conflictos de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

- ALFARISI H.; SA'DIAH S.; WRESDIYATI, T. 2020. Polyphenol profile, antioxidant and hypoglycemic activity of *Acalypha hispida* leaf extract. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences. 2(2):291-299.
- BARRAGÁN ZARATE, G.S.; LAGUNEZ, L.; SOLANO, R. 2016. Perfil fitoquímico y evaluación de actividad anticoagulante de hojas, flores y pseudobulbos de *Prosthechea karwinski*. Revista Mexicana de Agroecosistemas. 3(supl. 3):267-275.
- BELTRÁN VILLANUEVA, C.E.; DÍAZ CASTILLO, F.; GÓMEZ ESTRADA, H. 2013. Tamizaje fitoquímico preliminar de especies de plantas promisorias de la costa atlántica colombiana. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 18(4):619-631.
- CAMACHO-ROMERO, O.I.; BARRIOS-MÁRQUEZ, S.; LOZANO-CONTRERAS, E.; GARCÍA-VILORIA, L. 2019. Actividad larvicida de extractos hidroalcohólicos de *Pala scholaris* (L.) Roberty sobre larvas de estadio III de *Aedes aegypti*. Journal of Negative & No Positive Results. 4(10):1022-1031. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.3081>
- COY BARRERA, C.A.; CONSTANZA GÓMEZ, D.; CASTIBLANCO, F.A. 2016. Importancia medicinal del género *Croton* (Euphorbiaceae). Revista Cubana de Plantas Medicinales. 21(2):234-247.
- DAVIE, E.W.; RATNOFF, O.D. 1964. Waterfall sequence for intrinsic blood clotting. Science. 145:1310-1312. <https://doi.org/10.1126/science.145.3638.1310>
- GALLARDO-VÁSQUEZ, G.J.; CHÁVEZ-FLORES, J.E.; CONTRERAS-TORVISCO, M. 2019. Evaluación del efecto antibacteriano del látex de *Jatropa curcas* "piñón" frente a *Staphylococcus aureus*. Duazary. 16(1):105-114. <https://doi.org/10.21676/2389783X.2533>
- GALLEGOS-ZURITA, M. 2016. Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador. Anales Facultad de Medicina. 77(4):327-332.

9. GIL-FRÓMETA, S.; ESCALONA-ARRANZ, J.C.; GARCÍA-DÍAZ, J.; FERNÁNDEZ-HEREDIA, J.A.; MACHADO, R. 2019. Phytochemical, and antimicrobial evaluation of the essential oil and extracts of the leaves of *Amyris elemifera* L. (yellow coaba). *Revista Cubana de Química*. 31(3):427-439.
10. GÓMEZ BAUTE, R.A.; GUERRA ALFONSO, T.; DITA SALABERT, L.; FERNÁNDEZ ÁGUILA, J.L.; CABRERA ZAMORA, M. 2011. Teoría celular de la coagulación: de las cascadas a las membranas celulares. *MediSur*. 9(2):146-155.
11. JARAMILLO C., B.E.; DUARTE, E.; MUÑOZ, K.; STASHENKO, E. 2010. Composición química volátil del aceite esencial de *Croton malambo* H. Karst. colombiano y determinación de su actividad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 15(3):133-142.
12. JERJES-SÁNCHEZ, C.; CANTÚ-BRITO, C.; ARAUZ, A.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C.; SANDOVAL-ZÁRATE, J.; RAMÍREZ-RIVERA, A.; ANAYA-SANTACRUZ, E.; ARGÜELLES-MORALES, N.; ARIAS-MENDOZA, A.; ARRIAGA-NAVA, R.; BRISEÑO-DE LA CRUZ, J.L.; CARRILLO-CALVILLO, J.; CASSAGNE, G.; CHÁVEZ-PÁEZ, J.; CHIQUETE-ANAYA, E.; EID-LIDT, G.; ELIZALDE-GONZÁLEZ, J.J.; ESCAMILLA-GARZA, J.M.; FABIANI, M.A.; FLORES-SILVA, F.D.; GÓMEZ-Y ÁLVAREZ, E.B.; GONZÁLEZ-AZUARA, L.R.; GUTIÉRREZ-FAJARDO, P.; LEÓN-HERNÁNDEZ, F.J.; MÁRQUEZ-ROMERO, J.M.; MURILLO-BONILLA, L.M.; PULIDO-ZAMUDIO, T.; REYES-MÉNDEZ, H.; RUIZ-FRANCOA, A.E.; RUIZ-SANDOVAL, J.L.; SÁNCHEZ-APARICIO, H.E.; SEOANE-GARCÍA DE LEÓN, J.M.; VENEGAS-TORRES, J.A.; VENZOR-CASTELLANOS, J.P.; VILLARREAL-CAREAGA, J.; ZAYAS-HERNÁNDEZ, N.G. 2017. Guías para Anticoagulación y Trombosis del Tromboembolismo Venoso, Infarto con Elevación del ST, Cardioembolismo Cerebral y del Infarto Cerebral Agudo. *Archivos de Cardiología de México*. 87(supl 1):1-66.
13. KU, S.K.; BAE, J.S. 2014. Antiplatelet, anticoagulant, and profibrinolytic activities of withaferin A. *Vascular Pharmacology*. 60(3):120-126. <https://doi.org/10.1016/j.vph.2014.01.009>
14. MANIKANTA, B.; VARMA, P.; KRISHNA, P.; KUMAR, A.; RATHINAM, K. 2014. Phytochemical and antidiarrhoeal activity of combined extracts of *Acalypha hispida*, *Acalypha nervosa* and *Acalypha fruticosa*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 7(3):194-196.
15. MARTÍNEZ, A. 2008. Manual de prácticas de laboratorio de farmacognosia y fitoquímica 2008. Universidad De Antioquia.
16. MATARA, D.N.; NGUTA, J.M.; MUSILA, F.M.; MAPENAY, I.; ALI, H.M.; OMAMBIA, V.M. 2021. Botanical description, ethnomedicinal uses, phytochemistry and pharmacological effects of *Croton dichogamus* Pax (Euphorbiaceae). *The Journal of Phytopharmacology*. 10(1):42-47.
17. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL, MINSALUD. 2018. Análisis de situación de salud (ASIS). Disponible desde Internet en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDENS/ED/PSP/asis-colombia-2018.pdf> (con acceso 25/02/2018)
18. MORÓN RODRÍGUEZ, F.J.; GUERRERO JÁCOME, R.O.; VICTORIA AMADOR, M. DEL C. 2007. Plantas medicinales caribeñas con potencialidad para inhibir la agregación de las plaquetas. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 12(2).
19. NOUMEDEM, J.; DE DIEU TAMOKOU, J.; NGO TEKE, G.; MOMO, R.; KUETE, V.; KUIATE, J.R. 2013. Phytochemical analysis, antimicrobial and radical-scavenging properties of *Acalypha manniana* leaves. *SpringerPlus*. 2:503.
20. OBERREUTER, G.; SILVA, N.; CABA, S.; MORALES, M.; NIETO, E.; GUEVARA, C. 2014. Accidente cerebrovascular isquémico en pacientes con trombo intracavitario: Experiencia con tratamientos distintos en fase aguda. *Revista Médica de Chile*. 142(9):1200-1204. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872014000900015>
21. OBSERVATORIO NACIONAL DE SALUD, ONS. 2013. Enfermedad cardiovascular principal causa de muerte en Colombia. Boletín técnico Observatorio Nacional de Salud No. 1. Disponible desde Internet en: https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Boletines/boletin_web_ONS/boletin1.html (con acceso 18/04/2020).
22. ONOCHA, P.A.; OLOYEDE, G.K.; AFOLABI, Q.O. 2011. Chemical composition, cytotoxicity and antioxidant activity of essential oils of *Acalypha hispida* flowers. *International Journal of Pharmacology*. 7(1):144-148. <https://dx.doi.org/10.3923/ijp.2011.144.148>
23. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. 2015. Enfermedades cardiovasculares. Disponible desde Internet en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheet/fs317/es/> (con acceso 18/04/2020).
24. OSARUMWENSE, P.O.; OKUNROBO, L.O. 2013. Phytochemical Screening and the Antimicrobial Properties of *Acalypha hispida* Burm. F. (Euphorbiaceae). *African Journal of Pharmaceutical Research & Development*. 5(1):36-39.
25. OSONIYI, O.; ONAJABI, F. 2003. Coagulant and anticoagulant activities in *Jatropha curcas* latex. *Journal of*

- Ethnopharmacology. 89 (1):101-105.
[https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(03\)00263-0](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(03)00263-0)
26. PALOMO, I.; MUÑOZ, B.; RETAMALES, E.; HIDALGO, P.; PANES, O.; ARTIGAS, C.; PEREIRA, J. 2009. Estudio de laboratorio de las enfermedades hemorragiparas. En: Palomo, L.; Pereira, J.; Palma, J. (eds). Hematología, fisiopatología y diagnóstico. Ed. Universidad de Talca. p.310-319.
 27. PAYO HILL, A.; DOMINICIS, M.E.; MAYOR, J.; OQUENDO, M.; SARDUY, R. 2001. Tamizaje fitoquímico preliminar de especies del género *Croton* L. Revista Cubana de Farmacia. 35(3):203-206.
 28. ROCHA, H.A.O.; FARIAS, E.H.C.; BEZERRA, L.C.L.M.; ALBUQUERQUE, I.R.L.; MEDEIROS, V.P.; QUEIROZ, K.C.S.; LEITE, E.L. 2004. Polissacarídeos sulfatados de algas marinhas com atividade anticoagulante. Infarmacia-Ciencias Farmacéuticas. 16(1-2):82-87.
 29. SIRAJ, M.A.; SHILPI, J.A.; HOSSAIN, M.G.; UDDIN, S.J.; ISLAM, M.K.; JAHAN, I.A.; HOSSAIN, H. 2016. Anti-inflammatory and antioxidant activity of *Acalypha hispida* leaf and analysis of its major bioactive polyphenols by HPLC. Advanced Pharmaceutical Bulletin. 6(2):275-283.
<https://dx.doi.org/10.15171/apb.2016.039>
 30. SOTO VÁSQUEZ, M.R. 2015. Estudio fitoquímico y cuantificación de flavonoides totales de las hojas de *Piper pellatum* L. y *Piper aduncum* L. procedentes de la región Amazonas. In Crescendo. Institucional. 6(1):105-116.
 31. TERÁN PORTELLES, E.C.; CUÉLLAR CUÉLLAR, A.; SALAS OLIVET, E.; PARDO ANDREU, G.L. 2019. Toxicidad aguda del extracto hidroalcohólico de *Croton wagneri* Müll. Arg. (mosquera) y su efecto irritante sobre la mucosa bucal. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 24(2):e791.
 32. TREJO I., C. 2004. Anticoagulantes: Farmacología, mecanismos de acción y usos clínicos. Cuadernos de cirugía. 18(1):83-90.
 33. WARDOYO, E.R.P.; RACHMAWATI, U.H.; KURNIATUHADI, R. 2021. Phytochemical analysis and antifungi activity of methanol extract of *Acalypha hispida* Burm. F. flower against to *Candida albicans* (Y116). Journal of Physics: Conference Series. 1940(2021):012056.
<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1940/1/012056>
 34. WARKENTIN, T.E.; LEVINE, M.N.; HIRSH, J.; HORSEWOOD, P.; ROBERTS, R.S.; GENT, M.; KELTON, J.G. 1995. Heparin-induced thrombocytopenia in patients treated with low-molecular-weight heparin or unfractionated heparin. The New England Journal of Medicine. 332(20):1330-1336.
<https://doi.org/10.1056/nejm199505183322003>
 35. ZAMORA-GONZÁLEZ, Y. 2012. Pruebas del coagulograma y componentes de la hemostasia. Utilidad para diagnosticar las diátesis hemorrágicas. Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia. 28(2):141-150.



Social determinants of health and community assets: Their importance for context analysis

Determinantes sociales de la salud y activos comunitarios: importancia para el análisis de contexto

Carolina Gallego-Osorio¹; Diana Paola Betancurth-Loaiza²; Consuelo Vélez-Álvarez³

¹Nurse, M.Sc. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia; e-mail: nacarolinagallego@gmail.com;  <https://orcid.org/0000-0002-0294-7818>

²Nurse, M.Sc. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia; e-mail: diana.betancurth@ucaldas.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0001-7620-2336>

³Nurse, Specialist, Ph.D. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia; e-mail: consuelo.velez@ucaldas.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0001-7274-7304>

How to cite: Gallego-Osorio, C.; Betancurth-Loaiza, D.P.; Vélez-Álvarez, C. 2021. Social determinants of health and community assets: Their importance for context analysis. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 24(2):e1633. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1633>

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

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

Received: July 8, 2020

Accepted: September 9, 2021

Edited by: Helber Adrian Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Public health, from alternative perspectives on the approach to positive health, seeks to overcome the deficit in recognizing the resources possessed by people and their communities as proposed in the Salutogenesis assets model. Therefore, this paper aims to establish the relationship between the Social Determinants of Health (SDH) and community assets. A two-stage sequential transformative mixed methods design, quantitative and qualitative, was used. Family files, mapping techniques, interviews, and participant observation were used as instruments. Older adults, women, and leaders have a history that creates opportunities based on education, work, and potential, developed individually or by coexistence between the same families and in the neighborhood. The SDH and community assets converge in the understanding of the territory as a social, historical, and eco-environmental space. There, the macro-policies are reflected, sometimes isolated from people's perceived, conceived, and lived spaces. In the construction of a healthy life, the main elements are people and their relationships. It is in this context that their talents, skills, and abilities are discovered. The results show a bilateral relationship

between community assets and the SDH to understand the health-disease process. While the determinants focus on external conditions, risk, and vulnerability, depending on the disease, the assets do so in a positive health perspective that strengthens the resources of people and their communities. In this sense, they complement each other.

Keywords: Geographic mapping; Health resources; Primary health care; Salutogenesis; Social determinants of health.

RESUMEN

La salud pública, desde miradas alternativas con acercamiento a la salud positiva, busca superar el déficit para reconocer los recursos que tienen las personas y sus comunidades, a partir de la Salutogénesis - Modelo de activos. Así, pues, el escrito establece la relación de los determinantes sociales de la salud (DSS) y los activos comunitarios. Se utilizó un diseño mixto transformativo recurrente con dos fases: cuantitativa y cualitativa. Como instrumentos, las fichas familiares, técnicas cartográficas, la entrevista y la observación participante. Los adultos mayores, mujeres y líderes poseen una

historia que crea oportunidades basadas en la educación, el trabajo y sus potencialidades, desarrolladas individualmente o por la convivencia entre las mismas familias y el barrio. Los DSS y los activos comunitarios convergen en la comprensión del territorio, como un espacio social, histórico y ecoambiental. Allí, se reflejan las macro políticas, en ocasiones aisladas de los espacios percibidos, concebidos y vividos de las personas. En la construcción de una vida sana, los principales elementos son las personas y sus relaciones; en ese contexto, se descubren sus talentos, las habilidades y las capacidades. Los resultados evidenciaron relación bilateral entre los activos comunitarios y los DSS, para comprender el proceso salud-enfermedad; mientras los determinantes se centran en condiciones externas, de riesgo y de vulnerabilidad en función de la enfermedad, los activos lo hacen en una mirada de salud positiva, que fortalece los recursos de las personas y sus comunidades. En este sentido, se complementan de manera recíproca.

Palabras clave: Mapeo geográfico; Recursos en salud; Atención primaria de salud; Salutogénesis; Determinantes sociales de la salud.

INTRODUCTION

The human's quest for their own well-being and that of others draws them to exploit different sciences and/or disciplines that lead to a knowledge of themselves and their internal and external circumstances. These link them with the way they live (Betancourt *et al.* 2009). The Social Determinants of Health (SDH), defined by the World Health Organization (WHO) as “the circumstances in which people are born, grow, live, work and age, including the health system” (OMS, 2008), are the axis to understand the causes of inequalities. From this position, the importance of the social context is evident, since human situations are articulated there; hence, communities are responsible for intervening in the definition of their needs, to become actively involved and transform (Spinelli, 2016).

In the public health framework, advancing on the SDH requires reading the living conditions based on the probability of the occurrence of the disease or vulnerability in a population -a specific geographic area-, as well as a scalar look towards the micro-territories. In this respect, Molina Jaramillo (2018) states that “on the stage of local territories and in the daily places of life is where the ways of living, getting sick, and building health are specified.” In this way, the relationship of the subject with the territory becomes relevant, that is, it is worth claiming the idea of territories as living spaces for the “social co-construction derived from culture” (Montes Gallego *et al.* 2016).

Territorial wealth is given by neighborhood relationships, the spaces and moments that are shared and developed in everyday life, perceptions, senses, skills, talents, values, popular knowledge, and abilities. Together, they constitute the community assets of the neighborhood and allow its development (Betancurth Loaiza *et al.* 2020).

Fernández Campos *et al.* (2016) assert that an asset for health is any “factor or resource that enhances the individuals’, communities’ and populations’ capacity to maintain health and well-being.” This is based on the theory of Salutogenesis, which includes, among other concepts, the Sense of Coherence and the Generalized Resistance Resources (Escobar-Castellanos *et al.* 2019). The first relates to the meaning of life; the second denotes those resources that help the individual overcome adversity.

On the other hand, it is the uniqueness of the communities that complicates the construction of public policies and health programs that can identify the needs and the Generalized Resistance Resources. Thus, the territories must be approached from two angles: the needs and the strengths perceived by individuals, families, and populations (Caballero Reyes & Álvarez Munder, 2021).

The customs and beliefs of these territories can be the starting point to design strategies that redirect health care focused on a biomedical model. Consequently, global actions in terms of politics and regulations that seek to overcome inequality and inequity must be directed towards understanding the different ways of life that communities traditionally have and that are generally overlooked (Franco-Giraldo, 2020).

Recent studies, such as those of Cofiño *et al.* (2016) and Molina-Betancur *et al.* (2021) have investigated asset mapping in vulnerable neighborhoods within the framework of participatory community intervention to face life challenges through the agency of collective ability.

