

REVISTA

U.D.C.A

ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Revista Científica | ISSN: 2619-2551 (en línea) ISSN: 0123-4226 (impreso) | Julio-Diciembre 2023 | Volumen 26 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. 910 de 2021, SciELO Colombia, Reseñada en Latindex e incluida en la base de datos Periódica UNAM, México, en el Directory of Open Access Journals-DOAJ y en la Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico-REDIB.

La gratuidad para el autor y el lector obedece a la financiación de la revista por parte de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y a la colaboración desinteresada de los evaluadores externos. Además, el presente número cuenta con el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, a través de la convocatoria No. 1041 de 2022.

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

FOCUS AND SCOPE

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

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

The journal has been edited, without interruption, since 1998 and is indexed in Scopus, Chemical Abstracts, CAB Abstract, Publindex National Bibliographic Index classified in “B” Announcement No. 910 of 2021, SciELO Colombia, Review in Latindex and included in the database Periodica UNAM, Mexico, in the Directory of Open Access Journals-DOAJ, and in the Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico-REDIB.

The not charges for the publication to the authors and the free access to the readers obey to the financing of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales and the disinterested collaboration of the peer reviewers. Furthermore, this issue has the financial support of the Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, through announcement No. 1041 of 2022.

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

FOCO E ESCOPO

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

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

A revista tem uma trajetória de mais de 20 anos e se encontra indexada no Scopus, Chemical Abstracts, CAB Abstract, Índice Bibliográfico Nacional Publindex classificada em “B” anuncio No.910 de 2021, SciELO Colombia, revisada em Latindex e incluída na base de dados Periódica UNAM, México, no the Directory of Open Access Journals-DOAJ, e na Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico-REDIB

A gratuidade para o autor, como para o leitor, deve-se ao apoio financeiro da Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales e a colaboração desinteressada dos avaliadores externos. Além disso, esta edição conta com o apoio financeiro do Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, através do anuncio No 1041 de 2022.

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

EQUIPO EDITORIAL

Editor

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

Comité editorial

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

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

Marlete Brum Cleff
Universidade Federal de Pelotas UFP
Pelotas, Brasil

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

Comité científico

Adriana Posada Arrubla
Investigador Independiente
Bogotá, Colombia

Alfonso Javier García
Universidad de Sevilla
Sevilla, España

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

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

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

Félix Ignacio Contreras
Universidad Nacional del Nordeste Corrientes
Corrientes, Argentina

Francisco Alonso Solís Marín
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México

Galdino Andrade Filho
Universidade Estadual de Londrina
Londrina, Brasil

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

Jhon James Mora Rodríguez
Universidad ICESI
Cali, Colombia

José Eleutério Junior
Universidade Federal do Ceará
Ceará, Brasil

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

José Siles González
Universidad de Alicante
Alicante, España

Laura Barcia Rivera
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay

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

Samuel Moisés Nucamendi Guillén
Universidad Panamericana
Guadalajara, México

Sandra Quijas Fonseca
Universidad de Guadalajara
Puerto Vallarta, México

Sildivane Valcácia Silva
Universidade Federal da Paraíba
Paraíba, Brasil

Violeta Corona
Universidad Panamericana
Guadalajara, México

Equipo colaborador

Correctora de estilo y ortográfica
Norella Castro Rojas

Asistente editorial
Héctor William Duarte Gómez

Diagramador
Fabian Ernesto Ramírez Cárdenas

CONTENIDO
Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica
Volumen 26 número 2- julio-diciembre, 2023
<https://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023>

EDITORIAL

Evolución de la matrícula estudiantil en la U.D.C.A
Germán Anzola Monteroe2523
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2523>

CIENCIAS AGRARIAS

Modelo no destructivo para estimar el área foliar individual mediante parámetros alométricos en gulupa (*Passiflora edulis* fo. *edulis*)
Marilcen Jaime-Guerrero; Javier Giovanni Álvarez-Herrera; Jesús Hernán Camacho-Tamayoe2356
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2356>

Modelos de regresión para predecir la cosecha con variables asociadas a la calidad del fruto, el tiempo de defoliación y la altitud del durazno Jarillo
Enrique Quevedo-García; Miguel Antonio Murcia-Rodríguez; Martha Patricia Ochoa-Reyese2235
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2235>

Diversidad microbiana en estudios de fertilización mineral de larga duración en caña de azúcar
Mónica Tamayo-Isaac; Dolores del Rosario Piñón-Gómez; Ignacio Ramos-Tapia; Pablo D. Pablos-Reyes; Yaquelín Puchades-Izaguirre; Jorge Soto-Winkler; René Barbosa-García; Guillermo Reynosa-Rodríguez; Manuel Panequee2511
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2511>

Contenido de clorofila en hojas de palto con diferentes niveles poblacionales de *Oligonychus punicae* Hirst y su impacto en el rendimiento
Gabriela Deza-Deza; Jorge Pinna-Cabrejose2370
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2370>