Meanwhile, Iglesias Guerra *et al.* (2018) specify the need to reorient the determinants of health, “the causes of causes”, to revitalize interventions in health promotion and community health, which requires reflecting on the substrate. In this case, this would be the resources, the why, what for, how, when, with what individuals, with what groups, and what efforts are made by governance and for the training of human talent.

Thus, the following questions arise: How can the perspective of health promotion be connected to that of the SHD? And how can these interactions be established? Consequently, the present document aims to establish the relationship between the SDH and community assets in a Caldas municipality.

MATERIALS AND METHODS

A mixed exploratory investigation was carried out with a sequential transformative design according to the classification of Hernández Sampieri *et al.* (2014), with two investigative stages: qualitative and quantitative. The qualitative perspective provides tools to approach the interpretative richness and contextualization of a phenomenon. It is an integral process that encompasses the study of subjects’ perceptions of reality within a space and a context (Cedeño-Suarez, 2001). The quantitative component brings researchers closer to the objective reality (Hernández Sampieri *et al.* 2014).

Population and analysis unit: For the quantitative phase, the SDH data used were taken from a process already carried out by the municipal mayors that consisted of a visit by health personnel to all the homes of Caldas. Through the completion of a document called a family file, different variables were obtained that provide information on the structural and intermediate SDH. Therefore, the studied population consisted of the total family files, duly completed and validated; there were 72 for neighborhood A and 57 for neighborhood B (information provided by the Social Observatory of the Caldas Territorial Health Directorate).

The qualitative phase involved the families of two neighborhoods in the municipality of Neira, Caldas, who voluntarily participated in the study, and with whom the assets were identified through social mapping, including collective mapping, open interviews, and participant observation.

Techniques: Analysis of the SDH described in the family files, and mapping techniques. These techniques promote participatory work by creating maps with the collective construction of the communities, where community assets with cultural, social, and emotional characteristics, among others, are reflected on paper (Fernando & Giraldo, 2016).

Instruments: The family file, containing 68 variables, was analyzed to establish the SDH of the families in the neighborhoods of interest. For the analysis of the assets, the following were considered: 31

field diaries providing information from the first to the last visit to the neighborhoods, describing their physical characteristics, and transcribing the interviews that were carried out with the different participants to build preliminary and emerging categories through the ATLAS.ti 7.0 program licensed by the University of Caldas. Additionally, an interview guide or guide to questions asked in the integration activities was used. Some of the questions included were: What is good about the place where you live? What can you do to improve life in your community? What are the characteristics or elements that stand out in the neighborhood? Furthermore, a map of the neighborhoods of the participating communities was drawn up, consisting of a sketch of the physical space of the streets and houses, as well as the economic, educational, and recreational resources of the neighborhoods. The location of the resources reflected there was corroborated with the people from the neighborhoods.

Inclusion criteria: The two neighborhoods were selected for the similarity of the family risk they presented at the time of the investigation. This risk was calculated by the Social Observatory of the Territorial Health Directorate of Caldas, which gave a score of 0 or 1 resulting from adding the 68 SDH that were either present or absent and could be seen on said platform in each family file registered in the system. The most relevant SDH can be seen in table 1 and table 2 with their respective percentages. Neighborhood A had a risk of 0.8 and B of 0.7.

Table 1. Prioritized structural determinants of neighborhoods A and B in a Caldas municipality.

Social Determinant	Category	La Castellana	Percentage (%)	La Variante	Percentage (%)
Families	Family files	57	44.18	72	55.82
Socioeconomic stratum	1	13	22.8	19	26.4
	2	17	29.8	50	69.4
	3	16	28.1	3	4.2
	No data	11	19.3	0	0
Gender	Male	32	56.1	46	63.9
	Female	25	43.9	26	36.1
Age group	Young women 18–28 years	1	1.8	5	6.9
	Young men 18–28 years	2	3.5	7	9.7
	Men 29–59 years	24	42.1	27	37.5
	Women 29–59 years	19	33.3	10	13.9
	Seniors > 60 years	11	19.3	23	31.9

Source: Compiled from data obtained from the Caldas Social Observatory.

Table 2. Prioritized intermediate determinants of the La Variante and Castellana neighborhoods in Neira.

Social Determinant	Category	La Castellana	Percentage (%)	La Variante	Percentage (%)
Families	Family files	57	44.18	72	55.82
Housing status	Good	49	86	67	93.1
	Regular	6	10.5	4	5.6
	Bad	2	3.5	0	0
	No data	0	0	1	1.4
Health insurance	Contributory	27	47.4	22	30.6
	Subsidized	30	52.6	50	69.4
	Poor unaffiliated	0	0	0	0
Scholarship	None	2	3.5	1	1.4
	Incomplete primary	8	14	11	15.3
	Complete primary	11	19.3	12	16.7
	Incomplete secondary	12	21.1	12	16.7
	Complete secondary	17	29.8	18	25
	College	1	1.8	0	0
	Postgraduate	1	1.8	0	0
	No data	5	8.8	18	25
Work	NO	29	50.9	43	59.7
	YES	28	49.1	29	40.3
Marital status	Single	9	15.8	18	25
	Married	14	24.6	12	16.7
	Free Union	17	29.8	14	19.4
	Widower	4	7	3	4.2
	No data	13	22.8	25	34.7
Housing type	House/apartment	43	75.4	64	88.9
	Room	5	8.8	8	11.1
	No data	9	15.8	0	0
Housing status	Own (paying)	3	5.3	3	4.2
	Rent	29	50.9	39	54.2
	Own (paid)	18	31.6	21	29.2
	Other	7	12.3	9	12.5

Source: Compiled from data obtained from the Caldas Social Observatory.

Participants had to belong to the families of the two neighborhoods, they had to have been permanent residents for two years or more, be over 15 years of age, and they had to voluntarily agree, through the signing of the informed consent and assent (underage), to be involved in the activities of the qualitative phase. Those with any type of evident cognitive impairment and/or who represented a risk to the other participants, acted aggressively, or had a history of quarrels and thefts within the neighborhoods were excluded.

Procedure: Three-phase design—a descriptive phase for the analysis of the SDH registered in the family files of the studied

neighborhoods, a qualitative phase using cartographic techniques, and, finally, an analytical phase that contrasted the results of the two initial phases in the two studied neighborhoods.

Methodological phases description

Phase 1. Quantitative: Preparation and contextualization: The phase began with a visit by the researchers to the two neighborhoods to explain the project to the local authorities and community leaders or people with knowledge of the neighborhoods involved where they were given information on the objective of the investigation

and the wish to hold regular meetings to learn about the different characteristics of these scenarios.

Data collection: To obtain data on the families' SDH, information was taken from the family files recorded by the Observatory of the Territorial Directorate of Health of Caldas. With the proper permits from these institutions, the platform was accessed to obtain the variables from each family file. The information was then exported to the statistical program SPSS 20.0, licensed by the University of Caldas.

Phase 2. Qualitative Fieldwork: Survey of the neighborhood and the formal and non-formal community leaders for rapprochement with the groups through neighborhood walks, which are part of the rapid participatory diagnosis technique. Descriptions of the historical, cultural, and social characteristics of these spaces, the dynamics of life, and the neighborhood relationships were obtained through meetings with members of the community, using the guide to questions. Moreover, visits were made to institutions such as the municipal hospital and the Mayor's Office (Ministry of Health and Planning), and analysis was conducted of government documents such as Neira's Health Situation Analysis.

Visits were made once a week for 16 months in both neighborhoods. The examination of the community assets was conducted through tours of the neighborhoods, reaching out to families, community leaders, and individuals from these places, who later attended the meetings to recognize and locate the assets through mapping. Once contact was established, strategies were programmed to form a neighborhood group as the study population. This promoted an interrelation involving the social aspects of the neighborhood and, according to the number of participants, organizing and arranging collective community activities.

Phase 3. Relational: In this phase, an analysis was carried out between the SDH and the community assets to identify the possible relationships between them.

Ethical considerations: The study had the endorsement of the ethics committee of the University of Caldas and the informed consent of the participants in compliance with the parameters of the Declaration of Helsinki (WMA, 2008) and Resolution 08430 of 1993 for the Colombian territory (Ministerio de Salud, 1993).

RESULTS AND DISCUSSION

Territory recognition through the social determinants of health

In the studied neighborhoods, the most relevant social determinants were stratification, gender, and age groups, as presented in table 1. Stratification in the context of the study was between 1 (low) and 3 (medium); this data is recorded in the family files. Stratum 2 predominated in both neighborhoods A and B with 69.4 and 29.8 %, respectively. Regarding gender, the most representative was the male. In this regard, it should be noted that gender has

been a social determinant within the framework of a socio-historical construction in which inequalities are generated because women suffer the consequences of a capitalist model that deepens productivity without dignifying the occupation of the organizer of a society that involves the family and social development, which deserves attention in these territories. Delgado Ballesteros (2017) asserts that the condition of the female gender has inequality to the male, which can be called "discrimination, sexism and, among others, as subordination or oppression".

Regarding age in both neighborhoods, the highest percentage was people from 29 to 59 years old. In one neighborhood, a slightly older population was observed, which reflects the heterogeneity of the micro-territories (Table 1). This dynamic is confirmed by the findings of Villegas R. (2017).

As presented in table 2, the highest percentage of schooling in both neighborhoods ranged between incomplete primary and incomplete secondary. In this regard, Arias Larroza (2016) highlights how low schooling is related to a lack of physical resources and employment opportunities that could lead to inequities. In this same sense, Díaz Torres (2017) expresses that education at the right time (childhood and adolescence) becomes a protective factor to prevent social exclusion, both in children and adults. Hence, not achieving success in the educational levels established by society, as found in the present research, limits access to decent work and participation in decision-making because autonomy and socialization are violated as mentioned by Bernal Romero *et al.* (2020) in a systematic review on the influence of education on young people.

The two neighborhoods studied have unemployment figures that exceed 50 % (Table 2). In the tours and home visits, large families were found living in inadequate structures with flaws in roofs and floors, among others, and whose only economic income came from one individual. In this regard, it can be affirmed that the lack of economic resources leads to the loss of autonomy and spaces to interact with other people, factors that can generate individual and collective desolation (Romero Caraballo, 2017).

In both neighborhoods, over 50 % of the population reported not working. In this respect Vélez-Álvarez *et al.* (2015) highlight the importance of considering how work not only provides ways to acquire economic resources for better access to housing, food, clothing, and education, among others, but also has an existential meaning for the person involved - it generates power, satisfaction, and a sense of self-fulfillment. According to Gumà *et al.* (2019) these consequences are closely related to determinants such as those found in the present study: the condition in which one lives at home (own home 30 %), schooling (over 60 % have minor or no studies) and health insurance status.

Knowledge of the conditions in which people live, through the SDH characterization, requires the targeting of interventions in specific areas (educational, social, economic, and political) with consequent transformations. This can only be achieved through government actions —macro-contexts— to guarantee opportunities related

to tracer social determinants, such as employment (Berenguer Gouarnaluses *et al.* 2017).

Neighborhood community assets: generalized resistance resources

Figure 1 shows that in the neighborhoods studied there were resources (human, physical, and institutional) that confirmed the understanding of health as an interaction of internal and external characteristics. Consequently, these communities developed their daily lives not only through risk, but, at the same time, from the assets specified as Generalized Resistance Resources that allow us to understand how people can overcome adversity by leading a coherent, structured, and understandable life.

According to the results of this study, community assets are concentrated in three large groups: 1) people's resources (cultural resources and popular knowledge), 2) the physical resources of the neighborhood (structural resources of the area and economic

resources) and 3) institutional resources (formal and informal associations and organizations). The emergent analysis found that these resources can be classed as one category with three subcategories, as follows (Figure 1):

The territory—a social construct mediated by support relationships, the leadership of older adults, spaces for coexistence, subsistence, and institutional support

People's resources: "Caring for others". Some inhabitants immediately denied any positive characteristics of the neighborhood, at least in response to direct inquiry. However, when asked how they contribute to their coexistence, supportive relationships predominated. These are created through caring for others and companionship in difficult situations such as death, a deeply rooted cultural expression. The sharing of food and clothing with the neediest of the neighborhood stands out, also the sharing of talents, and prayer as a contribution to the collective well-being and the leadership of the older women.

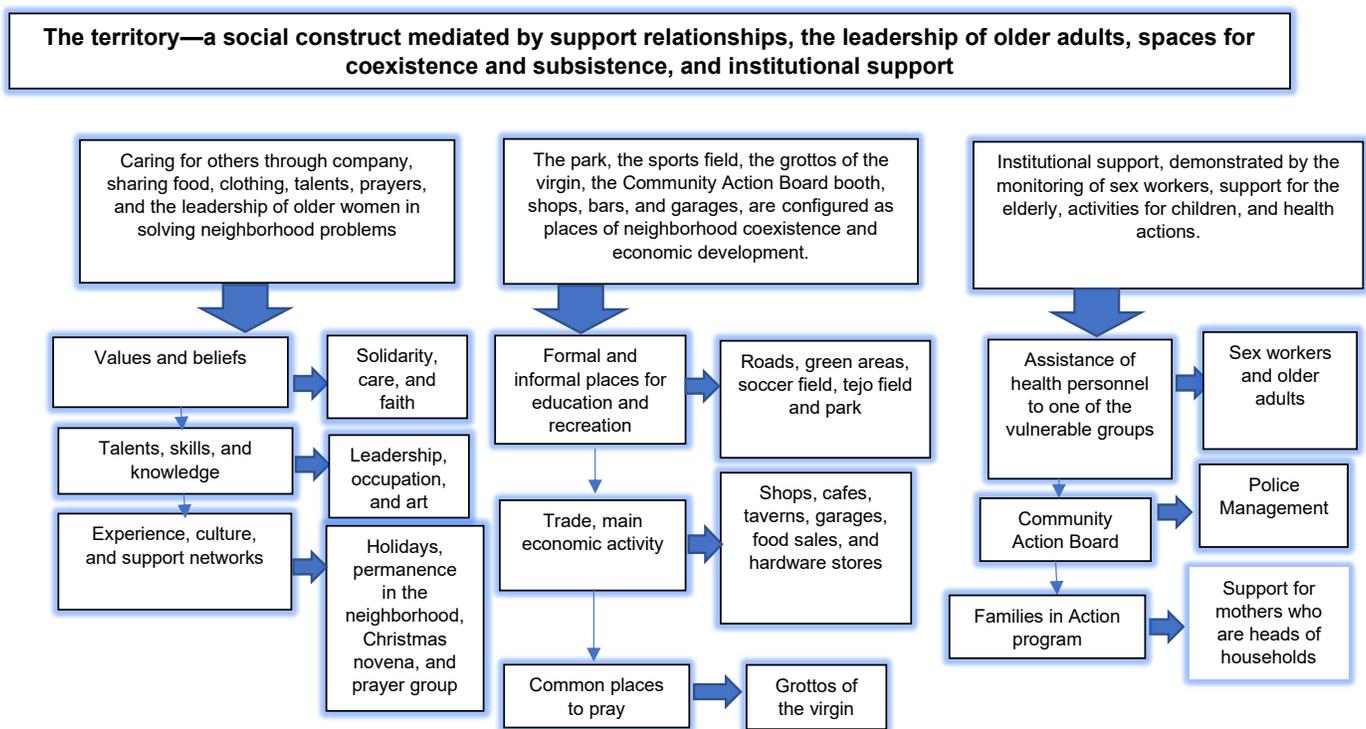


Figure 1. The territory - a social construct mediated by support relationships, the leadership of older adults, spaces for coexistence and subsistence, and institutional support.

The collective neighborhood experiences made up the starting point for strengthening the support network. In this sense, the celebration of neighborhood events keeps alive the customs of sharing and making talent visible:

1.3 NB1: "We all attend the band contest that is held every year."

This act of participating in different ways can be the means to an end (to achieve goals and objectives). Thus, participation can be understood to strengthen gregariousness and, in an emergent way, as a characteristic that is woven to demonstrate a community impact (Gatti *et al.* 2001) in which the people possess and develop abilities, as stated by Rivera de Ramones (2019), that allow the neighborhood to develop new ways of coexistence and even political interaction.

Older adults were recognized for their commitment, solidarity, and, particularly, their leadership. They dedicated a large part of their time to solving neighborhood problems, and, in addition, they prayed every day for the safety and health of the families in the neighborhood. The participation of this population occurred because they have lived in their own homes in this neighborhood for decades. This fortified the history and knowledge of the territory of which they are part.

The role of women and older women stands out. In the history of women in different contexts, this important work of care management is not visible, but over the year's women have re-established the construction of political groups to meet the needs of households, as mentioned by Vega Solís *et al.* (2018), when analyzing the political participation of women and how they are at the forefront of collective processes such as collective kitchens, solidarity economies, and community mothers.

The neighborhood physical resources: The park, the field, the caves of the virgin, the Community Action Board (JAC) booth, shops, bars, and mechanical workshops, are configured as places of neighborhood coexistence and economic development.

Participants identified places in their neighborhood as special, considering that they provide neighborhood identity and ownership. For example, recreational and sports spaces promoted the children's interaction, the JAC booth and the sports field were areas of participation, the prayer grottos promoted unity and were perceived as protection for the neighborhood, while the economically dynamic areas were decisive for establishing greater opportunities for coexistence and strengthening the abilities of the groups (Molina-Betancur *et al.* 2021).

1.8 NB2: "Places of prayer such as the Virgin grottos are embellished with flowers, candles, and photographs that allude to our faith in the Virgin Mary."

Public physical spaces make up a meeting and relationship resource, and parks, fields, grottos, and green areas also become a source to continue weaving the history of the neighborhoods, how they are appropriated, and how the population visualizes their own space to carry out health promotion actions beyond hospitals, as expressed by Berroeta *et al.* (2016): "Significant public spaces are those where people establish a connection between their personal life and the place; it is an interactive process that evolves over time and affects both users and spaces."