Estimating carcass yield of lambs fed with silage of *Cenchrus purpureus* in a mix with *Tithonia diversifolia*
María Alexandra Huertas-González; Jairo Mora-Delgado; Vilma Amparo Holguín-Castañoe2423
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2423>

Evaluación de la condición corporal en caballos deportivos en una academia ecuestre de Cundinamarca, Colombia
Juan C. Velásquez-Mosquera; Viviana Parra-Ruiz; Juanita Bayona-Vélez; Paula N. Cavanzo-Farfán; Daniel A. Bautista-Cepeda; Alexander Navas-Panaderoe2437
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2437>

CFD-response surface methodology to optimize the effective thermal conductivity and homogeneity in tray dryer
Hugo Fabian Lobatón-García; Natali López-Mejía; Wilmer Cruz-Guayacundoe2241
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2241>

Development of a predictive model for the growth of *Staphylococcus aureus* in costeño chesee covered with active film
Rafael González-Cuello; Fidel Guardo-Palomino; Leidy Mendoza-Novae2245
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2245>

Estudio químico del aceite y torta de semillas de *Crescentia cujete*: reporte de caso
Jennifer Lafont-Mendoza; Amelia Espitia-Arrieta; Francisco Torres-Hoyose2132
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2132>

CIENCIAS NATURALES

Capacidad antibacteriana de la leche y el calostro bovino, caprino, bufalino y humano, contra bacterias de importancia clínica
Lyda Caballero-Méndez; Luz Natalia Franco-Montoya; Margarita María Mazo-Cardona; Juan Carlos Echeverry; Luisa Ospina-Londoño; Valeria Quintero-Cifuentes; Bryam Ortiz-Valenciae2100
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2100>

Diversidad, densidad poblacional y distribución espacial de equinoideos regulares (Echinodermata: Echinoidea) en Isla Fuerte, Colombia
David Olascoaga-Valverde; Carlos A. Nisperuza-Pérez; Juan Yepes-Escobar; Jorge A. Quirós-Rodrígueze2254
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2254>

Evaluación de resiliencia urbana: percepción ciudadana en paisajes sostenibles, agroforestería y regeneración del espacio público
Christian Valderrama; Alexandra Cerone2246
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2246>

Valoración económica por servicios recreativos del río Hacha en el piedemonte amazónico colombiano
Yelly Yamparli Pardo-Rozo; Leonardo Alonso Saldaña-Fonseca; Marlon Peláez-Rodrígueze2428
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2428>

Observaciones en cautiverio de la medusa *Lycbhorbiza* aff. lucerna en el departamento del Magdalena
Santiago González-Rojas; Pedro Porto; Adriana Rodríguez-Forero; Sigmer Quirogae2224
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2224>

Caracterización estructural, térmica y morfológica de *Crescentia cujete* (totumo) con potencial uso como polímero biodegradable
Raúl Fernando Sánchez-Aguilar; Yineer Alexis Castillo; Sandro Alberto Ibarra-Sánchez; Javier Andrés Muñoz-Chavese2398
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2398>

CIENCIAS SOCIALES

University scientific production: The case of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (Bogotá, Colombia)
Luz Piedad Romero-Duque; Germán Anzola Monteroe2478
<http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2478>

PARES EVALUADORES

Evolución de la matrícula estudiantil en la U.D.C.A

Evolution of student enrollment at the U.D.C.A

Germán Anzola Montero¹ 

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

Como citar: Anzola Montero, G. 2023. Evolución de la matrícula estudiantil en la U.D.C.A. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2523. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2523>

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.

El Ministerio de Educación Nacional, mediante Resolución No. 01739027 de diciembre de 2019, otorgó la Acreditación Institucional de Alta Calidad a la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, por un periodo de 4 años (2019-2023).

En el anterior contexto, la Universidad, a partir de enero de 2020, continuó su proceso de mejorar continua con altos estándares de calidad, buscando la excelencia en sus procesos académicos y administrativos y, a través de sus órganos directivos, expidió los Acuerdos que permitieron establecer el Plan de Acción para la Renovación de la Acreditación Institucional, el cual, permitió tener una guía para el cumplimiento de objetivos y de metas del proceso de renovación de acreditación Institucional; igualmente, se aprobó la creación de la Dirección de Aseguramiento de la Calidad, encargada de coordinar todos los procesos de Registro Calificado y Acreditación de programas e institucional.

Durante el 2022, se desarrolló, bajo la coordinación general de la Rectoría, el proceso de autoevaluación con fines de renovación de la acreditación institucional, cuyo documento fue radicado en diciembre de 2022, ante el Consejo Nacional de Acreditación –CNA–.

Durante el periodo de acreditación 2020-2023, la Universidad ha tenido un desempeño destacado en sus diferentes indicadores académicos y en procesos administrativos, los cuales, han sido informados al Consejo Directivo, en sus reuniones mensuales ordinarias, a través de los correspondientes informes sobre el proceso de renovación de la acreditación institucional.

El presente informe corresponde a uno de los estamentos más representativos de la comunidad académica institucional, como son los estudiantes; en él, se hace un análisis comparativo sobre la tendencia de la matrícula estudiantil en programas de pregrado y posgrado en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, durante el periodo de acreditación 2020-2023 y consta de cuatro partes.