Institutional resources: The institutions' accompaniment demonstrated in the monitoring of sex workers, support for the elderly, activities for children, and health actions.

The institutions were internally and externally constituted to respond to social and economic needs to favor local development. In the neighborhoods, there was evidence of formal and informal organizations that promote education, social management (Families in Action) and health care (monitoring of diseases of public health

concern, vaccination) in the community.

Differences were also perceived between neighborhoods: Only one had a JAC, which may be related to the availability of greater physical resources since an organized board becomes an important factor for local development as expressed by Sánchez Castañeda & Vargas Prieto (2017). So much so, that the institutional framework provides a support network for the search for solutions to problems. The strategy is to create networks with government entities, organizations, and foundations that can support the leaders and the inhabitants of the neighborhoods with economic and social capital.

Relevant to the leadership of the people who live in the neighborhoods, it was found that the JAC leader manages the police support in the neighborhood to control crime, as well as providing counseling during children's day and Christmas celebrations, traditional dates of great joy for the entire population, particularly children.

The Social Determinants of Health and community assets in the study population: The convergence of both for understanding the territory

For this analysis, the life characteristics (SDH) of the people in the study neighborhoods were crossed with the presence or absence of the assets. A table with the following characteristics was made: 35 variables extracted from the family file for each neighborhood were located on the X-axis, including housing conditions (access to public services, overcrowding, presence of vectors), socioeconomic status, access to health consultations for health promotion and disease prevention. On the Y-axis, there were 18 subcategories corresponding to the resources of the subjects, the physical, cultural and economic associations among them, power, passion, time, influence, experience, talent, care, leadership.

The presence or absence of a certain resource was assigned to each variable with a number.

The intermediate health determinants were contrasted with housing conditions, health care attendance, level of schooling, work, chronic non-communicable diseases, and lifestyle habits. The socioeconomic stratum and access to public services were correlated with money and the physical resources of the neighborhood. The economy was revitalized with physical structures and places for commerce. Those in charge of these helped to strengthen micro-enterprises, supported independent workers, and gave easy access to basic family needs.

On the other hand, it was found that the attendance at medical consultations was linked to experience and care, with older adults showing more care actions. This is possibly due to the burden of disease they have accumulated, given that they perceive that adequate health conditions provide a better quality of life. The schooling level and work were the variables associated with a

greater number of community assets, so they were reflected in such resources as passion, experience, talent, abilities, knowledge and time.

Finally, health promotion and disease prevention activities are described as are lifestyle habits (smoking, consumption of alcohol and psychoactive substances, and physical exercise) and activities for the prevention of breast and cervical cancer. In these, the resources of the subjects, the neighborhood, and the associations are present or absent.

According to the SDH and assets relationship, it is necessary to identify the circumstances that allow people to face adversities and/or risks - exposure factors. One example is recreation, Romero Barquero *et al.* (2016) describe how recreational and integration processes can help overcome negative feelings and situations. In the studied neighborhoods, there is evidence that physical resources (economic, locational), people's resources and their interactions (passion, power, experience, care, talent, among those described in the results), and the resources of the institutions were assets that were linked to the conditions in which people live.

By making use of the internal resources they possess, resilience and self-confidence among others, people can change circumstances and begin to develop other resources that they did not know they possessed, such as leadership, love of art, and caring for themselves, as mentioned by Satorres Pérez *et al.* (2019) in their study of community assets to improve health in the city of Alicante.

Sánchez Marimón (2017) correlated the ten abilities with the assets, given the close influence of the talents of people with the resources they have and which they develop at the neighborhood and community levels. In summary, the SDH and community assets converge in the understanding of the territory as a social, historical, and eco-environmental space. There, undoubtedly, the macro-policies of governments are sometimes isolated from people's perceived, conceived, and lived places (Molina Jaramillo, 2018).

Consistent with the results of the present study, in other South American countries, such as Chile, (Vidal Gutierrez *et al.* 2014), Argentina (Bertolotto *et al.* 2012) and Bolivia and Brazil (García-Ramírez & Vélez-Álvarez, 2013), programs and studies have been conducted that conclude that focusing on the abilities, talents, strengths, and ancestral customs built through the close ties of the neighborhood or suburb, reduces the situations that put the health of the community at risk, in addition to enhancing the independence and autonomy of people who exercise power over their quality of life.

In this research, using the knowledge of the SDH and the identification of community assets, it was possible to better detail the communities' ways of life. The educational level, the work, and the potential of the subjects and the neighborhood were highlighted as neighborhood and cultural values.

From the findings of this study, it can be concluded that there is a bilateral relationship between the SDH and community assets in the health-disease process. While the determinants focus on external conditions, risk, and vulnerability, depending on the disease, the assets provide a positive health perspective that strengthens the resources of people and their communities. In this sense, they complement each other reciprocally.

Conflicts of interest: The manuscript was prepared and revised by all the authors, who declare the absence of any conflict which could put the validity of the presented results at risk. **Financial support:** Provided by the University of Caldas within the research project Community Health Assets in two municipalities of Caldas within the framework of Primary Health Care.

REFERENCES

1. ARIAS LARROZA, C. 2016. Pobreza en Paraguay: contribución de la educación media en el acceso a las oportunidades para superar la pobreza. *Población y Desarrollo*. 22(43):25-34. [https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2016.022\(43\)025-034](https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2016.022(43)025-034)
2. BERENGUER GOUARNALUSES, M. DEL C.; PÉREZ RODRÍGUEZ, A.; DÁVILA FERNÁNDEZ, M.; SÁNCHEZ JACAS, I. 2017. Determinantes sociales en la salud de la familia cubana. *MEDISAN*. 21(1):61-73.
3. BERNAL ROMERO, T.; MELENDRO, M.; CHARRY, C.; GOIG MARTÍNEZ, R. 2020. La influencia de la familia y la educación en la autonomía de los jóvenes: una revisión sistemática. *Bordon. Revista de Pedagogía*. 72(2):29-44. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2020.76175>
4. BERROETA, H.; VIDAL, T.; DI MASSO, A. 2016. Usos y significados del espacio público comunitario. *Rev. Interamericana de Psicología*. (Puerto Rico). 50(1):75-85.
5. BERTOLOTTI, A.; FUKS, A.; ROVERE, M. 2012. Atención Primaria de Salud en Argentina: proliferación desordenada y modelos en conflicto. *Saúde debate*. 36(94):362-374.
6. BETANCOURT, Z.; TORRES, M.; NOBOA, H.; BETANCOURT, O.; SEMPÉRTEGUI, R.; RODRÍGUEZ, M.; OPS/OMS; HERMINDA, C. UNIVERSIDAD DE CUENCA. 2009. *La salud y la vida*. Imprenta Noción (Ecuador). p.142.
7. BETANCURTH LOAIZA, D.P.; VÉLEZ-ÁLVAREZ, C.; SÁNCHEZ PALACIO, N. 2020. Cartografía social: construyendo territorio a partir de los activos comunitarios en salud. *Entrenando*. 16(1):138-151.
8. CABALLERO REYES, C.M.; ÁLVAREZ MUNDER, L. 2021. Problemas comunitarios y alternativas de solución: un acercamiento a San Antonio de los Baños, Cuba. *Revista*

- Puertorriqueña de Psicología. 31(2):268–282.
9. CEDEÑO-SUAREZ, M.E. 2001. Aportes de la investigación cualitativa y sus alcances en el ámbito educativo. Rev. Electrónica “Actualidades”. (Costa Rica). 1:1-24.
 10. COFIÑO, R.; AVIÑÓ, D.; BENEDE, C.B.; BOTELLO, B.; CUBILLO, J.; MORGAN, A.; HERNÁN, M. 2016. Promoción de la salud basada en activos: ¿cómo trabajar con esta perspectiva en intervenciones locales? *Gaceta Sanitaria*. 30:93-98.
<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.06.004>
 11. DELGADO BALLESTEROS, G. 2017. Construcción social del género. En: Latapí Ortega, D. (ed.). *Construir caminos para la igualdad: educar sin violencias*. Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México). p.23–60.
 12. DÍAZ TORRES, J.M. 2017. Exclusión social y educación superior: la respuesta pedagógica. *Educação & Formação*. 2:3-16.
 13. ESCOBAR-CASTELLANOS, B.; CID-HENRÍQUEZ, P.; JUVINYÀ CANAL, D.; SÁEZ-CARRILLO, K. 2019. Estilo de vida promotor de salud y sentido de coherencia en adultos jóvenes universitarios. *Hacia La Promoción de La Salud*. 24(2):107–122.
<https://doi.org/10.17151/hpsal.2019.24.2.9>
 14. FERNANDO, D.; GIRALDO, B. 2016. Cartografía social pedagógica: entre teoría y metodología. *Rev. Colomb. Educ.* 70:247-285.
 15. FERNÁNDEZ CAMPOS, M.A.; MAÑAS UXÓ, M.I.; GARZÓN FERNÁNDEZ, A. 2016. Capítulo 131. El modelo de activos, clave para la mejora de la salud y el bienestar en la adolescencia. En: González-Jiménez, A.J.; López-Martínez, M.J.; Zapata-Boluda, R.M.; Cala, V.C. (eds.). *Investigación educativa y salud transcultural en contextos multiculturales*. Editorial Universidad de Almería.
 16. FRANCO-GIRALDO, Á. DE J. 2020. Configuraciones , modelos de salud y enfoques basados en la Atención Primaria en Latinoamérica , siglo XXI. Una revisión narrativa. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*. 19:1-22.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgps19.cmse>
 17. GARCÍA-RAMÍREZ, J.A.; VÉLEZ-ÁLVAREZ, C. 2013. América Latina frente a los determinantes sociales de la salud: Políticas públicas implementadas. *Revista de Salud Pública*. 15(5):731-742.
 18. GATTI, C.E.; VILLALBA, R.D.; MOLINA, R.; ALEGRÍA, H. 2001. Salud y participación comunitaria. *Graphicom*. p.195.
 19. GUMÀ, J.; ARPINO, B.; SOLÉ-AURÓ, A. 2019. Determinantes sociales de la salud de distintos niveles por género : educación y hogar en España. *Gaceta Sanitaria*. 33(2):127–133.
<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.11.010>
 20. HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ COLLADO, C.; BAPTISTA LUCIO, M. DEL P. 2014. *Metodología de la investigación*. McGrawHill (México D.F). p.558.
 21. IGLESIAS GUERRA, J.A.; CASADO VERDEJO, I.; POSTIGO MOTA, S.; BÁRCENA CALVO, C.; GALÁN ANDRÉS, I.; DEL VALLE ANTOLÍN, M.J. 2018. La salud comunitaria basada en activos para la salud. Un modelo que no cala en el quehacer cotidiano. *Revista de Enfermería CyL*. 10(1):17-22.
 22. MINISTERIO DE SALUD. 1993. Resolución número 8430 de 1993. Santafé de Bogota D.C. Disponible desde Internet en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF> (con acceso el 14/06/2020).
 23. MOLINA-BETANCUR, J.C.; AGUDELO-SUÁREZ, A.A.; MARTÍNEZ-HERRERA, E. 2021. Mapeo de activos comunitario para la salud en un asentamiento informal de Medellín (Colombia). *Gaceta Sanitaria*. 35(4):333-338.
<https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.04.012>
 24. MOLINA JARAMILLO, A.N. 2018. Territorio, lugares y salud : redimensionar lo espacial en salud pública. *Rev. Cad. Saúde Pública (Colombia)*. 34(1):1-12.
<https://doi.org/10.1590/0102-311X00075117>
 25. MONTES GALLEGO, C.A.; JAIMES PARADA, Y.P.; AYALA NIETO, A.P.; RODRIGUEZ BRITO, Y.; LLANOS REDONDO, A.; ASCANIO, J.; BLANCO, K.P.; VILLA, F.; HINCAPIE, P.A.; MEJIA, S.; PEREZ, K.; TORRES, A.P.; PORTILLA PORTILLA, E.M.; SOTO CESPEDES, J.C.; RIVERA CAPACHO, E.E. 2016. Determinantes sociales en salud: construcción de conocimiento a través de la cartografía social. *Rev. Signos Fónicos (España)*. 1(3):115-126.
 26. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. 2008. Subsana las desigualdades en una generación. Alcanzar la equidad sanitaria actuando sobre los determinantes sociales de la salud. p.36. Disponible desde Internet en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69830/WHO_IER_CSDH_08.1_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y (con acceso el 14/06/2020)
 27. RIVERA DE RAMONES, E.M. 2019. Camino salutogénico : estilos de vida saludable. *Rev. Digital de Postgrado (Venezuela)*. 8(1):1-16.
 28. ROMERO BARQUERO, C.E.; SAAVEDRA GUAJARDO, E. 2016. Impacto de un programa recreativo en la resiliencia de estudiantes de 7º grado de un colegio primario. *Liberabit*:

- Revista Peruana de Psicología. 22(1):43-56.
<https://doi.org/10.24265/liberabit.2016.v22n1.04>
29. ROMERO CARABALLO, M.P. 2017. Significado del trabajo desde la psicología del trabajo . Una revisión histórica , psicológica y social. *Rev. Psicología desde el Caribe (Chile)*. 34(2):120-138.
30. SÁNCHEZ CASTAÑEDA, J.M.; VARGAS PRIETO, A. 2017. Incidencia de las juntas de acción comunal en el desarrollo local en áreas de influencia de proyectos de hidrocarburos. *Equidad y Desarrollo*. 1(27):195.
<https://doi.org/10.19052/ed.3997>
31. SÁNCHEZ MARIMÓN, E. 2017. Calidad de vida y activos en salud: una intervención salutogénica basada en el enfoque de capacidades para un Desarrollo Humano Sostenible. p.81.
32. SATORRES PÉREZ, M.; PÉREZ SANTOSOLMO, R.; CARRASCOSA GONZALVO, S.; BETANCOR ALONSO, I.; PERIS GARCÍA, J.; GARCÍA MOLINA, C. 2019. Mapeo de activos en el Centro de Salud El Campello (Alicante): descubriendo recursos comunitarios para la mejora de la salud. *Comunidad*. 21(1):4.
33. SPINELLI, H. 2016. Volver a pensar en salud : programas y territorios. *Salud Colectiva (Argentina)*. 12:149-171.
<https://doi.org/10.18294/sc.2016.976>
34. VEGA SOLÍS, C.; MARTÍNEZ BUJÁN, R.; PAREDES CHAUCA, M. 2018. Cuidado, comunidad y común. *Traficantes de Sueños*. p.342.
35. VÉLEZ-ÁLVAREZ, C.; PICO MERCHAN, M.E.; ESCOBAR POTES, M. DEL P. 2015. Determinantes sociales de la salud y calidad de vida en trabajadores informales. *Salud de los Trabajadores (Colombia)*. 23(2):95-103.
36. VIDAL GUTIERREZ, D; CHAMBLAS GARCÍA, I; ZAVALA GUTIÉRREZ, M; MÜLLER GILCHRIST, R; CHÁVEZ MONTECINO, A. 2014. Determinantes sociales en salud y estilo de vida en población adulta de concepción, Chile. *Ciencia y Enfermería*. 20(1):61-74.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95532014000100006>
37. VILLEGAS R., B.J. 2017. Determinantes Sociales de la Salud en la población adulta mayor del barrio San Nicolás de coro. *Revista Gestión I+D*. 2(2).
38. WORLD MEDICAL ASSOCIATION, WMA. 2008. Declaration of Helsinki ethical principles for medical research involving human subjects. *World Medical Association*. (Finlandia). 1-5.



Reporte de pérdidas en el rendimiento de la soja causadas por la mancha anillada (*Corynespora cassiicola* Berk. & Curt.) en la Orinoquia colombiana

Report of soybean yield losses caused by target spot (*Corynespora cassiicola* Berk. & Curt) in the Colombian Orinoquia

Deisy Lorena Flórez-Gómez¹; Samuel Caicedo-Guerrero²; Nathali López-Cardona^{3*}

¹Ing. Agrónoma. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: dlflorez@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-3676-7564>

²Ing. Agrónomo, M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: scaicedo@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0002-5822-5881>

³Ing. Agrónoma, M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad. Villavicencio - Meta, Colombia; e-mail: nlopezc@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0001-8790-9070>

*autor para correspondencia: nlopezc@agrosavia.co

Cómo citar: Flórez-Gómez, D.L.; Caicedo-Guerrero, S.; López-Cardona, N. 2021. Reporte de pérdidas en el rendimiento de la soja causadas por la mancha anillada (*Corynespora cassiicola* Berk. & Curt.) en la Orinoquia colombiana. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1869. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1869>

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

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

Recibido: febrero 17 de 2021

Aceptado: agosto 2 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

INTRODUCCIÓN

En el 2017, al realizar una Prueba de Evaluación Agronómica (PEA) de nuevas líneas de soja (*Glycine max* L.), para la Orinoquia Colombiana, Caicedo-Guerrero *et al.* (2020) reportaron la incidencia de la mancha anillada, en tres localidades de la Altillanura plana para los materiales evaluados. El patógeno fue determinado por López-Cardona *et al.* (2020) como el hongo *Corynespora cassiicola*, siendo el primer reporte de la enfermedad en soja, para la zona en el país. La mancha anillada es una enfermedad foliar común de la soja en los trópicos y subtropicales (Dixon *et al.* 2009). Afecta todos los órganos de la planta, inclusive raíces, pero el síntoma más evidente son lesiones circulares, anillos concéntricos e irregulares,

de color marrón-rojizo, rodeadas por un halo característico de color amarillo en las hojas. En cultivares altamente susceptibles puede causar defoliación prematura (Escobar *et al.* 2019; Sinclair, 1999). El primer reporte de *C. cassiicola* causando mancha anillada en la soja en Colombia, data de hace más de 2 décadas (Buritica-Céspedes, 1999); sin embargo, el patógeno ahora ha reemergido y representa una amenaza.

La mancha anillada, se ha extendido a todas las regiones productoras de soja en Brasil (Godoy *et al.* 2015) e, incluso, en Argentina, donde fue la enfermedad más prevalente, durante la temporada 2014-2015 (De Lisi *et al.* 2016). En el sureste de los Estados Unidos, el hongo resurgió entre el 2004-2005, probablemente, como consecuencia

de los cambios en el patrón climático, la virulencia del patógeno o la introducción de genotipos de soja más susceptibles (Wrather & Koenning, 2006). El objetivo de este estudio fue realizar un registro de pérdidas en el rendimiento, asociadas a la mancha anillada (*C. cassicola*), en cuatro variedades de soja, establecidas en condiciones edafoclimáticas de la Altillanura plana, del departamento del Meta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante marzo a agosto del 2018, se presentó una epidemia de mancha anillada en las variedades de soja: Corpoica Guayuriba 9, BRS 314 y BRS Corisco, Corpoica Achagua 8, establecidas en los lotes de mejoramiento de soja, en la Sede Taluma, del Centro de Investigación la Libertad de AGROSAVIA, ubicada en el kilómetro 91, vía a Puerto Gaitán (4°22'41", latitud Norte; 72°13'25", longitud Oeste; altitud de 175 m s.n.m.). La identidad del patógeno fue corroborada mediante la metodología de López-Cardona *et al.* (2020). Se registró el porcentaje de severidad de la enfermedad en condiciones de inóculo natural, a los 38, 54, 72, 80, 88 y 94 días después de la emergencia (DDE), de acuerdo con la escala diagramática, propuesta por Soares *et al.* (2009) y, posteriormente, se estimó la tasa de infección de la enfermedad (r) y el Área Bajo La Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) (Castaño-Zapata, 2002). En un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con cuatro tratamientos (cuatro variedades) y tres repeticiones y con parcelas de seis surcos (dos de efecto borde y cuatro fueron de parcela útil), de cinco metros de longitud y 0,50 m de distancia entre surcos, como unidad experimental. A partir de la evaluación de cinco plantas por parcela, se calcularon las siguientes variables: índice de carga, medido como la altura desde la superficie del suelo hasta la inserción de la primera vaina y expresada en centímetros; la severidad foliar de la mancha anillada, evaluada a los 82 días después de emergencia, con la escala diagramática de Soares *et al.* (2009); el número de vainas vanas, definida de acuerdo con el número de vainas sin semillas por planta y expresada en número; número de abortos embrionarios, calculada como el número de embriones no desarrollados en el total de vainas por planta y expresada en número; número de vainas totales, determinada por la cantidad de vainas por planta y expresada en número; peso de cien semillas, medida por el peso de cien semillas cosechadas por

parcela y, el rendimiento de grano, calculado a partir del peso del grano por parcela, con 14 % de humedad y expresado en toneladas por hectárea. Los datos obtenidos, se analizaron mediante el procedimiento de Análisis de Varianza -ANOVA-, del programa geoestadístico R Studio® y se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los síntomas causados por el patógeno incluyeron necrosis en tallo, en peciolos y en manchas anilladas en hojas (Figura 1). Para las variedades menos afectadas: BRS Corisco (1,4 % de severidad promedio) y el testigo local Corpoica Achagua 8 (2,0 % de severidad promedio); la enfermedad presentó síntomas típicos solamente en las hojas del tercio inferior hacia el final del ciclo productivo, con una ligera defoliación prematura. Se cálculo de la tasa de infección (r) y el ABCPE, a partir de los registros de la severidad, a los 38, 54, 72, 80, 88 y 94 días después de la emergencia, permitió concluir que la enfermedad se desarrolla con mayor velocidad en la variedad BRS 314 ($r = 1,73$; ABCPE = 514,37), seguida de las variedades Corpoica Guayuriba 9, el testigo local Corpoica Achagua 8 y BRS Corisco (Tabla 1). Se observó que el desarrollo de la enfermedad fue más lento en la variedad BRS Corisco ($r = 1,12$; ABCPE = 35,94), lo que sugiere tolerancia al patógeno, en comparación con las otras variedades evaluadas. La variedad más afectada por la mancha anillada fue BRS 314, cuyos registros de severidad promedio fueron del 52 %, situación que se refleja en el menor rendimiento obtenido de todas las variedades (2,05 t/ha). La variedad menos afectada fue BRS Corisco, con un registro de severidad promedio de 1,4 %, sin afectación de pérdidas en rendimiento. El testigo local Corpoica Achagua 8 y la variedad Corpoica Guayuriba 9, obtuvieron severidades promedio del 2 y 11,53 %, con rendimientos de 2,13 y 2,39 t/ha, respectivamente.

De acuerdo con el análisis de los rendimientos comerciales y los componentes de rendimiento reportados por Caicedo *et al.* (2020) e ICA (2013a, 2013b) y los obtenidos en el ensayo (Tabla 1), la variedad BRS 314 disminuyó la producción de grano en 450 kg/ha, cuando presentó una severidad de la mancha anillada promedio de 52 %, lo que se traduce en una pérdida de rendimiento del

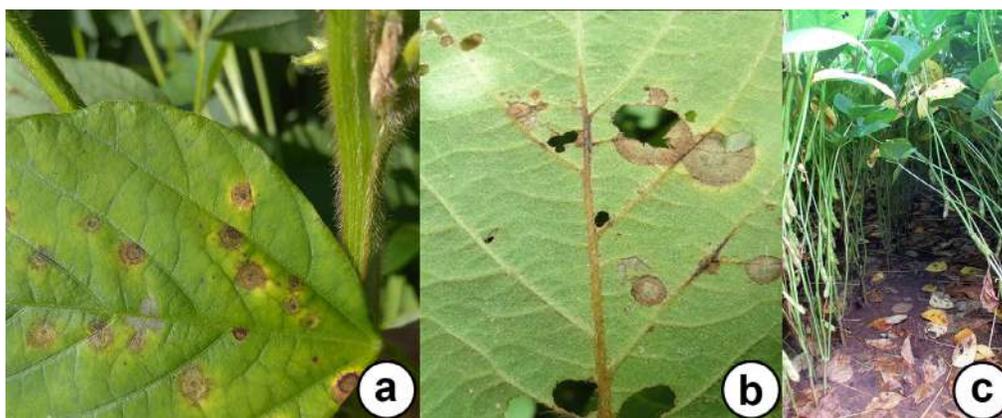


Figura 1. Síntomas de la mancha anillada (*Corynespora cassicola*) en la variedad BRS 314. a. Síntoma típico de manchas anilladas; b. Necrosis de nervaduras; c. Defoliación.

Tabla 1. Área Bajo la Curva del progreso de la mancha anillada (*Corynespora cassiicola*), tasa de infección (r) y variables teóricas asociadas al rendimiento, de cuatro variedades de soja, establecidas en la Sede Taluma, de AGROSAVIA.

Variable	Genotipos			
	BRS 314	BRS Corisco	C. Guayuriba 9	C. Achagua 8 ²
ABCPE ¹	514,37	35,94	217,73	44,14
Tasa (r) de infección	1,73	1,12	1,34	1,31
Rendimiento reportado (ton/ha) ²	2,5	2,6	2,6	2,4
Incremento (+) o decremento (-) en rendimiento (kg/ha) (%)	(-)450(18)	(+)290(11)	(-)210(8)	(-)270(11)
Índice de carga reportado(cm) ³	17,7	14,2	18	20
Incremento (+) o decremento (-) en índice de carga (cm) (%)	(+)3,17(17,9)	(+)2,47(17,4)	(+)0,8(4,4)	0
Hábito de crecimiento ⁴	Indeterminado	Indeterminado	Determinado	Indeterminado

¹/ Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad. ^{2,3}/ Rendimiento comercial e índice de carga reportado por Caicedo *et al.* (2020) en cultivo de soja aparentemente sano en la altillanura plana del departamento del Meta.⁴/ Caicedo *et al.* (2020).

18 %; Corpoica Achagua 8 redujo la producción de grano en 270 kg/ha, cuando presentó una severidad promedio de 2 %, lo que se convierte en una pérdida de rendimiento del 11 % y, por último, Corpoica Guayuriba 9, disminuyó la producción de grano en 210 kg/ha, cuando registró una severidad promedio de 11,53 % e impacto en pérdida de rendimiento del 8 %. Contrario a lo esperado con la variedad BRS Corisco, que presentó, durante todo el ciclo de cultivo, una alta tolerancia a la enfermedad, al presentar valores promedio de 1,4 % de severidad (Tabla 1).

Por otra parte, al analizar los componentes de rendimiento, se observó que todos los materiales, excepto el testigo local C. Achagua 8, tuvieron un incremento en su índice de carga, lo cual, ratifica su adaptación específica a las condiciones de la Altillanura y su bajo grado de afectación por la enfermedad; no tuvo una alteración en la altura de inserción de la primera vaina, por el contrario, se observa que en las variedades BRS 314 y C. Guayuriba 9, la altura

de carga fue mayor, lo que soporta una reducción (17,9 y 4,4 %, respectivamente), en su capacidad de formar vainas a menor altura y, por ende, se ve afectado el rendimiento de dichos materiales. En el caso de la variedad BRS Corisco, igualmente, se detalla un aumento en su índice de carga, en 2,47 cm; sin embargo, el rendimiento no se afectó, dado a que, por su hábito de crecimiento indeterminado, pudo desarrollar nuevas estructuras vegetativas y reproductivas, logrando escapar a la enfermedad.

Por otro lado, los componentes de rendimiento más afectados por la enfermedad fueron el peso de 100 semillas y el número de vainas vanas y la cantidad de abortos embrionarios (Tabla 2). El índice de carga y el número de vainas totales por planta no presentaron diferencias estadísticamente significativas, entre las variedades evaluadas. Se resalta que la variedad BRS Corisco presentó el menor número de vainas vanas y de abortos embrionarios por planta, pero, a su vez, presentó el menor peso de 100 semillas. La

Tabla 2. Comparación de medias de la severidad de la mancha anillada y 6 variables asociadas al rendimiento, en cuatro variedades de soja, establecidas en la Sede Taluma, de AGROSAVIA.

COMPARACIÓN DE MEDIAS ¹						
Variable	Genotipo				Media	C.V (%)
	BRS 314	BRS Corisco	C. Guayuriba 9	C. Achagua 8 ²		
Severidad (%)	52,00 a	1,40 c	11,53 b	2,00 c	16,73	129,07
Rendimiento calculado (ton/ha)	2,05 d	2,89 a	2,39 b	2,13 c	2,37	14,34
Índice de carga (cm)	20,87 a	16,67 a	18,80 a	20,00 a	19,08	30,73
Vainas vanas (n)	1,667 ab	0,533 b	2,667 a	0,930 b	1,45	132,22
Abortos embrionarios (n)	13,40 ab	9,40 b	18,60 a	16,53 ab	14,48	61,1
Vainas totales (n)	89,26 a	68,40 a	95,66 a	63,60 a	79,23	47,44
Peso de 100 semillas (g)	16,47 c	14,22 d	16,96 b	19,29 a	16,74	11,24

¹/Medias con letras iguales en sentido vertical no son estadísticamente diferentes con $p \leq 0,05$ (Tukey). ²/ Testigo local.

variedad C. Guayuriba 9 registró el mayor número de vainas vanas y abortos embrionarios por planta. En cuanto al peso de 100 semillas, el testigo local C. Achagua 8, obtuvo un promedio de 19,3 gramos, a diferencia de la variedad BRS Corisco, cuya media para esta variable fue de 14,2 gramos, resultado que corrobora, nuevamente, la adaptación de la variedad a las condiciones edafoclimáticas de la Altillanura plana. Estos resultados son promisorios y demuestran que el cálculo de este componente de rendimiento es una variable muy importante, que contribuye al entendimiento de la tolerancia de la variedad C. Achagua 8 al ataque de *C. cassiicola*.

Los efectos de la mancha anillada en el rendimiento de la soja han sido reportados en varios estudios con resultados inconsistentes, con informes de ninguna pérdida (Ploper *et al.* 2013), hasta una reducción del rendimiento del 40 %, en otros casos (Sakamoto & Shaw, 1967; Koenning *et al.* 2006; Edwards Molina *et al.* 2019). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente estudio y corroboran los reportes de Koenning *et al.* (2006) y Edwards Molina *et al.* (2019), quienes informan que las diferencias en la afectación del rendimiento son, probablemente, debidas a diferencias en la tolerancia entre las variedades. Los hallazgos obtenidos en el presente estudio demuestran que, en la región de la Altillanura plana colombiana, la mancha anillada, con una severidad entre el 2 al 52 %, puede causar pérdidas en el rendimiento entre el 8 al 18 %, dependiendo de la susceptibilidad de la variedad de soja, convirtiéndose en una enfermedad de importancia económica para el cultivo en Colombia; sin embargo, el ensayo deberá ser replicado en otro semestre productivo de soja, para que los resultados sean validados en la región.

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

REFERENCIAS

- BURITICÁ-CÉSPEDES, P.E. 1999. Directorio de patógenos y enfermedades de las plantas de importancia económica en Colombia. ICA-Universidad Nacional. 229p.
- CAICEDO-GUERRERO, S.; BAQUERO-PENUELA, J.E.; GUEVARA-AGUDELO, E.J.; LOPEZ-CARDONA, N.; TIBOCHA-ARDILA, Y.S.; REYES DIAZ, J.C. 2020. Agrosavia Primavera 11: nueva variedad de soja para suelos mejorados de la altillanura plana y el piedemonte llanero. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Agrosavia. 29p. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403961>
- CASTAÑO-ZAPATA, J. 2002. Principios básicos de fitoepidemiología. Editorial Universidad de Caldas (Manizales, Colombia). 398p.
- DE LISI, V.; REZNIKOV, S.; GÓMEZ PONCE, E.N.; AGUAYSOL, N.; CLAPS, M.P.; BERNAL, M.; CHAVES, S.; VILLAFANE, P.; MARTÍNEZ MONTEROS, M.J.; GONZÁLEZ, M.V.; PLOPER, L.D. 2016. Enfermedades en el cultivo de la soja y su manejo durante la campaña 2015/2016. EEAOC. p.116-124.
- DIXON, L.J.; SCHLUB, R.L.; PERNEZNY, K.; DATNOFF, L.E. 2009. Host specialization and phylogenetic diversity of *Corynespora cassiicola*. *Phytopathology*. 99(9):1015-1027. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-99-9-1015>
- EDWARDS MOLINA, J.P.; PAUL, P.A.; AMORIM, L.; DA SILVA, L.H.C.P.; SIQUERI, F.V.; BORGES, E.P.; BALARDIN, R.S. 2019. Effect of target spot on soybean yield and factors affecting this relationship. *Plant Pathology*. 68(1):107-115. <https://doi.org/10.1111/ppa.12944>
- ESCOBAR, M.; REZNIKOV, S.; BLECKWEDEL, J.; DE LISI, V.; AGUAYSOL, C.; CLAPS, M.; CATALDO, D.; GONZÁLEZ, M.; GÓMEZ, C.; LÓPEZ, E.; MEJAIL, P.; GONZALEZ, V.; LEDESMA, F.; PLOPER, D. 2019. Evaluación del comportamiento de genotipos de soja frente a la mancha anillada (*Corynespora cassiicola*) en el noroeste argentino durante la campaña 2018-2019. El cultivo de la soja en el nordeste argentino. p.99-103.
- GODOY, C.V.; UTIAMADA, C.M.; MEYER, M.C.; CAMPOS, H.D.; FORCELINI, C.A.; PIMENTA, C.B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D.S.; BORGES, E.; DE ANDRADE JUNIOR, E.R.; SIQUERI, F.; JULIATTI, F.C.; FEKSA, H.R.; GRIGOLLI, J.F.J.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L.C.; SILVA, L.H.C.P. DA; SATO, L.N.; CANTERI, M.G.; MADALOSSO, M.; GOUSSAIN, M.; MARTINS, M.C.; BALARDIN, R.S.; FURLAN, S.H.; MONTECELLI, T.D.N.; CARLIN, V.J.; VENANCIO, W.S. 2015. Eficiencia de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2014/15: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Embrapa Soja. 1-6.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 2013a. Resolución 004958 del 28 de noviembre de 2013 “Por la cual se ordena el Registro de la variedad de soja CORPOICA GUAYURIBA 9 de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, en el Registro Nacional de Variedades Comerciales del ICA. 4p.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 2013b. Resolución 004964 del 28 de noviembre de 2013 “Por la cual se ordena el Registro de la variedad de soja CORPOICA ACHAGUA 8 de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, en el Registro Nacional de Variedades Comerciales del ICA. 4p.
- KOENNING, S.R.; CRESWELL, T.C.; DUNPHY, E.J;

- SIKORA, E.J.; MUELLER, J.D. 2006. Increased occurrence of target spot of soybean caused by *Corynespora cassiicola* in the southeastern United States. *Plant Disease*. 90(7):974. <https://doi.org/10.1094/PD-90-0974C>
12. LÓPEZ-CARDONA, N.; GUEVARA, Y.A.; GAÑAN, L. 2020. First report of target spot of soybean caused by *Corynespora cassiicola* in the Colombian Eastern Plains. *Plant Disease*. 105(2):490. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-20-1586-PDN>
13. PLOPER, L.D.; GONZALEZ, V.; DE LISI, V.; REZNIKOV, S.; HENRIQUEZ, D.D.; DEVANI, M.R. 2013. Research on target spot of soybean in northwestern Argentina. In: World Soybean Research Conference IX. (Durban, South África). Disponible desde Internet en: https://www.proteinresearch.net/imgs/wsrc2013/20-February-session-2/409_ploper-ld.pdf (con acceso 05/09/18).
14. SAKAMOTO, C.M.; SHAW, R.H. 1967. Light distribution in field soybean canopies. *Agronomy Journal*. 59(1):7-9. <https://doi.org/10.2134/agronj1967.00021962005900010003x>
15. SINCLAIR, J.B. 1999. Target spot. In: Hartman, G.L. Rupe, J.C.; Sikora, E.J.; Domier, L.L.; Davis, J.A.; Steffey, K.L. (eds.). *Compendium of soybean diseases*. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN. 27p.
16. SOARES, R.M.; GODOY, C.V.; OLIVEIRA, M.C.N. 2009. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha alvo da soja. *Tropical Plant Pathology*. 34(5):333-338. <https://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762009000500007>
17. WRATHER, J.A.; KOENNING, S.R. 2006. Estimates of disease effects on soybean yields in the United States 2003 to 2005. *J. Nematology*. 38(2):173-180.