La primera parte muestra la información sobre la oferta académica de los programas, tanto de pregrado como de posgrado, con Registro Calificado activo. La segunda sección del informe consta de un apartado con el análisis de la matrícula global en la Universidad, su comportamiento e indicadores, para los programas de pregrado y posgrado.

La tercera parte analiza el comportamiento de la matrícula en estudiantes de pregrado y posgrado por cada una de las áreas de conocimiento y muestra el análisis comparativo de la matrícula estudiantil, de forma específica, en cada uno de los programas de pregrado, incluyendo, aquellos de alta, media y baja demanda. Seguidamente, se presenta el análisis sobre la evolución de la matrícula estudiantil en los diferentes niveles de posgrado, en especializaciones, maestrías y doctorados, durante el periodo de acreditación.

El informe se cierra con las conclusiones, con relación al desempeño de la matrícula estudiantil, durante el periodo de acreditación.

Programas y áreas del conocimiento

La Universidad cuenta, actualmente, con 48 programas académicos con Registro Calificado activo, de los cuales, 21 son programas de pregrado y 27, de posgrado, agrupados en siete áreas del conocimiento.

Programas de pregrado. Los 21 programas de pregrado que oferta la U.D.C.A, 19 son universitarios, una tecnología y un programa técnico. De estos, nueve programas universitarios se encuentran acreditados en alta calidad, lo que corresponde al 47 %.

La distribución de los programas de pregrado por áreas del conocimiento se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Programas de pregrado con Registro Calificado vigente.

Área de Conocimiento	Programa	Estado de Acreditación	Total Programas
Ciencias Administrativas y Comerciales	Administración de Empresas	Acreditado	6
	Contaduría Pública		
	Finanzas		
	Ingeniería Comercial		
	Negocios Internacionales		
	Mercadeo		
Ciencias Agropecuarias	Ingeniería Agronómica	Acreditado	5
	Medicina Veterinaria	Acreditado	
	Medicina Veterinaria y Zootecnia (Bogotá)	Acreditado	
	Medicina Veterinaria y Zootecnia (Cartagena)		
	Zootecnia	Acreditado	
Ciencias de la Salud	Enfermería	Acreditado	4
	Medicina	Acreditado	
	Profesional en Ciencias del Deporte	Acreditado	
	Técnico profesional en Entrenamiento Deportivo		
Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad	Ciencias Ambientales	Acreditado	3
	Ingeniería Geográfica y Ambiental		
	Tecnología en Análisis Ambiental		
Ciencias	Química	Acreditado	2
	Química Farmacéutica		
Ciencias Jurídicas	Derecho		1
Total Programas			21

Fuente: Datos de Registro Calificado, suministrados por la Dirección de Aseguramiento de la Calidad U.D.C.A, 2023.

Programas de posgrado. Los 27 programas de posgrado se encuentran distribuidos así: dos de Doctorado (7 %); siete de Maestría (26 %) y dieciocho programas de Especialización (67 %). A la fecha, ningún programa de posgrado se encuentra acreditado en alta calidad; sin embargo, se encuentran avanzando en el proceso de autoevaluación con fines de acreditación dos programas de posgrado: Maestría en Ciencias Ambientales y Maestría en Ciencias del Deporte.

La distribución de los programas de posgrado por áreas del conocimiento se observa en la tabla 2.

Como hecho destacado durante el periodo de acreditación se alcanzó la creación y el otorgamiento de Registro Calificado a dos programas de doctorado: Doctorado en Ciencias de la Sostenibilidad y Doctorado en Ciencia Animal.

Análisis general de la matrícula estudiantil

Situación general. Una de las problemáticas que afecta la educación superior en el país, al presente, es la pérdida neta de estudiantes

matriculados, situación que se agudizó desde la aparición de la pandemia por el COVID-19 y que, posteriormente, ha persistido en el periodo postpandemia.

La deserción estudiantil en la educación superior se estima, para el 2023, en cifras que oscilan entre el 25 y 35 %, desde el inicio de la pandemia, a la fecha. Específicamente para las universidades privadas, a nivel nacional, en algunos casos, las cifras de deserción han llegado hasta el 40 % de la población estudiantil, desde el inicio de la pandemia y en el periodo posterior.

En las universidades públicas, también se presenta el problema de la pérdida de estudiantes, a pesar del programa de matrícula cero, en estas instituciones.

Situación en la U.D.C.A. En este aspecto de la deserción estudiantil, la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A muestra un desempeño sobresaliente evidenciado en los indicadores de matrícula estudiantil neta en los últimos ocho periodos académicos (que incluyen la pandemia) y que corresponden al periodo de acreditación institucional de 4 años: 2020-2023.

Tabla 2. Programas de posgrado con Registro Calificado vigente.

Área de Conocimiento	Programa	Total Programas
Ciencias Agropecuarias	Especialización en Epidemiología Veterinaria	15
	Especialización en Laboratorio Clínico Veterinario	
	Especialización en Mejoramiento Animal	
	Especialización en Nutrición Animal Aplicada	
	Especialización en Producción Animal	
	Especialización en Bovina Tropical y Transferencia de Embriones	
	Especialización en Sanidad Animal	
	Especialización en Manejo Sostenible de Suelos	
	Especialización en Nutrición Animal (Distancia)	
	Especialización en Producción Nutrición Animal (Distancia)	
	Especialización en Sanidad Animal (Distancia)	
	Especialización en Laboratorio Clínico Veterinario (Distancia)	
	Maestría en Ciencias Veterinarias	
	Maestría en Agroforestería Tropical	
	Doctorado en Ciencia Animal	
Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad	Especialización en Gestión Social y Ambiental	6
	Especialización en Gestión de Riesgos Climáticos	
	Maestría en Ciencias Ambientales	
	Maestría en Gestión Socioambiental	
	Maestría en Gerencia y Gestión Integral de Residuos Sólidos	
Doctorado en Ciencias de la Sostenibilidad		
Ciencias Administrativas y Comerciales	Especialización en Marketing Digital	2
	Especialización en Sistemas Integrales de Gestión, Seguridad y Salud en el Trabajo	
Ciencias de la Salud	Especialización en Entrenamiento Deportivo	2
	Maestría en Ciencias del Deporte	
Ciencias de la Educación	Especialización en Docencia para la Educación Superior	2
	Maestría en Educación Ambiental	
Total Programas		27

Fuente: Datos de Registro Calificado, suministrados por la Dirección de Aseguramiento de la Calidad U.D.C.A, 2023.

El comportamiento de la matrícula estudiantil en la U.D.C.A refleja una deserción negativa (inferior a 0 %), desde el primer periodo de 2020 hasta el segundo de 2023, lo que se constituye en una excepción, que la coloca entre el grupo del 5 % de las instituciones de educación superior privadas y públicas que no reportaron pérdida neta de estudiantes matriculados.

En la figura 1 y la tabla 3, se observa que durante el rango comprendido entre los periodos 2020 II hasta el 2023 II, no solo se reporta una tasa de deserción negativa, sino que durante el semestre actual 2023 II, se obtuvo la más alta cifra de matrícula estudiantil efectiva de los últimos cinco años (4.957 estudiantes matriculados), lo cual, evidencia un desempeño consistente y sólido de la Universidad, posicionándose como una opción importante

para estudiar, con prestigio social y el atractivo de sus programas, por la calidad académica, el compromiso social y el sello ambiental que la caracteriza.

Al comparar la matrícula estudiantil que se reportó en el inicio de pandemia a la fecha, en el periodo 2020-II, se presentó una pérdida del 14,2 %, pasando de 4.729 estudiantes, en el periodo 2020-I, a 4.055 estudiantes matriculados, en 2020 II; sin embargo, a partir del periodo 2021-I, se evidencia un crecimiento sostenido del número de estudiantes matriculados, con balance de crecimiento en el periodo de acreditación, del 4,6 %, pasando de 4.729 estudiantes en el periodo 2020-I, a 4.957, en 2023 II, lo que representa un incremento neto de 228 estudiantes matriculados, durante el periodo de acreditación.

Tabla 3. Indicadores de matrícula estudiantil general periodo de acreditación, U.D.C.A 2019-II / 2023-II.

Periodo Académico	Número de Estudiantes	Variación de matrícula Deserción por periodo
2020-I	4.729	-----
2020-II	4.055	-14,2 %
2021-I	4.620	+12,2 %
2021-II	4.653	+0,7 %
2022-I	4.677	+0,5 %
2022-II	4.761	+1,7 %
2023-I	4.820	+1,2 %
2023-II	4.957	+2,8 %
2020-II/2023-II	4.729 – 4.957	+4,6 %

Fuente: Datos de matrícula suministrados por la Dirección de las TIC, con corte al 28 de agosto de 2023.