Aplicación de índices vegetales en café (*Coffea arabica* L.)

Application of vegetable indices in coffee (*Coffea arabica* L.)

Edier Fernando Avila-Vélez¹; Bibiana Royero-Benavides²

¹Ing. Catastral y Geodesta, Esp., M.Sc. Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá - Cundinamarca, Colombia; e-mail: efernandoavila@ucundinamarca.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0002-8997-9125>

²Ing. Agrónoma, M.Sc. Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá - Cundinamarca, Colombia; e-mail: broyero@ucundinamarca.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0003-3884-0745>

Cómo citar: Avila-Vélez, E.F.; Royero-Benavides, B. 2021. Aplicación de índices vegetales en café (*Coffea arabica* L.). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1584. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1584>

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 31 de 2020

Aceptado: septiembre 23 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el cultivo de café es uno de los más representativos e importantes económicamente; se estima, que de este cultivo deriva el sustento de más de 540.000 familias, de las cuales, el 96 % son pequeños productores (Cenicafe, 2020).

La caficultura enfrenta importantes retos, debido al fenómeno de cambio climático, que trae consigo sequías prolongadas, temperaturas elevadas o fuertes lluvias, que afectan el desarrollo del cultivo y favorecen problemas fitosanitarios (Jiménez-Torres & Massa-Sánchez, 2015); por ejemplo, en 2017, Colombia atravesó por una ola invernal, en donde las lluvias, en algunas zonas cafeteras, aumentaron hasta un 35 % más de lo normal, se redujo la temperatura en casi 2 grados y los cafetales recibieron, en un año, 300 horas menos de brillo solar (Cenicafe, 2020).

La agricultura de precisión, se propone como una herramienta para enfrentar las variaciones generadas por el cambio climático y permite la identificación, la cuantificación y el mapeo de la variabilidad espacial y temporal de cultivos (Bongiovanni *et al.* 2006). El reconocimiento de esta variabilidad, se realiza por medio de la captura de información proveniente de sensores remotos, que discriminan anomalías en el espectro electromagnético y generan

alarmas tempranas, que contribuyen en la toma de decisiones de la producción agrícola (Urbano-Molano, 2013).

El monitoreo de la actividad fotosintética, se puede realizar a partir de fotografías digitales multiespectrales, con vehículos aéreos no tripulados, dada su facilidad de operación y planeación de vuelo, permitiendo observar radiométricamente, a través de sensores multiespectrales a bordo, el comportamiento simétrico de la biomasa en el espectro electromagnético (Berrío M. *et al.* 2015).

Los índices de vegetación, se calculan a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda, para obtener información relacionada con la vegetación (Gilbert *et al.* 1997). La combinación de longitudes de onda del espectro electromagnético permite al investigador interpretar el estado saludable o algún tipo de deficiencias en el que se encuentra la vegetación (Ávila Vélez *et al.* 2019). La condición de la energía clasificada en el espectro electromagnético permite operar algebraicamente la intensidad de reflectividad, con el fin de construir índices espectrales, como el índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI, por sus siglas en idioma inglés) (Anyamba & Tucker, 2005).

La anterior afirmación, se puede describir matemáticamente, analizando las longitudes de onda, de acuerdo con la ecuación 1.

$$\lim_{\text{Rojo} \rightarrow 0} \left(\frac{\text{NIR}}{\text{ROJO}} \right) \rightarrow \infty \rightarrow \text{Planta Saludable} \quad \text{ecuación 1}$$

La ecuación 1 relaciona el estado fotosintético de la biomasa, cuando la fracción tiende a valores máximos, describe una vegetación saludable y cuando la fracción tiende a valores bajos, se evidencia alteraciones de las plantas, debido a algún tipo de estrés, ya sea hídrico, nutricional o sanitario.

Por lo tanto, el propósito del presente estudio fue implementar el monitoreo de la actividad fotosintética en el cultivo de café, mediante índices de vegetación, lo cual, brinda información valiosa relacionada con el crecimiento y la vigorosidad de las plantas,

para detectar, de forma temprana, alteraciones que perjudiquen el normal desarrollo del cultivo y facilitar la rápida toma de decisiones (Cruz Flores *et al.* 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La zona de estudio está localizada en la finca La Portada del municipio de Pandi, Cundinamarca, con una altura aproximada de 1.100 m s.n.m., una temperatura promedio de 20 °C y humedad relativa promedio del 67 %, con coordenadas 74°27'51" Oeste y 4°8'3" Norte. El área cercana de sobrevuelo fue de 4.000 m², en tres lotes de café variedad castillo, con diferentes periodos vegetativos, como se observa en la figura 1.

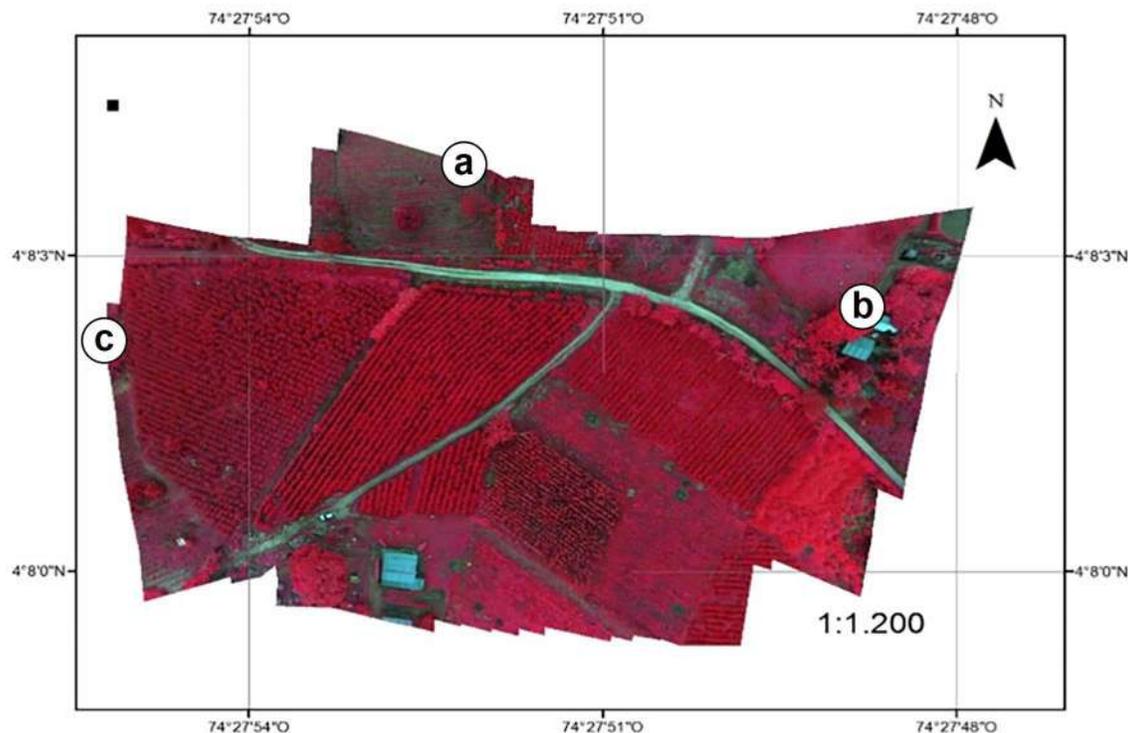


Figura 1. Imagen tomada con el sensor Parrot Sequoia RGB (4-2-1). Lotes con periodo vegetativo de: a. 4 años; b. 2 años; c. 5 años.

Mediante el vehículo aéreo no tripulado Parrot Bluegrass y su sensor multispectral, se realizó un plan de vuelo en la zona de estudio, utilizando la aplicación Pix4Dcapture, en el que se restituyó las escenas o fotografías tomadas en las diferentes longitudes de onda en el software Pix4Dmapper, para las diferentes bandas, correspondientes a las longitudes de onda del sensor Parrot.

Aplicación de los diferentes índices de vegetación. En el desarrollo de la investigación, se implementaron los siguientes índices de vegetación, con el fin de comparar, radiométricamente, cuáles ofrecen mayor riqueza espectral asociada a la actividad fotosintética del cultivo de café.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{ROJO}}{\text{ROJO} + \text{NIR}} \quad \text{ecuación 2}$$

La fórmula del NDVI corresponde al cociente algebraico entre la resta y la suma de las bandas infrarrojo cercano y rojo del sensor Parrot Sequoia.

Este índice fue aplicado por Anyamba & Tucker (2005), para analizar los cambios del paisaje, utilizando las bandas de infrarrojo cercano y rojo del sensor Spot.

$$\text{GNDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{VERDE}}{\text{NIR} + \text{VERDE}} \quad \text{ecuación 3}$$

La ecuación 3, índice normalizado diferencial de vegetación en verde (GNDVI, por sus siglas en idioma inglés), relaciona las bandas del infrarrojo cercano y verde. El presente índice fue aplicado por Gitelson & Merzlyak (1997), para observar el contenido de la clorofila.

$$\text{SAVI} = \frac{\text{NIR} - \text{ROJO}}{(\text{NIR} + \text{ROJO} + L)} \times (1 + L) \quad \text{ecuación 4}$$

La ecuación 4, índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI, por sus siglas en idioma inglés), oscila entre -1 a 1 y sus valores son adimensionales. Los valores máximos cercanos a uno son el resultado de plantas o cultivos con gran vigorosidad y buen estado vegetativo (Huete, 1988) y los valores cercanos a cero o negativos dan cuenta de malezas, pastos bajos o elementos, sin contenido clorofílico. Se introduce un parámetro L, asociado con la vegetación del suelo en el cultivo.

En la presente investigación, se utilizó una adaptación del índice vegetal de Fitzgerald *et al.* (2010), denominado índice de clorofila terrestre adaptado (AMTCI, por sus siglas en idioma inglés)

$$AMTCI = \left(\frac{BORDE\ ROJO - ROJO}{ROJO + VERDE} \right) \quad \text{ecuación 5}$$

Caracterización de la firma espectral. Se tomaron 5.915 píxeles con resolución espacial de 4 cm/px, para generar la firma del café arábigo promedio y su respectiva desviación estándar, en las zonas donde se presentaba mayor actividad fotosintética.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la aplicación de los índices de vegetación NDVI, GNDVI, SAVI y AMTCI, implementados para cuantificar y caracterizar radiométricamente la salud de los cultivos de café, se logró visualizar alteraciones espectrales en algunas zonas del cultivo, especialmente, con la aplicación del índice de vegetación AMTCI (Figura 2).

Con el desarrollo del método, se observa que, para el cultivo de café variedad castillo, dada su composición química y diferente

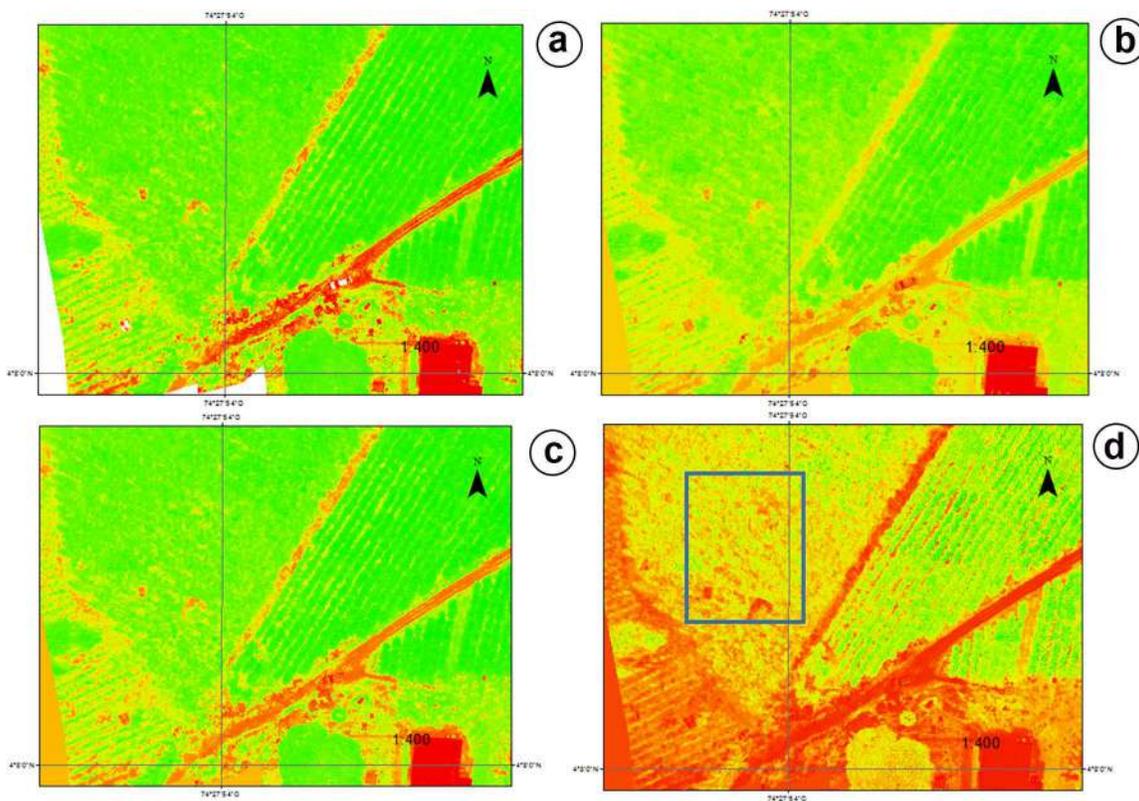


Figura 2. Caracterización espectral detallada de los diferentes índices de vegetación: a. índice normalizado diferencial de vegetación NDVI; b. índice normalizado diferencial de vegetación en verde GNDVI; c. índice de vegetación ajustado al suelo SAVI; d. índice de clorofila terrestre adaptado AMTCI.

temporalidad, el AMTCI muestra una gran variabilidad espectral, como se evidencia en la figura 2; se observa, que los resultados de este índice muestran mayor actividad fotosintética y alta reflectancia, con la banda del Borde Rojo y baja reflectancia, en la banda del Rojo, como se evidencia en el estudio de Gitelson & Merzlyak (1997).

En la figura 2, se observa en el recuadro azul, que el AMTCI evidencia zonas del cultivo no saludables. Se calcularon las medidas de tendencia central y dispersión, las cuales, indican que el AMTCI

posee la mayor variabilidad o desviación estándar espectral de los datos, con un valor de 0,0462; con este parámetro, se evidencian fuertes contrastes fotosintéticos en la vegetación.

El AMTCI propuesto relaciona tres bandas espectrales, lo que conlleva obtener más información fotosintética en las hojas del cultivo de café arábigo. Caso contrario pasa con el NDVI, que posee un punto de saturación, lo que implica acotar la información radiométrica (Schmidt & Karnieli, 2001).

Los resultados coinciden con las diferencias evidenciadas en el sistema productivo respecto a su manejo. En el lote c, hay una importante proliferación de arvenses, lo que interfiere en las labores de fertilización y de manejo sanitario. Estas condiciones reducen la tasa del proceso fisiológico de fotosíntesis por debajo de la tasa máxima, respecto de la que podría alcanzar, generando, lo que se puede denominar, como estrés vegetal (Lambers *et al.* 1998) y se puede relacionar con deficiencias de nitrógeno e irradiación lumínica (Pérez Asseff *et al.* 2007), lo que tiende a disminuir el peso seco, el número de hojas y el área foliar (Taiz & Zeiger, 2002). Otros factores que pueden influir en el establecimiento y en el vigor de la planta, inhibiendo su eficiencia fotosintética, son los de tipo fitosanitario, como plagas, enfermedades y sequía, que son factores de alto impacto en la producción (Pedroza Sandoval *et al.* 2013).

El valor mínimo para clasificar un cultivo de café con temporalidad de cuatro años y un estado saludable, se puede calcular aplicando el índice de vegetación AMCTI, siendo este valor de 2,44. Esto implica utilizar índices vegetales, para cuantificar los valores mínimos, de posibles afectaciones en proceso productivo (Brizuela-Amador Pérez *et al.* 2007).

Con el presente estudio, se aportan nuevas técnicas con respecto a la implementación de índices vegetales en el campo de la agricultura de precisión, utilizando el sensor multiespectral Parrot Sequoia, aplicado al cultivo de café. Se debe tener en cuenta, que los cultivos no son homogéneos en sus características fisiológicas y químicas, por consiguiente, se deben realizar estudios, como el presente, para encontrar y caracterizar índices vegetales y firmas espectrales, que determinen el estado fotosintético y alteraciones químicas de las plantas en cada cultivo y temporalidad específica.