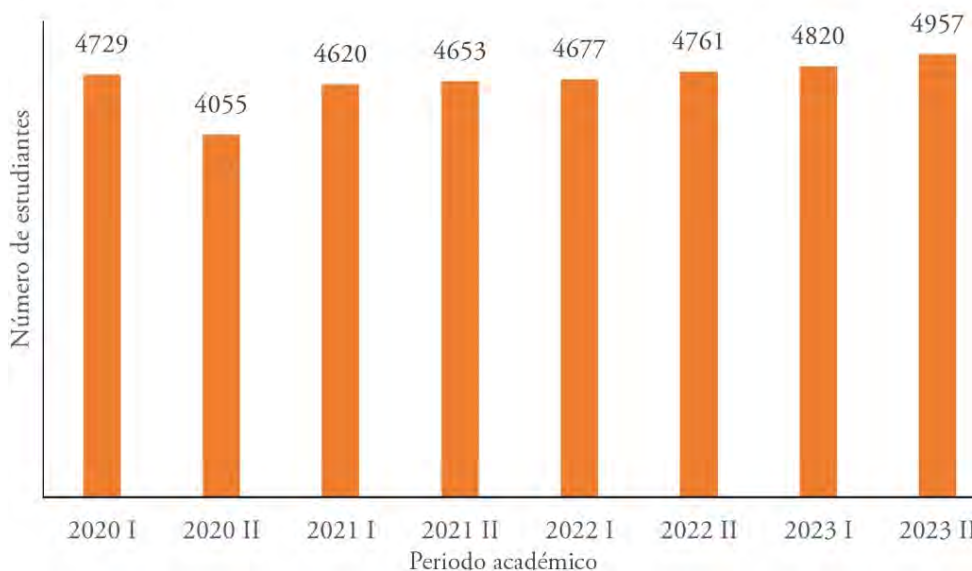


Figura 1. Indicadores de matrícula estudiantil general periodo de acreditación, U.D.C.A 2019-II / 2023-II.

Fuente: Datos de matrícula suministrados por la Dirección de las TIC, con corte al 28 de agosto de 2023.

En la figura 1 se observa una curva de crecimiento sostenido en el número de estudiantes matriculados durante los últimos nueve periodos académicos.

Comportamiento de la matrícula estudiantil en pregrado. El comportamiento de las matrículas estudiantiles en la Universidad refleja que el 95 % del total de estudiantes matriculados son de pregrado.

En la tabla 4 se observa que durante el rango comprendido entre los periodos 2020-I hasta el 2023-II, no se reportó deserción real, por el contrario, se evidencia un crecimiento sostenido del número de estudiantes de pregrado matriculados, con balance de crecimiento durante el periodo de acreditación, del 3,2 %, pasando de 4.585 estudiantes en el periodo 2020-I a 4.736, en 2023-II y ello

representa un incremento neto de 151 estudiantes matriculados, durante el periodo de acreditación.

El programa con mayor número de estudiantes matriculados es Medicina, seguido de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Medicina Veterinaria, Química Farmacéutica y Ciencias del Deporte. Estos cinco programas representan el 67,9 % de la matrícula estudiantil.

Otro elemento que vale la pena señalar es que los programas acreditados Medicina, Veterinaria y Zootecnia, Medicina Veterinaria, Ciencias del Deporte, Enfermería, Ingeniería Agronómica, Ingeniería Geográfica y Ambiental, Ingeniería Comercial y Zootecnia, en su conjunto, representan el 72,5 % del total de estudiantes matriculados en pregrado, que corresponden a 3.428 estudiantes. En la tabla 5 se observa la distribución de la matrícula de estudiantes por programa.

Tabla 4. Matrículas estudiantiles de programas de pregrado. Periodo de acreditación. U.D.C.A.

Periodo Académico	Número de Estudiantes de Pregrado	Variación de la Matrícula
2020-I	4.585	-----
2020-II	3.877	-18,3 %
2021-I	4.356	+11 %
2021-II	4.359	+1 %
2022-I	4.423	+1,4 %
2022-II	4.510	+1,9 %
2023-I	4.577	+1,5 %
2023-II	4.736	+3,4 %
2020-II / 2023-II	4585 - 4736	+3,2 %

Fuente: Datos de matrícula suministrados por la Dirección de las TIC, con corte al 28 de agosto de 2023.

Tabla 5. Matrículas estudiantiles de programas de pregrado. Periodo de acreditación. U.D.C.A 2023 II.

Programa	Estudiantes Matriculados	Porcentaje Relativo
Medicina	1002	21,2 %
Medicina Veterinaria	638	13,5 %
Medicina Veterinaria y Zootecnia (Bogotá)	628	13,2 %
Química Farmacéutica	508	10,7 %
Profesional en Ciencias del Deporte	436	9,2 %
Enfermería	289	6,1 %
Medicina Veterinaria y Zootecnia (Cartagena)	221	4,7 %
Ingeniería Agronómica	152	3,2 %
Derecho	129	2,7 %
Zootecnia	96	2 %
Ingeniería Geográfica y Ambiental	94	2 %
Ingeniería Comercial	93	2 %
Química	90	1,9 %
Negocios Internacionales	89	1,9 %
Técnico profesional en Entrenamiento Deportivo	65	1,4 %
Ciencias Ambientales + Tecnología en Análisis Ambiental	63	1,3 %
Administración de Empresas	57	1,2 %
Contaduría Publica	32	0,7 %
Finanzas	28	0,6 %
Mercadeo	26	0,5 %
TOTAL	4.736	100 %

Fuente: Datos de matrícula suministrados por la Dirección de las TIC, con corte al 28 de agosto de 2023.

Comportamiento de la matrícula estudiantil en posgrado.

Los indicadores de la matrícula estudiantil en programas de posgrado representan el 5 % del total de estudiantes matriculados en la Universidad, lo cual, continúa mostrando un punto de mejoramiento, que permite fortalecer la promoción y la visibilidad de estos programas, lo que redundará, positivamente, en el incremento del número de estudiantes en los programas de posgrado, a todos los niveles de especialización, maestría y doctorado. Este crecimiento en el número de estudiantes matriculados repercutirá, de manera precisa, en el aumento porcentual relativo del número de estudiantes de posgrado frente al total de estudiantes.