El AMCTI presenta la mayor variabilidad espectral entre los índices analizados, siendo el de mayor potencial en el monitoreo y la caracterización de las condiciones fotosintéticas, en el cultivo de café.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la Universidad de Cundinamarca, por el apoyo en equipos y al grupo de investigación Geocartografía. Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ANYAMBA, A.; TUCKER, C.J. 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003. *Journal of Arid Environments* (Estados Unidos). 63(3):596-614.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.007>
2. ÁVILA VÉLEZ, E.F.; ESCOBAR ESCOBAR, N.; MORANTES CHOCONTA, C.F. 2019. Applying satellite images to spectral signature development of maize production (*Zea mays* L.) under Colombia's middle tropics conditions. *Entramado* (Colombia). 15(2):256-262.
<http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.5734>
3. BERRÍO M., V.A.; MOSQUERA T., J.; ALZATE V., D.F. 2015. Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión. *Limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria* (Colombia). 13(1):28-40.
<https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2015.1647>
4. BONGIOVANNI, R.; MANTOVANI, E.C.; BEST, S.; ROEL, A. 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. *Procisur/IICA*. 246p.
5. BRIZUELA-AMADOR PÉREZ, B.; ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, G.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; PEA-KALRA, Y.; CRUMBAUGH, J.; OLIVE, C.; TIJERINA-CHÁVEZ, L.; MALDONADO-TORRES, R. 2007. Establecimiento de índices espectrales en el diagnóstico nutrimental de nitrógeno en maíz. *Agrociencia* (México). 41(8):827-835.
6. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, CENICAFE. 2020. Informe anual Cenicafe 2020.
<https://doi.org/10.38141/10783/2020>
7. CRUZ FLORES, D.D.; CURBELO BENÍTEZ, E.A.; FERRER SÁNCHEZ, Y.; ÁVILA, D.D. 2020. Variaciones espaciales y temporales en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Cuba. *Ecosistemas. Ecosistemas Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*. 29(1):1885.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.1885>
8. FITZGERALD, G.; RODRIGUEZ, D.; O'LEARY, G. 2010. Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index-The canopy chlorophyll content index (CCCI). *Field Crops Research* (Holanda). 116(3):318-324.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.01.010>
9. GILABERT, M.A.; GONZÁLEZ-PIQUERAS, J.; GARCÍA-HARO, J. 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*. 8:1-10.
10. GITELSON, A.A.; MERZLYAK, M.N. 1997. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing* (Reino Unido). 18(12):2691-2697.
<https://doi.org/10.1080/014311697217558>
11. HUETE, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25(3):295-309.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
12. JIMÉNEZ-TORRES, A.; MASSA-SÁNCHEZ, P. 2015. Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola, Ecuador. *Economía*. 40:117-137.

13. LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, T.L. 1998. Plant physiological ecology. Springer-Verlag Inc, New York. 540p.
14. PEDROZA SANDOVAL, A.; TREJO CALZADA, R.; CHÁVEZ RIVERO, J.A.; SAMANIEGO GAXIOLA, J.A. 2013. Tolerancia al estrés hídrico y fitosanitario mediante indicadores agronómicos y fisiológicos en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Mexicana de Fitopatología (Mexico). 31(2):91-104.
15. PÉREZ ASSEFF, J.M.; PEÑA SALAMANCA, E.J.; TORRES GONZÁLEZ, C. 2007. Efecto del nitrógeno y la irradiación en la eficiencia fotosintética del Anamú *Petiveria alliacea* (Phytolaccaceae). Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Nacional (Colombia). 31(118):49-55.
16. SCHMIDT, H.; KARNIELI, A. 2001. Sensitivity of vegetation indices to substrate brightness in hyper-arid environment: the Makhtesh Ramon Crater (Israel) case study. International Journal of Remote Sensing. 22(17):3503-3520. <https://doi.org/10.1080/01431160110063779>
17. TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2002. Photosynthesis: physiological and ecological considerations. In: Taiz, L.; Zeiger, E. (eds). Plant Physiology. Fourth edition. p.172-174.
18. URBANO-MOLANO, F.A. 2013. Redes de sensores inalámbricos aplicadas a optimización en agricultura de precisión para cultivos de café en Colombia. Journal de Ciencia e Ingeniería. 5(1):46-52.



Producción de xilitol a partir de hidrolizados de raquis de palma por *Candida tropicalis*: optimización de las condiciones de fermentación

Xylitol production from hydrolyzed oil palm empty fruit bunch by *Candida tropicalis*: optimization of fermentation conditions

Katherine Manjarres-Pinzón¹; Niza Cristina Otero-Guzmán²; Eduardo Rodríguez-Sandoval³;

Guillermo Correa-Londoño⁴; Mario Arias-Zabala⁵

¹Ing. de alimentos, M.Sc., Ph.D. Corporación Universitaria Lasallista, Facultad de Ingeniería, Grupo de Alimentos Funcionales (GAF). Caldas - Antioquia, Colombia; e-mail: katherine.manjarres@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4327-6472>

²Ing. Biológica. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Alimentos Funcionales (GAF). Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: ncooterog@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-8770-9658>

³Ing. Químico, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Alimentos Funcionales (GAF). Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: edrodriguez@unal.edu.co; <http://orcid.org/0000-0001-9146-2419>

⁴Ing. Forestal, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo Biogem. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: gcorrea@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-7020-2546>

⁵Ing. Químico, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín, Facultad de Ciencias, Escuela de Química. Medellín - Antioquia, Colombia, Grupo de Investigación en Biotecnología Industrial. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: marioari@unal.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-8190-7760>

Cómo citar: Manjarres-Pinzón, K.; Otero-Guzmán, N.C.; Rodríguez-Sandoval, E.; Correa-Londoño, G.; Arias-Zabala, M. 2021. Producción de xilitol a partir de hidrolizados de raquis de palma por *Candida tropicalis*: optimización de las condiciones de fermentación. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1894. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1894>

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 24 de 2021

Aceptado: septiembre 13 de 2021

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

INTRODUCCIÓN

Para la aplicación industrial de xilitol, su rendimiento y el consumo de sustrato deben ser altos y los costos de producción bajos. La producción de xilitol, a bajo costo, implica el uso de una fuente

de xilosa sin necesidad de detoxificación, reciclaje de células de levadura, alto rendimiento de xilosa a xilitol, alta productividad, menos aportación de energía, fácil procesamiento posterior para purificar el xilitol y uso de medios de fermentación, procedentes de subproductos industriales. Por lo tanto, es necesario que el carbono,

nitrógeno, minerales y otros nutrientes, incluidos los parámetros del proceso, sean económicamente competitivos, para garantizar la viabilidad comercial del proceso, con un mejor rendimiento de la fermentación (Yewale *et al.* 2017).

Además de la naturaleza y la composición de los hidrolizados, la producción de xilitol depende de varias variables de proceso, como pH, concentración de sustrato, nivel de inóculo y composición del medio, entre otros (Silva & Roberto, 2001). El método clásico de estudiar una variable a la vez, puede ser efectivo en algunas situaciones, pero no considera los efectos combinados de todos los factores involucrados. En los procesos de fermentación, donde las variables operativas interactúan e influyen mutuamente en los efectos sobre la respuesta, es esencial que el método de optimización tenga en cuenta estas interacciones, de modo que se pueda determinar un conjunto de condiciones experimentales óptimas (Silva & Roberto, 2001).

La metodología de superficie de respuesta (RSM), se puede definir como una colección de herramientas estadísticas y matemáticas que son útiles para modelar y optimizar una respuesta experimental, influenciada por muchas variables (Silva & Roberto, 2001; Ling *et al.* 2011). Las respuestas experimentales a los experimentos de diseño, generalmente, se ajustan a funciones cuadráticas y las relaciones de segundo orden, se pueden aproximar razonablemente bien a la mayoría de los sistemas de fermentación (Sampaio *et al.* 2017); sin embargo, cuando se debe optimizar más de una respuesta, es necesario usar las llamadas funciones de deseabilidad. RSM, se ha utilizado, a menudo, para optimizar diferentes bioprocesos y también se ha aplicado con éxito en la bioconversión de xilosa a xilitol, por las levaduras *Candida tropicalis* (Ling *et al.* 2011; Yewale *et al.* 2017), *Candida guilliermondii* (Silva & Roberto, 2001) y *Debaryomyces hansenii* (Sampaio *et al.* 2017). Para la fecha, no se ha reportado la optimización del proceso de producción de xilitol a partir de hidrolizados de raquis de palma. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue efectuar la optimización de diferentes condiciones de fermentación, como tamaño del inóculo, concentración de xilosa, pH y volumen, en la producción de xilitol con *C. tropicalis*, utilizando hidrolizado de raquis de palma no detoxificado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los racimos vacíos de frutos o raquis de palma fueron suministrados por la planta de beneficio Palmares del Oriente S.A.S. Los racimos, se lavaron, secaron y molieron en una máquina pica-pasto (Molino #1, JM. ESTRADA. S.A., La Estrella, Colombia), hasta un tamaño de partícula de 3 a 5 cm. La hidrólisis ácida de los raquis, se realizó en matraces Erlenmeyer de 500 mL, con una relación 1:8 sólido/líquido, tomando 40 g del raquis y 320 mL de ácido sulfúrico, diluido al 2 %. Los matraces fueron esterilizados por 30 min, a 121 °C y, posteriormente, sumergidos en un baño de hielo, para detener la hidrólisis. Finalmente, se filtró todo el contenido del hidrolizado y se ajustó el pH a 5,5- 5,6, con perlas de NaOH. El hidrolizado obtenido no se detoxificó, pero fue suplementado con 4 gL⁻¹ extracto de levadura, 3 gL⁻¹ (NH₄)₂SO₄, 0,5 gL⁻¹ MgSO₄.7H₂O y 0,1 gL⁻¹ CaCl₂.2H₂O.

Las células de *Candida tropicalis* fueron mantenidas con una edad de cultivo de 24 h en agar PDA, a 30 °C. Para la preparación del preinóculo, se tomaron colonias aisladas del cultivo *C. tropicalis* y se suspendieron en 100mL cultivado en medio sintético de xilosa (20 gL⁻¹), extracto de levadura y peptona (YPX), pH 5,6, 119 rpm y 30 °C, durante 24 h. Después, las células se recuperaron por centrifugación (2500 rpm, 20 min). La suspensión de células obtenidas (alrededor de 5 gL⁻¹) fue utilizada para inocular los matraces a diferentes condiciones de fermentación.

El medio de cultivo para el estudio de optimización fue hidrolizado de raquis de palma (HR) suplementado con 4 g extracto de levadura/L, 3 gL⁻¹ (NH₄)₂SO₄, 0,5 gL⁻¹ MgSO₄.7H₂O y 0,1 gL⁻¹ CaCl₂.2H₂O y un contenido inicial de xilosa de 20±2 gL⁻¹. Los cuatro factores seleccionados y evaluados que afectan la fermentación de xilosa y la producción de xilitol a escala de matraz de 100mL fueron: el tamaño del inóculo, la concentración de xilosa inicial, el pH y el volumen de los medios. Los matraces fueron esterilizados a 121 °C y 20 min; se dejaron enfriar y fueron inoculados, acorde con los niveles de biomasa arrojados por el diseño. Las muestras, se tomaron a las 48 y 96 horas de fermentación.

La metodología de superficie de respuesta (RSM), se utilizó para optimizar el proceso de producción de xilitol bajo diferentes condiciones de fermentación (Manjarres-Pinzón *et al.* 2017). Se utilizó un diseño basado en Box-Behnken con 30 corridas y seis repeticiones del punto central, durante 96 h de fermentación. Las variables independientes y sus niveles fueron: tamaño del inóculo 3-7 gL⁻¹, concentración de xilosa 20-40 gL⁻¹, pH 4-6 y volumen 26- 40 mL. Se tomaron, como variables dependientes, el contenido de xilosa y la producción de xilitol. El análisis de regresión, se realizó usando el software Design - Expert 6.0, Stat-Ease Inc. (Minneapolis, MN, 473 USA). Adicionalmente, se realizó la validación experimental de los parámetros optimizados, por medio de RSM, que mostraron un máximo de xilitol.

Las concentraciones de xilosa y xilitol, se determinaron utilizando un sistema HPLC (Shimadzu Prominence), con un detector de RI, equipado con una columna Aminex HPX-87H (Biorad). El volumen de inyección fue de 20 µL (Manjarres-Pinzón *et al.* 2016). Las muestras, se prepararon por duplicado y se filtraron, a través de un filtro de jeringa de membrana de nylon de 25 mm (tamaño de poro 0,45 µm), antes del análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de xilitol y el consumo de la xilosa a escala de matraz agitado a diferentes condiciones experimentales, se muestran en la tabla 1. La máxima concentración de xilosa residual 29,6 gL⁻¹ se obtuvo a pH 6,3 gL⁻¹ de biomasa, 40 gL⁻¹ de sustrato y 40 mL de volumen. La mayor concentración de xilitol 6,5 gL⁻¹, se dio a las siguientes condiciones: pH 3,5 gL⁻¹ de biomasa, 30 gL⁻¹ de sustrato y 33 mL de volumen. La mínima xilosa residual 0,33 gL⁻¹, se dio a pH 5,5 gL⁻¹ de biomasa, 10 gL⁻¹ de sustrato y 33 mL de volumen. Para el caso de la xilosa, los factores que influyen significativamente en esta variable fueron el sustrato y volumen. La mayor productividad

0,34 gL⁻¹h⁻¹, rendimiento 0,61 gg⁻¹ y un adecuado porcentaje de consumo de xilosa 95,2 % fue para un pH de 6, en la producción de xilitol con *C. tropicalis*, empleando hidrolizado de tusas de maíz sin detoxificación (Ping *et al.* 2013). Incrementar el aprovechamiento de la fracción hemicelulósica del raquis de palma es lo que se

busca, generalmente, en un proceso de fermentación, para que sea económicamente factible, es decir, entre menor xilosa residual haya al final, mayor es el aprovechamiento del hidrolizado de raquis de palma. Este parámetro, se tuvo en cuenta en el momento de realizar la optimización del proceso.

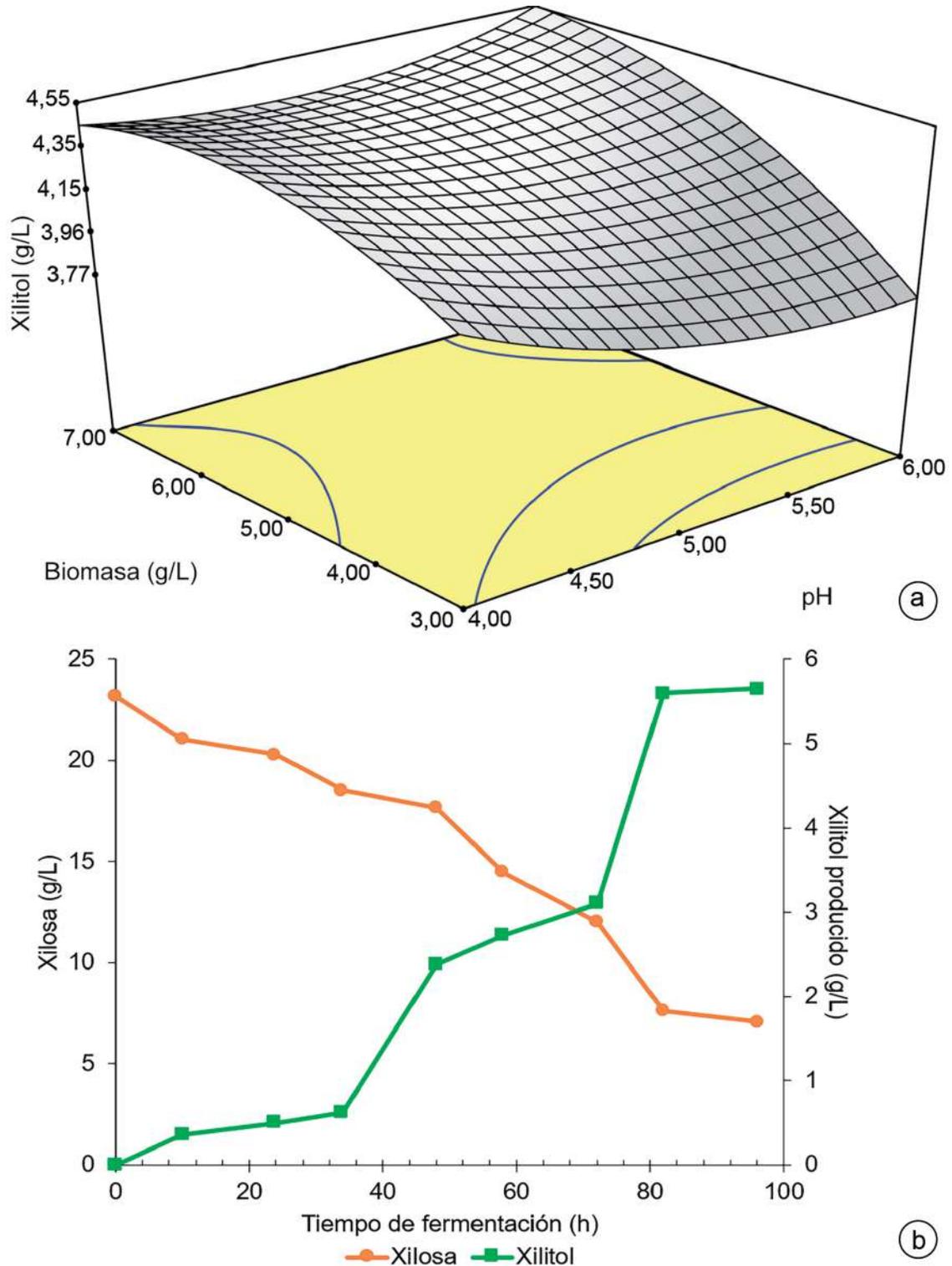


Figura 1. a. Superficie de respuesta para la producción de xilitol, como función del pH y la biomasa inicial; b. Cinética de consumo de xilosa y producción de xilitol en hidrolizados de raquis de palma por *Candida tropicalis*, a escala de matraz.

La figura 1a presenta los efectos de la biomasa y del pH sobre la producción de xilitol, mientras las otras dos variables se mantuvieron constantes. Como se observa, a mayor concentración de biomasa inicial y mayor pH, se obtiene mayor concentración de xilitol. De acuerdo con el análisis del modelo planeado, se obtuvo un efecto significativo en la producción del xilitol del pH, volumen, de la interacción pH y sustrato y un efecto cuadrático del sustrato y el volumen. El modelo cuadrático tuvo un ajuste R^2 de 0,8365 y el análisis de varianza mostró que el modelo es significativo ($F= 8,52$). Cuanto más cercano sea el valor de R^2 a 1, mejor será la correlación entre los valores experimentales y los datos estimados del modelo (Lorliam *et al.* 2017; Yewale *et al.* 2017).

Con el fin de optimizar la producción de xilitol, se aplicó un método de función de deseabilidad, donde se emplearon las siguientes restricciones: pH, en el rango de 4 a 6; biomasa, en el rango de 3 a 7 g/L ; sustrato mínimo, en intervalo de 20 a 40 g/L ; volumen en el rango de 26 a 40 mL y máxima producción de xilitol, con un intervalo experimental de 1,6 a 6,5 g/L . Con estos parámetros, se obtuvieron 10 soluciones óptimas con valores de deseabilidad, entre 0,639 a 0,748 y producciones de xilitol, entre 3,94 y 4,38 g/L . El volumen y

la concentración de sustrato de las funciones de deseabilidad tuvieron valores muy cercanos entre sí y se ubicaron en 26 mL y 20 g/L , respectivamente.

No necesariamente el medio que contiene la concentración inicial más alta de xilosa da la máxima producción de xilitol, porque diferentes levaduras tienen distintas capacidades de bioconversión y los diversos hidrolizados presentan diferentes composiciones químicas que, también, pueden interferir en el rendimiento de la levadura (Mussatto & Roberto, 2008). Por otro lado, valores de pH iguales a 6 presentaron mayores producciones de xilitol. Al evaluar la producción de xilitol con *C. tropicalis* en hidrolizado de maíz, también se concluyó que, al aumentar el pH de 4,5 a 6, conducía a un mayor incremento en la productividad y el rendimiento de xilitol y también a pH 6, se reportó el mayor rendimiento de biomasa en el consumo de xilosa (Cheng *et al.* 2009).

En cuanto a la biomasa, la función de deseabilidad tomó diferentes valores sin una tendencia clara y con un rango entre 3,34 y 7 g/L de biomasa. Las mayores producciones de xilitol tuvieron resultados con concentraciones de biomasa entre 5,42 y 7 g/L , en donde se

Tabla 1. Diseño Box-Behnken (BBD) aplicado en producción de xilitol, a escala de matraz, en hidrolizados de raquis de palma y que corresponden a los experimentos usados en el RSM.

Corrida	pH	Biomasa (g/L)	Sustrato (g/L)	Volumen (mL)	Variables de respuesta	
					Xilosa residual (g/L)	Xilitol (g/L)
1	5	5	30	33	13,93	4,33
2	5	5	30	33	12,15	4,34
3	5	5	30	19	4,15	5,39
4	6	3	20	26	0,83	3,59
5	4	7	40	40	25,29	3,74
6	6	3	20	40	7,48	2,32
7	4	3	20	26	1,27	3,35
8	6	3	40	26	26,79	1,92
9	6	7	40	40	27,1	1,62
10	5	5	30	33	12,24	3,92
11	3	5	30	33	10,48	6,56
12	5	5	30	33	12,82	4,29
13	6	7	20	40	9,02	2,8
14	5	5	30	33	12,66	4,04
15	4	7	40	26	18,75	5,06
16	6	3	40	40	29,64	1,63
17	6	7	40	26	15,68	3,85
18	5	5	30	47	20,97	2,06
19	4	3	20	40	11,07	2,39
20	4	7	20	40	10,32	3,07
21	6	7	20	26	0,7	3,97
22	4	3	40	40	20,45	4,24
23	7	5	30	33	11,22	4,07
24	5	5	10	33	0,33	2,14
25	5	5	30	33	11,75	4,68
26	5	1	30	33	12,83	4,19
27	5	5	50	33	28,43	3,75
28	5	9	30	33	13,74	3,97
29	4	3	40	26	17,13	4,65
30	4	7	20	26	1,28	3,48

seleccionó el menor valor entre estos dos. Una de las razones de esta decisión, se basa en que una baja cantidad de inóculo y un largo ciclo de fermentación producen menores rendimientos de xilitol y una alta cantidad de inóculo podría resultar en un alto consumo de xilosa para el crecimiento celular, en la etapa inicial de la fermentación, lo que resulta en una disminución de la tasa de conversión del xilitol (Xu *et al.* 2019). En este caso, se descartaría tomar valores cercanos a los datos extremos del rango experimental para la biomasa inicial de la fermentación (3 y 7 gL⁻¹); por lo tanto, las condiciones de la solución de deseabilidad seleccionada tuvo los siguientes criterios: pH de 6,0, biomasa de 5,42 gL⁻¹, volumen de 26 mL y sustrato de 20 gL⁻¹. A estas condiciones de proceso, se obtuvo una predicción de xilitol de 4,3 g/L, un valor de xilosa residual de 12,6 gL⁻¹ y un valor de la función de deseabilidad de 0,73. Estas condiciones son el punto de partida para realizar el proceso de producción de xilitol con *C. tropicalis* a otras escalas mayores.

La verificación de las condiciones óptimas calculadas para la producción de xilitol, se realizó llevando a cabo un experimento real con unas condiciones muy similares a las reportadas por la función de deseabilidad. Los parámetros utilizados para la fermentación fueron: pH 5,6, volumen de 26 mL, sustrato inicial de 21 gL⁻¹ y una biomasa inicial de 5,2 gL⁻¹. El rendimiento de xilitol fue de 0,35 gg⁻¹, con una producción máxima de xilitol de 5,6 gL⁻¹ y una xilosa residual de 7,09 gL⁻¹, después de 96 h de fermentación (Figura 1 b). El punto de predicción del modelo para el xilitol fue 4,3 gL⁻¹; esto quiere decir, que la concentración de xilitol obtenida experimentalmente está 23 % por encima del valor estimado del modelo, lo que coincide con la función de deseabilidad del modelo (0,73). Lo anterior indica que el modelo propuesto por la RSM tiene una buena capacidad para predecir los valores de producción de xilitol con *C. tropicalis* en el hidrolizado de raquis de palma (Silva & Roberto, 2001; Lorliam *et al.* 2017; Sampaio *et al.* 2017).

Durante las primeras 34 h, la captación de xilosa fue, principalmente, para la producción de biomasa; después de este tiempo, se observó un aumento significativo en la producción de xilitol, desde 2,38 hasta 5,6 gL⁻¹, alcanzando la máxima concentración a las 96 h de fermentación. Estos resultados son interesantes desde un punto de vista económico, ya que el medio de fermentación fue un hidrolizado de raquis de palma sin detoxificar, lo que representa una reducción de costos en los pretratamientos del medio.

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 la tesis de doctorado “Producción biotecnológica de xilitol a partir de hidrolizados de raquis de palma con levaduras del género *Candida* sp.” del primer autor.

REFERENCIAS

1. CHENG, K.; ZHANG, J.; LING, H.; PING, W.; HUANG, W.; GE, J.; XU, J. 2009. Optimization of pH and acetic acid concentration for bioconversion of hemicellulose from corncobs to xylitol by *Candida tropicalis*. *Biochem Eng J* (Países Bajos). 43(2):203-207. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.09.012>
2. LING, H.; CHENG, K.; GE, J.; PING, W. 2011. Statistical optimization of xylitol production from corncob hemicellulose hydrolysate by *Candida tropicalis* HDY-02. *New Biotechnol.* (Países Bajos). 28(6):673-678. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2010.05.004>
3. LORLIAM, W.; AKARACHARANYA, A.; KRAJANGSANG, S.; TOLIENG, V.; TANASUPAWAT, S. 2017. Optimization of xylitol production by *Candida tropicalis* A26. *Chiang Mai J. Sci.* (Tailandia). 44(1):50-58.
4. MANJARRES-PINZÓN, K.; ARIAS-ZABALA, M.; CORREA-LONDONO, G.; RODRIGUEZ-SANDOVAL, E. 2017. Xylose recovery from dilute-acid hydrolysis of oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches for xylitol production. *African J. Biotechnol.* (Nigeria). 16(41):1997-2008. <https://doi.org/10.5897/ajb2017.16214>
5. MANJARRES-PINZÓN, K.; ARIAS-ZABALA, M.; MOLINARÁMÍREZ, Y.; BETANCUR-NIETO, M.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E. 2016. Producción de xilitol por *Candida guilliermondii* a partir de fermentación de residuos de palma de aceite. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* (Colombia). 19(2):403-409. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.94>
6. MUSSATTO, S.; ROBERTO, I. 2008. Establishment of the optimum initial xylose concentration and nutritional supplementation of brewer's spent grain hydrolysate for xylitol production by *Candida guilliermondii*. *Process Biochem.* (Reino Unido). 43(5):540-546. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2008.01.013>
7. PING, Y.; LING, H.; SONG, G.; GE, J. 2013. Xylitol production from non-detoxified corncob hemicellulose acid hydrolysate by *Candida tropicalis*. *Biochem. Eng. J.* (Países Bajos). 75:86-91. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.03.022>
8. SAMPAIO, F.; FARIA, J.; SILVA, G.; GONÇALVES, R.; PITANGUI, C.; CASAZZA, A.; ARNI, S.; CONVERTI, A. 2017. Comparison of response surface methodology and artificial neural network for modeling xylose-to-xylitol bioconversion. *Chem. Eng. Technol.* (Alemania). 40(1):122-129. <https://doi.org/10.1002/ceat.201600066>
9. SILVA, C.; ROBERTO, I. 2001. Optimization of xylitol production by *Candida guilliermondii* FTI 20037 using response surface methodology. *Process Biochem.* (Reino Unido). 36(11):1119-1124. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00153-4](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00153-4)

10. YEWALE, T.; PANCHWAGH, S.; SAWALE, S.; JAIN, R.; DHAMOLE, P. 2017. Xylitol production from non-detoxified and non-sterile lignocellulosic hydrolysate using low-cost industrial media components. 3 Biotech. (Suiza). 7(1):1-9.
<https://doi.org/10.1007/s13205-017-0700-2>
11. XU, L.; LIU, L.; LI, S.; ZHENG, W.; CUI, Y.; LIU, R.; SUN, W. 2019. Xylitol production by *Candida tropicalis* 31949 from sugarcane bagasse hydrolysate. Sugar Tech. (India). 21(2):341-347.
<https://doi.org/10.1007/s12355-018-0650-y>



Propuesta para la producción más limpia en destilerías artesanales

Proposal for cleaner production in artisanal distilleries

Santiago Aguiar¹; Alexandra Paola Panimboza-Ojeda²; Angy Isabel Soto-Cabrera³; Jonathan Xavier Cuyanquillo-Barrionuevo⁴; Amaury Pérez-Martínez⁵; Karel Diéguez-Santana⁶

¹Ing. Agroindustrial. M.Sc. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: saguiar@uea.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-1971-7330>

²Ing. Ambiental. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: alexapani16@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3974-3453>

³Ing. Ambiental. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: angy_soto13@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2400-7739>

⁴Ing. Ambiental. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: jhony09986@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7033-8512>

⁵Ing. Químico, Ph.D. Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: amperez@uea.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-3978-7982>

⁶Ing. Químico, M.Sc. Ph.D.(c). Universidad Estatal Amazónica, Facultad Ciencias de la Vida, Carrera Ingeniería Ambiental. Puyo - Pastaza, Ecuador; e-mail: karel.dieguez.santana@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4064-0566>

Cómo citar: Aguiar, S.; Panimboza-Ojeda, A.P.; Soto-Cabrera, A.I.; Cuyanquillo-Barrionuevo, J.X.; Pérez-Martínez, A.; Diéguez-Santana, K. 2021. Propuesta para la producción más limpia en destilerías artesanales. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1500. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1500>

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 11 de 2020

Aceptado: noviembre 19 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es el cultivo con mayor expansión en la provincia Pastaza, Amazonía, Ecuador. Los principales usos incluyen elaboración de panela y alcohol. En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia existen 78 fábricas de panela y 23 destilerías de alcohol artesanal, en los alrededores del cantón Pastaza (PDyOT, 2017).

Las etapas del proceso productivo de alcohol artesanal incluyen destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas, que generan impactos ambientales (García-Prado *et al.* 2015). El bagazo y la vinaza son los principales residuos; la vinaza genera la mayor afectación sobre el medio ambiente, pues posee una alta carga orgánica, con valores de Demanda Química de Oxígeno - DQO de hasta 100.000 mgL⁻¹ (Chanfón-Curbelo & Lorenzo-Acosta, 2014).

La producción más limpia-PML es una estrategia clave empleada en los últimos 25 años, para prevenir daños medioambientales y crear beneficios económicos y sociales. Además, su aplicación permite reducir el consumo de materias primas, agua y energía y, a la vez, optimizar la producción. Según Marques Matos *et al.* (2018), incluye el diseño y la evaluación de productos, procesos y servicios, incorporando todos los aspectos del desarrollo sostenible y de la sostenibilidad industrial.

En los últimos años, las PML se han promovido en Ecuador, a través del Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción más Limpia - CEER. Diversos sectores productivos reportan casos de estudios, por ejemplo, en la producción de pasta de cacao (Diéguez-Santana *et al.* 2021), granjas de crías porcinas (Cárdenas Giler *et al.* 2019) o pequeñas manufacturas del sector textil (Guallo Aguinda *et al.* 2020); sin embargo, la producción

de alcohol artesanal no ha sido analizada. Por tanto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar estrategias de PML, que puedan mejorar el comportamiento ambiental de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El presente estudio, se llevó a cabo en la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, ubicada en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza, en la parroquia Teniente Hugo Ortiz, dentro de la comunidad “Mariscal Sucre”.

Criterios metodológicos del análisis de PML. Se consideraron las directrices del Programa de Producción más Limpia, diseñado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial-ONU, la guía de PML de Ecuador (CEER, 2019) y otros estudios de caso en Ecuador (Cárdenas Giler *et al.* 2019; Guallo Aguinda *et al.* 2020; Ramos-Ramos *et al.* 2020); el estudio, se dividió en 5 etapas.

Etapas I. Organización y definición de objetivos y metas de PML dentro de la política ambiental de la empresa. En esta parte inicial, se realizó un acercamiento con el sector de la empresa, se organizó el equipo y se identificaron los principales obstáculos y barreras. Se definieron conceptos sobre las PML, las buenas prácticas en los sistemas de producción y la legislación ambiental aplicable, para el tipo de actividad económica en análisis (Cárdenas Giler *et al.* 2019).

Etapas II. Diagnóstico técnico, económico y ambiental preliminar de la empresa o proceso. En esta sección del procedimiento, se efectuó la revisión ambiental inicial, se recopiló información sobre estadísticas de producción, cantidades y costos de materias primas e información ambiental, sobre aquellos procesos que generen impactos negativos al medio ambiente. La obtención de estos elementos, se llevó a cabo mediante entrevistas, cuestionarios a los propietarios y trabajadores y revisión de registros históricos de la actividad.

Etapas III. Evaluación técnico, económico y ambiental. En esta etapa, se elaboraron los balances de materiales y energía para las operaciones unitarias críticas. Se cuantificaron los insumos y energía consumidos, las corrientes de residuos, efluentes, emisiones, productos y subproductos generados. Se identificaron las causas de las ineficiencias y se seleccionaron las oportunidades a ser evaluadas (CEER, 2019).

Etapas IV. Formulación de alternativas de PML. A partir de las deficiencias identificadas y las opciones tentativas de PML, se evaluó el potencial de implementación. Además, se realizó la selección de las opciones de mejora a implementar y se evaluó la variación de los indicadores del proceso (productivo, técnico y ambiental).

Etapas V. Implementación, monitoreo y control. Esta sección implica los requerimientos para implementación de las opciones de PML definidas. En el caso del monitoreo y control, incluyó un análisis del cumplimiento de los indicadores del proceso, con las opciones a implementar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del proceso. La destilería artesanal “Rivera Revilla Fray Ángel” produce mensualmente 1.532 L de aguardiente (60° alcohol). Cuenta con tres operarios y su producción adopta 4 operaciones unitarias, que se muestran en la figura 1.

Molienda. Semanalmente, se muelen entre 9 a 10 m³ de caña de azúcar, de las variedades limeña y morada. Se utiliza un molino de marca “Chanfa”, de una potencia de 16,18 KW y 2.200 rpm, el cual, consume 20 L de combustible diésel y se extraen 4.500 L de jugo de caña.

Fermentación. El jugo de caña resultante, se fermenta sin la adición de levaduras, ni nutrientes, durante 2 a 4 días, en 4 tanques de plástico, de un volumen de 1.200 L, cada uno. Se recirculan 1.052 L de mosto, que es empleado como agente de fermentación y permite la proliferación de levaduras.

Destilación. 3.448 L de líquido fermentado, se acondicionan en un intercambiador de calor. Posteriormente, se introducen en la torre de destilación, que cuenta con 14 platos y alcanza una temperatura aproximada de 78 °C. El calor, se genera a partir de madera como combustible, con un consumo de 4,5 m³, por día. Finalmente, se obtienen, semanalmente, 383 L de etanol, a 60°.

Empaquetado. El producto registrado legalmente como “Suspiro de Ángel”, se envasa en botellas de 250 mL, 400 mL, 500 mL, 1 L y 20 L.

Diagnóstico de PML

Revisión Ambiental Inicial: En el cultivo, se emplean 50 a 100 kg de fertilizantes compuesto 10-30-10 por hectárea, que se agrega antes de la siembra o cada 6 meses. Por su parte, para el control de malezas antes de la siembra, se utilizan herbicidas paraquat o glifosato, a razón de 2 L/ha. Finalizado el ciclo del cultivo, se realiza diariamente el corte manual.

Ecobalance: La tabla 1 muestra las materias primas, insumos, energéticos, depreciación de activos, mano de obra y otros gastos necesarios, para un ciclo productivo semanal. Los materiales utilizados en el proceso de producción incluyen caña de azúcar, botellas de plástico, madera, electricidad y agua. Por su parte, las salidas del sistema de producción, se centran en residuos de plástico, como envases y botellas defectuosas, bagazo, vinazas, cenizas, dióxido de carbono CO₂, calor y el producto final, que es el etanol. Es importante destacar que el bagazo y las vinazas representan grandes cantidades de residuos en comparación con la producción de etanol; por ejemplo, por cada L de etanol, se generan 8 L de vinazas. Estas vinazas, se vierten directamente a suelos y cuerpos de agua cercanos, lo que aumenta el potencial de acidificación y eutrofización (Soto-Cabrera *et al.* 2020).