En la tabla 6 se observa que, durante el rango comprendido entre los periodos 2020-I al 2023-II, tampoco se reportó deserción, por el contrario, se evidenció un crecimiento del número de estudiantes de posgrado matriculados, pasando de 144 estudiantes, en 2020-I, a 221, en 2023-II, con balance de crecimiento del 34,8 %, que representa un incremento neto de 77 estudiantes matriculados, durante el periodo de acreditación.

Tabla 6. Matriculas estudiantiles de programas de posgrado. Periodo de acreditación. U.D.C.A 2023 II.

Periodo Académico	Estudiantes Matriculados en Posgrado
2020-I	144
2020-II	178
2021-I	264
2021-II	294
2022-I	254
2022-II	251
2023-I	243
2023-II	221

Fuente: Datos de matrícula suministrados por la Dirección de las TIC, con corte al 28 de agosto de 2023.

CONCLUSIONES

El desempeño y la evolución de la matrícula estudiantil de la Universidad durante el periodo de acreditación 2020-I / 2023-II, evidencia indicadores sobresalientes en el contexto de la educación superior colombiana, mostrando un crecimiento sostenido durante este periodo.

El crecimiento sostenido en el número de estudiantes matriculados en la Universidad muestra que no se presenta pérdida de estudiantes neta, lo que evidencia una deserción cero (0,0), indicador que coloca a la Universidad con un comportamiento excepcional, en el contexto de la educación superior colombiana.

Otro indicador importante y que se destaca en este periodo de acreditación (2020-I / 2023-II), se evidencia que, en el periodo 2023-II, se obtuvo el mayor número de estudiantes matriculados en los últimos ocho periodos académicos.

La composición de los estudiantes matriculados en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A muestra que la gran mayoría (9 de cada 10 estudiantes), corresponde a estudiantes de pregrado, indicador que ratifica que la Institución, fundamentalmente, es de formación con énfasis en la formación universitaria.

Los programas con mayor número de estudiantes matriculados en los programas de pregrado son: Medicina, Medicina Veterinaria,

Medicina Veterinaria y Zootecnia (Bogotá), Química Farmacéutica y Ciencias del Deporte.

Igualmente, se evidenció que para el periodo académico 2023-II, los programas acreditados representan 72,2 % del total de estudiantes matriculados en pregrado. Este indicador refleja las preferencias de los estudiantes por los programas acreditados para seleccionar el programa, en el cual, se matriculan y representa una revalidación de la importancia de la calidad académica, al momento de decidir una matrícula.

Recomendaciones generales

Teniendo en cuenta que el desempeño de la matrícula estudiantil en la Universidad es sobresaliente en el contexto de la educación superior colombiana, durante el periodo de acreditación, este aspecto debe ser resaltado durante el proceso de evaluación externa, que realizarán los pares académicos, designados por el Consejo Nacional de Acreditación.

El buen desempeño de la matrícula estudiantil en la U.D.C.A en el periodo de acreditación institucional es pertinente que sea reconocido al interior de la comunidad universitaria y se debe apropiar como un logro.

La Unidad de Admisiones debe brindar especial atención a los procesos de ingreso en los programas de mayor demanda como lo son Medicina, Medicina Veterinaria, Medicina Veterinaria y

Zootecnia Bogotá, Química Farmacéutica y Ciencias del Deporte, con el objeto de identificar las razones de su buena aceptación, experiencia que puede ser susceptible de replicar en otros programas de menor demanda de matrícula.

Se hace necesario fortalecer las estrategias que permitan incrementar la matrícula estudiantil en los programas de posgrado, especialmente, en los de maestría.

Es recomendable que los diferentes programas de pregrado impulsen la doble titulación entre programas afines, regulado y aprobado por

el Consejo Académico, desde finales del 2017, lo cual, hará más atrayente la oferta académica de la Universidad.

El presente Editorial contó con la colaboración y análisis del Vicerrector General de la Universidad, doctor Jairo Alfonso Téllez Mosquera, quien ha liderado, junto con la Dirección de Aseguramiento de la Calidad, todo el proceso de Acreditación Institucional.

Modelo no destructivo para estimar el área foliar individual mediante parámetros alométricos en gulupa (*Passiflora edulis* fo. *edulis*)

Non-destructive model to estimate the individual foliar area by allometric parameters in gulupa (*Passiflora edulis* fo. *edulis*)

Marilcen Jaime-Guerrero¹ ; Javier Giovanni Álvarez-Herrera^{2*} ; Jesús Hernán Camacho-Tamayo³ 

¹Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigaciones Agrícolas - GIA. Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: marilcen.jaime@uptc.edu.co

²Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: javier.alvarez@uptc.edu.co

³Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C., Colombia; e-mail: jhcamachot@unal.edu.co.

*autor de correspondencia: javier.alvarez@uptc.edu.co

Cómo citar: Jaime-Guerrero, M.; Álvarez-Herrera, J.G.; Camacho-Tamayo, J.H. 2023. Modelo no destructivo para estimar el área foliar individual mediante parámetros alométricos en gulupa (*Passiflora edulis* fo. *edulis*). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2356. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2356>

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 3 de 2023

Aceptado: julio 25 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La gulupa es uno de los frutos que ha aumentado sus exportaciones desde Colombia en los últimos 15 años, debido a sus características organolépticas. Conocer el área foliar (AF) en este cultivo es importante; sin embargo, no se conocen métodos prácticos que permitan su cálculo. El objetivo fue desarrollar modelos no destructivos para estimar el AF individual, mediante parámetros alométricos en hojas de gulupa. El AF se determinó en 100 hojas, mediante dos métodos estándar: el medidor portátil láser CI-202 y el software Easy Leaf Area (ELA). Se midió la longitud del lóbulo central (L), el lóbulo derecho (LD) e izquierdo (LI), el ancho base en los lóbulos (a) y el ancho entre las puntas terminales de los lóbulos (b) y se calculó la longitud total (Lt), como la suma de L+LD+LI. Los modelos lineales con mayor coeficiente de determinación (R^2) fueron los que relacionaron las variables L^*a (0,9377; 0,9756) y Lt^*a (0,9430; 0,9841), para el AF, medida con el CI-202 y con el ELA respectivamente, frente al AF estimada. Se validaron R^2 de 0,9336 y 0,9612, entre el área de la hoja medida en la localidad de Arcabuco y la estimada con L^*a para los dos métodos empleados, mientras que para la estimación del AF con base en Lt^*a , se encontraron R^2 de 0,9552 y 0,9680, lo que convierte al método ELA como el más confiable para medir el AF y que la variable alométrica Lt^*a permite encontrar la mejor predicción de AF individual en hojas de gulupa.

Palabras clave: Alometría; Desarrollo vegetal; Modelo matemático; Método no destructivo; Passifloraceae.

ABSTRACT

Gulupa is one fruit that has increased its exports from Colombia in the last 15 years due to its organoleptic characteristics. Knowing the leaf area (LA) in the gulupa crop is relevant, however there are no known practical methods that allow its calculation. The objective was to develop non-destructive models to estimate the individual LA through allometric parameters in gulupa leaves. The LA was determined in 100 leaves, using two standard methods: the laser portable meter CI-202 and the Easy Leaf Area software (ELA). The length of the central lobe (L), the right lobe (LD) and left (LI), and the width of the base of the lobes (a), and between the terminal tips of the lobes (b) were measured, and the total length (Lt) was calculated, as the sum of L+LD+LI. The linear models with the highest determination coefficient (R^2) were the ones that related the variables L^*a (0.9377; 0.9756) and Lt^*a (0.9430; 0.9841) for the measurement of the LA with the CI-202 and the ELA respectively, and according to the estimated AF. The R^2 of 0.9336 and 0.9612 were validated, between the area of the leaf measured in Arcabuco and the estimated with L^*a for the two methods used, while for the estimation of LA based on Lt^*a for the two methods employed were found R^2 of 0.9552 and 0.9680, which makes the ELA method the most reliable to measure AF and that the allometric variable Lt^*a allows obtain the best prediction of individual AF in gulupa leaves.

Keywords: Allometry; Mathematical model; Nondestructive method; Plant development; Passifloraceae.

INTRODUCCIÓN

La gulupa (*Passiflora edulis* fo. *edulis*) es un frutal promisorio, también conocido en Colombia como el fruto púrpura de la pasión o purple passion fruit, chulupa morada o maracuyá morado (De Armas Acosta *et al.* 2022) que, según Jiménez *et al.* (2012) es una planta perenne, semileñosa con crecimiento indeterminado y sus hojas son alternas, trilobuladas y glabras. Este frutal es de gran importancia económica, debido a sus propiedades organolépticas y contenido nutricional, como el hierro y vitaminas A, B y C (Jiménez *et al.* 2012). De las exportaciones de frutos que Colombia hace hacia Europa, la gulupa ocupa el tercer lugar después del banano y la uchuva, con volúmenes que aumentaron en un 32 %, del 2017 al 2018, en el cual, se registraron producciones de 276.847 t (MADR, 2021) y rendimientos de 16,55 t ha⁻¹, en donde el departamento de Antioquia concentra la producción con 13.161 t (Rodríguez-Polanco *et al.* 2022), seguido de Huila, Valle del Cauca y Boyacá (MADR, 2021).

El cultivo de gulupa alcanza los mayores valores de producción y calidad entre los 1.000 y 2.000 m s.n.m.; no obstante, se puede sembrar entre los 1.600 a 2.300 m s.n.m., con temperaturas que varían entre 15 y 22 °C, en el día y de 12 a 14 °C, en la noche (Fischer & Miranda, 2021). Asimismo, requiere de suministros hídricos de 900 a 1.200 mm por año, distribuidos de manera uniforme y radiaciones que no superen los 1.000 μmol de fotones m² s⁻¹, lo que favorece el rendimiento (Miranda *et al.* 2009). Además, Paull & Duarte (2012) mencionan que valores de potencial hídrico en el suelo que sean menores a -1,3 MPa reducen el desarrollo del área foliar, la floración y la producción del cultivo.