Evaluación técnico, económico y ambiental de la empresa: En la figura 1, se pueden observar las operaciones del proceso de

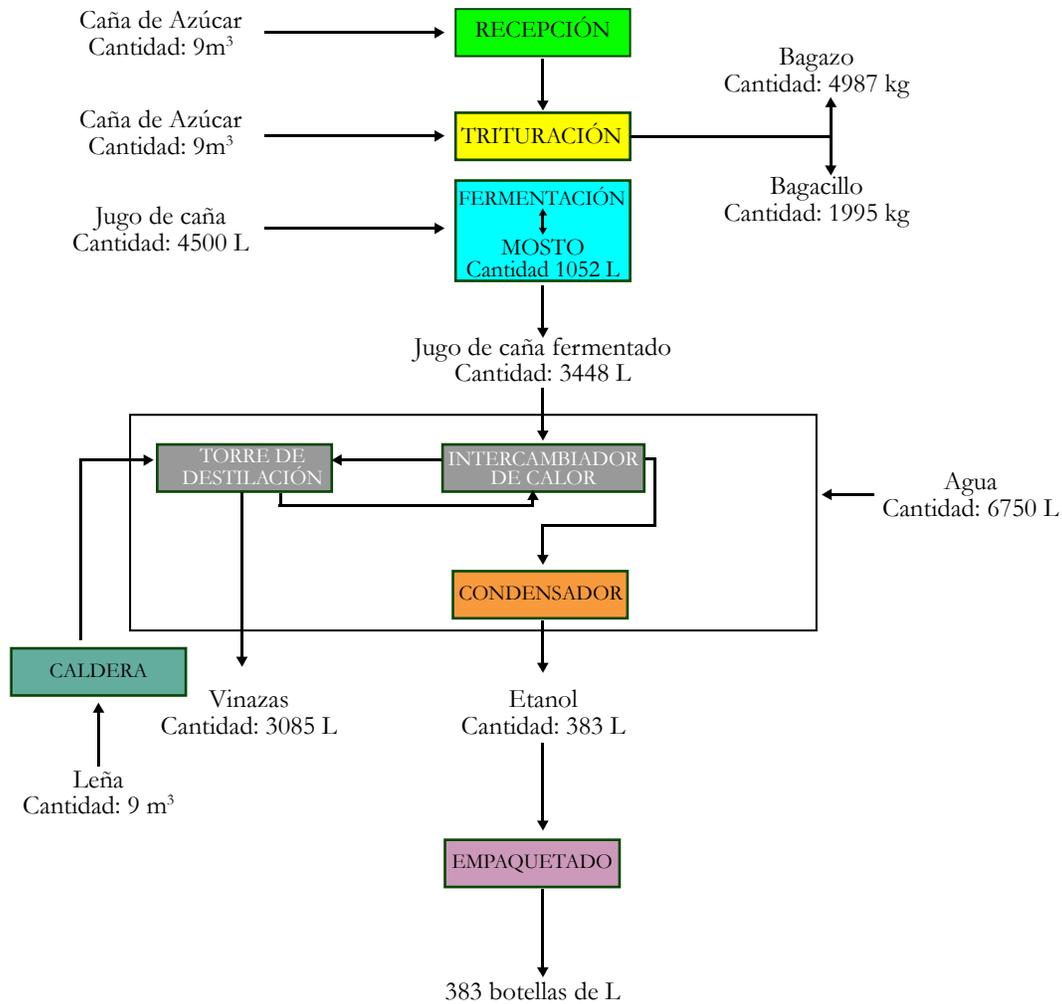


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso productivo de la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel”, para 383 botellas de 1 L.

Tabla 1. Balance de materias primas, insumos, consumos energéticos, gastos semanales del proceso de alcohol en la destilería artesanal.

Rubro	Unidad medida	Cantidad	Costo unitario, US\$	Costo Total, US\$
Caña de azúcar	m ³	9	25	225
Combustible (diésel)	L	20	1,3	26
Combustible (madera)	m ³	4,5	13,33	59,99
Botellas de plástico 1 L	Unidad	383	0,1	38,3
Consumo energía eléctrica	kwh/día	32,49	0,2	6,498
Subtotal materia prima e insumos	U			355,79
Mano de obra (con seguros)	Salario/semana	3	119,31	357,94
Servicios y otros gastos	semana	1	11,83	1,83
Depreciación de activos fijos	U	1	14,11	14,11
Total				739,66

obtención de etanol en la destilería. Entre los consumos, sobresalen la madera que ingresa a la caldera para la generación de vapor en la torre de destilación y las cantidades de vinazas que se generan por

cada ciclo productivo, 3.085 L. Adicionalmente, se consumen 6.750 L de agua, para el sistema de generación de vapor y condensación. En la molienda, por cada 9 m³ de caña, se obtienen 4.500 L de jugo,

con 4.987 kg de bagazo y, de ellos, 1.995 kg de bagacillo. Los 383 L de aguardiente, se vende a US\$2,5 y generan ingresos de US\$957,5, por lo que la relación Costo/Beneficio es de 1,29.

Formulación de alternativas de PML: Las alternativas de PML fueron seleccionadas y evaluadas, de acuerdo con las características de la destilería. Por la pequeña dimensión de la instalación, no se consideró la implementación de equipos o procesos con altos costos. Las tres opciones para evaluar fueron: compostaje del bagazo de caña, producción de biogás, a partir de vinazas y ensilaje, a partir del bagacillo y cogollo de caña.

Evaluación de las opciones de PML

La primera opción, procesar todo el bagazo para la realización de compost, se requieren 227 m² para área de compostaje y un área de 54 m² de hormigón, para almacenar 5.000 kg de bagazo triturado y cachaza del proceso; las pilas se cubrirán con plástico negro, para evitar la proliferación de vectores y los malos olores. Esta opción generaría un ingreso económico adicional para la destilería, de US\$1.750, por cada 5.000 kg de abono orgánico. En el contexto ambiental, la elaboración de compost lograría reducir la tasa generación de los residuos, como bagazo resultante del proceso de molido.

La opción 2, de producir biogás a partir de las vinazas descargadas (se generan 1.028,33 L de vinazas diarios), con un tiempo de retención de 30 días; el volumen del líquido será de 30.850 L y el volumen total será de 41.133,3 L. Se propone emplear tres biodigestores, de 13,71 m³ de capacidad cada uno.

Finalmente, para la estimación de la cantidad de biogás, se emplearon los criterios de Parsaee et al. (2019), donde el potencial de metano producido (PBM) por unidad de vinaza generada fue de 12.615 m³ de CH₄/m³ de vinazas, por lo que se generaría un promedio de 12.972,38 L/día de CH₄. El biogás generado sería utilizado como combustible para el proceso de destilación de alcohol y puede reemplazar el uso de leña, lo que genera un ahorro de US\$60 semanales. A la vez, podría reducir la DQO y DBO, en un 67 y 90 %, respectivamente (Parsaee et al. 2019) y, de esta forma, el agua residual drenada de la destilería, ya sea al suelo o al cuerpo de agua receptor, podrá llegar a cumplir con los límites máximos permisibles, establecidos en la normativa ambiental vigente.

Por último, en la opción 3, producción de ensilaje a partir del bagacillo y cogollo de la caña de azúcar, 2.000 kg de bagacillo se mezclan con 20 kg de cogollo picado de la caña y son suplementados con nutrientes. Según Roa Espínola & Renaut Aquino (2013), los aditivos son urea + sulfato de amonio en proporción al 1 % y una adición *Lactobacillus*, a razón de 0,2 g por cada 100 kg de residuos de caña. El precio del ensilaje podría variar, de acuerdo con la necesidad dentro del mercado ganadero, de US\$ 8 a 15 / 47 kg, por lo que generaría ingresos económicos. Además, se evita la liberación de bagacillo que, al ser desechado al ambiente, altera la calidad del aire y, de igual forma, emite gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático global.

En resumen, las tres opciones PML agrupadas permiten alcanzar una relación beneficio/costo de 3,12, lo cual, es 2,4 veces la relación a la destilería sin las opciones PML; por ende, mayores beneficios económicos, dados por el ahorro de madera, de la venta de abono y del ensilaje de bagacillo. Además, la comparación de los indicadores ambientales del funcionamiento del proceso sin las opciones PML y con la implementación muestra, por ejemplo, que las vinazas generadas disminuyen desde 8,05 hasta 0 L/L, de alcohol producido.

Similarmente, ocurre con la madera consumida, que se ve reducida desde 0,11 hasta 0 m³/L, de alcohol producido. Mientras que productos beneficiosos, como el biogás y compost producidos, se pueden presentar con la implementación de las PML, hasta 12,61 L de biogás y 13,05 kg de compost de bagazo, por cada L de alcohol elaborado, respectivamente. Esto denota que todos los indicadores medioambientales con las PML son positivos.

Del presente estudio, se puede concluir que los principales problemas detectados en la destilería “Rivera Revilla Fray Ángel” son la generación de residuos sólidos y líquidos, correspondiendo a bagazo, bagacillo y vinazas. La relación beneficio/coste con las opciones PML es de 3,12 frente a 1,29 sin ellas, lo que indica los beneficios económicos de incorporarlas al proceso. Además, todos los indicadores medioambientales son positivos en comparación con el proceso sin opciones de PML, por lo que las alternativas seleccionadas pueden conducir a la gestión de buenas prácticas ambientales y al cumplimiento de la legislación medioambiental nacional.

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

REFERENCIAS

1. CÁRDENAS GILER, E.V.; MALDONADO ERAZO, J.M.; VALDEZ SILVA, R.A.; SARDUY-PEREIRA, L.B.; DIÉGUEZ-SANTANA, K. 2019. La producción más limpia en el sector porcino. Una experiencia desde la Amazonia Ecuatoriana. *Anales Científicos*. 80(1):60. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i1.1288>
2. CENTRO ECUATORIANO DE EFICIENCIA DE RECURSOS, CEER. 2019. Guía de producción más limpia: Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción Más Limpia CEER. Disponible desde Internet en: http://www.ceer.ec/new_descargasotrs.php (con acceso el 15/03/2020).
3. CHANFÓN-CURBELO, J.M.; LORENZO ACOSTA, Y. 2014. Alternativas de tratamiento de las vinazas de destilería. Experiencias nacionales e internacionales. *Revista Centro Azúcar*. 41(2):56-67.

4. DIÉGUEZ-SANTANA, K.; SARDUY-PEREIRA, L.B.; CASAS-LEDÓN, Y.; ARTEAGA-PÉREZ, L.E. 2021. Cleaner production implementation in a cocoa processing plant in Ecuadorian Amazon. *J. Environmental Accounting and Management*. 9:173-188.
<https://doi.org/10.5890/JEAM.2021.06.006>
5. GARCÍA-PRADO, R.; PÉREZ-MARTÍNEZ, A.; DIÉGUEZ-SANTANA, K.; MESA-GARRIGA, L.; GONZÁLEZ-HERRERA, I.; GONZÁLEZ-CORTÉS, M.; GONZÁLEZ-SUAREZ, E. 2015. Incorporación de otras materias primas como fuentes de azúcares fermentables en destilerías existentes de alcohol. *Rev. Facultad de Ingeniería*. 75:130-142.
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.n75a13>
6. GUALLO AGUINDA, N.G.; SARDUY-PEREIRA, L.B.; OROZCO CRESPO, E.; DIÉGUEZ-SANTANA, K. 2020. Las producciones más limpias en el sector textil manufacturero. Un caso de estudio en Tena, Napo, Ecuador. *Mikarimin. Rev. Científica Multidisciplinaria*. 6:201-218.
7. MARQUES MATOS, L.; ANHOLON, R.; DA SILVA, D.; COOPER ORDOÑEZ, R.E.; GONÇALVES QUELHAS, O.L.; LEAL FILHO, W.; DE SANTA-EULALIA, L.A. 2018. Implementation of cleaner production: A ten-year retrospective on benefits and difficulties found. *J. Cleaner Production*. 187:409-420.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.181>
8. PARSAEE, M.; KIANI DEH KIANI, M.; KARIMI, K. 2019. A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and Bioenergy*. 122:117-125.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>
9. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE PASTAZA, PDYOT. 2017. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Pastaza (PDyOT) al año 2025. Ajuste 2017, Administración 2014-2019. Puyo, Pastaza, Ecuador. Disponible desde Internet en: http://www.pastaza.gob.ec/planificacion/pdot_provincial_actualizacion_2017.pdf (con acceso el 15/03/2020).
10. RAMOS-RAMOS, T.P.; GUEVARA-LLERENA, D.J.; SARDUY-PEREIRA, L.B.; DIÉGUEZ-SANTANA, K. 2020. Producción más limpia y ecoeficiencia en el procesado del cacao: un caso de estudio en Ecuador. *Investigación & Desarrollo*. 20:135-146.
<https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-10i>
11. ROA ESPÍNOLA, C.; RENAUT AQUINO, J. 2013. Calidad del ensilado de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) influenciado por la utilización de aditivos para el control de etanol. *Investigación Agraria*. 9(2):65-71.
12. SOTO-CABRERA, A.I.; PANIMBOZA-OJEDA, A.P.; ILIBAY-GRANDA, C.G.; VALVERDE-LARA, C.R.; DIÉGUEZ-SANTANA, K. 2020. Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador. *Prospectiva*. 18:60-68.
<https://doi.org/10.15665/rp.v18i1.2101>

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 2021. Nuestra gratitud a su invaluable colaboración.

En reconocimiento publicamos a continuación sus nombres:

- Ph.D. Luis Antonio Aguirre Mendoza, Universidad Nacional de Loja, Loja, **Ecuador**
Ph.D. Javier Giovanni Álvarez Herrera, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, **Colombia**
Ph.D. Luz María Alzate Tamayo, Unilasallista, Caldas, **Colombia**
Ph.D. Eugenio Alberto Aragón Noriega, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Sociedad Civil, La Paz, **México**
Ph.D. Rita María Ávila G. de Hernández, Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, **Venezuela**
Ph.D. Helber Enrique Balaguera López, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, **Colombia**
Ph.D. Edwin Javier Barrios Gómez, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Ciudad de México, **México**
Ph.D. Javier Eduardo Berger, Escuela de Robótica Misiones, Posadas, **Argentina**
Ph.D. Sofía Borrego Alonso, Archivo Nacional de la República de Cuba, La Habana, **Cuba**
Ph.D. Hugo Briseño Ramírez, Universidad Panamericana, Ciudad de México, **México**
Ph.D. Rosângela Brito, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, **Brasil**
Ph.D. Nancy Burguet Lago, Unidad de Investigación y Desarrollo Empresa AICA, La Habana, **Cuba**
Ph.D. Alexander Calero Hurtado, Universidad de Sancti Spiritus “José Martí Pérez”, Sancti Spiritus, **Cuba**
Ph.D. Edwin Castro Rincón, Corporación colombiana de investigación agropecuaria-Agrosavia, Nariño, **Colombia**
Postdoc. Jânia Lília da Silva Bentes, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, **Brasil**
M.Sc. Yulí Alexandra Deaquiz Oyola, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, **Colombia**
M.Sc. Johannes Delgado Ospina, Universidad de San Buenaventura Cali, Cali, **Colombia**
Ph.D. Liliana del Valle Di Feo, Instituto de Patología Vegetal, Córdoba, **Argentina**
Ph.D. Patricia Devezé Murillo, Universidad Veracruzana, Xalapa, **México**
M.Sc. Mónica Judith Espadero Bermeo, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, **Ecuador**
Ph.D. Enrique Hernández Leal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Ciudad de México, **México**
Ph.D. Javier Hernández Morales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, **México**
Postdoc. Braulio Edgar Herrera Cabrera, Colegio de Postgraduados, Montecillo, **México**
Ph.D. José Alberto Iannacone Oliver, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, **Perú**
Ph.D. Alberto Marcial Julca Otiniano, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, **Perú**
Postdoc. Philippe Lachenaud, Cirad - La recherche agronomique pour le développement, Montpellier, **Francia**
Ph.D. Pablo Lacoste Gargantini, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, **Chile**
M.Sc. Cecilia Irene Loeza Mejía, Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, **México**
Ph.D. Liliana Londoño Hernández, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, **Colombia**
Ph.D. Irineo Lorenzo López Cruz, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, **México**
Ph.D. Francel Xavier López Mejía, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, **Ecuador**
Postdoc. José Alí Moncada, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, **Ecuador**
Ph.D. Álvaro Monteros Altamirano, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Quito, **Ecuador**
Postdoc. Jemay Mosquera Téllez, Universidad de Pamplona, Pamplona, **Colombia**
Ph.D. Sofía Eugenia Olmos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, **Argentina**
M.Sc. Hernán Palau, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, **Argentina**
M.Sc. Fernando Peña Baracaldo, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá, **Colombia**
Ph.D. Claudia Pérez Mendoza, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Ciudad de México, **México**
Ph.D. María Carolina Pire Sierra, Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, **Venezuela**
Ph.D. Rosa Coromoto Razz García, Universidad del Zulia, Maracaibo, **Venezuela**
M.Sc. Dunia Rodríguez Heredia, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, **Cuba**
Ph.D. Martín Rubí Arriaga, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca de Lerdo, **México**
Ph.D. Martín Salvador Silberman, Universidad Nacional Arturo Jauretche, Florencio Varela, **Argentina**
Ph.D. Samuel Sánchez Gálvez, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, **Ecuador**
Postdoc. Alírica Isabel Suárez Hernández, Universidad Central de Venezuela, Caracas, **Venezuela**
Ph.D. Marco Antonio Torres Castro, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, **México**
Ph.D.(c). Ignacio Eduardo Troncoso Toro, Universidad del Alba, Santiago, **Chile**
Ph.D. Javier Enrique Vélez Sánchez, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, **Colombia**
Ph.D. Daisy Vidal Gutiérrez, Universidad de Concepción, Concepción, **Chile**
Ph.D. Ingeborg Zenner de Polania, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, **Colombia**