Con el fin de conocer los parámetros fisiológicos de las plantas, como fotosíntesis, transpiración, interceptación de luz, asignación de biomasa, balance energético y algunos parámetros de los análisis de crecimiento es necesario la medición del área foliar (AF), debido a que su cuantificación permite la estimación del crecimiento y desarrollo vegetal (Cabezas-Gutiérrez *et al.* 2009), así como la determinación de estadios fenológicos, rendimiento agronómico, uso eficiente de la radiación solar, nutrición mineral y cálculo del uso eficiente del agua (Sonnentag *et al.* 2008); no obstante, medir el AF tiene ciertas dificultades, debido a que cuantificar la superficie foliar de un elevado número de hojas puede ser dispendioso, laborioso, demanda mucho tiempo y posee obstáculos, como la consecución de equipos específicos. Asimismo, retirar hojas, a través de muestreos destructivos, tiene un alto costo energético para la planta, lo que limita su producción de gran manera.

En este sentido, la medición del AF por medio de métodos alométricos cobra importancia, ya que al medir un atributo en particular, como la longitud de la lámina foliar, el ancho de la hoja o los dos parámetros combinados se puede correlacionar con un gran ajuste el AF medida y se determinan ecuaciones, que puedan ser validadas, mediante pruebas estadísticas en otras zonas, a partir de mediciones relativamente sencillas (Gonçalves *et al.* 2022). Este método presenta grandes ventajas, ya que disminuye el número de hojas que se retiran de la planta para los análisis y facilita la

medición de un mayor número de hojas; además es independiente de instrumentos o de equipos costosos de difícil adquisición (Cabezas-Gutiérrez *et al.* 2009).

Autores, como Cabezas-Gutiérrez *et al.* (2009), Mazzini *et al.* (2010), Pandey & Singh, (2011), Cabezas-Gutiérrez & Peña-Baracaldo (2012), Tay & Ling (2020) y Gonçalves *et al.* (2022) demostraron la viabilidad de realizar estimaciones del AF de hojas individuales, a partir de mediciones alométricas; sin embargo, en todos los casos, las hojas empleadas eran simples, por lo que el objetivo de esta investigación fue desarrollar un modelo no destructivo preciso y práctico, para estimar el AF de hojas individuales trilobuladas, mediante parámetros alométricos, en plantas de gulupa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó con plantas de gulupa de tres años de edad, sembradas bajo cubierta plástica, en la casa de malla de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia UPTC (Boyacá, Colombia), sede Tunja, la cual, se encuentra ubicada en las coordenadas 5°33'10,44" N y 73°21'29,87" O, a una altitud de 2.700 m s.n.m., con una precipitación promedio anual de 726 mm y unas condiciones de temperatura promedio interior de 17 °C y humedad relativa del 65 %.

En la localidad de Tunja, se hizo la recolección de 100 hojas sanas de diferentes tamaños, del tercio medio de diferentes plantas de forma aleatorizada; luego, se colocaron en bolsas de papel humedecidas y se introdujeron en bolsas plásticas, para ser llevadas al laboratorio de Fisiología Vegetal de la UPTC. Allí, se determinó la masa individual de las hojas con una balanza de precisión 0,001g ViBRL AJ220E (Shinko Denshi Co., Ltd, Japón).

El AF se determinó en cada hoja mediante dos métodos: 1) con el medidor portátil láser CI-202 (CID Bio-Science, WA, USA), con resolución de 0,1 mm² y 2), mediante el software Easy Leaf Area (Lobet, 2017), haciendo el escáner de fotografías tomadas mediante cámara de celular colocada en un trípode, que garantizaba la misma distancia, altura y luz a la hora de tomar la foto. Además, se determinaron los parámetros alométricos, longitud del lóbulo central (L), del lóbulo derecho (LD) e izquierdo (LI), el ancho base en los lóbulos (a) y el ancho entre las puntas terminales de los lóbulos (b) (Figura 1) y se calculó la longitud total (Lt), como la suma de L+LD+LI.

Con los datos de L, a, b, LD, LI, Lt, L*a, L*b, LD*a, LD*b, LI*a, LI*b, L*a y L*b, se hicieron correlaciones con el AF, medida, tanto en el medidor portátil CI-2020 como en el software Easy Leaf Area (ELA) y, luego, se realizaron las respectivas regresiones, en las cuales, el modelo lineal (AF = A(x)+B), en donde A es la pendiente, B el intercepto y x la variable independiente a analizar (L, a, b, LD, LI, Lt, L*a, L*b, LD*a, LD*b, LI*a, LI*b, L*a y L*b), fue el que presentó mayor R² al compararse con el modelo potencial, exponencial y logarítmico, mediante el uso del programa Excel (Microsoft Corporation, 2022).

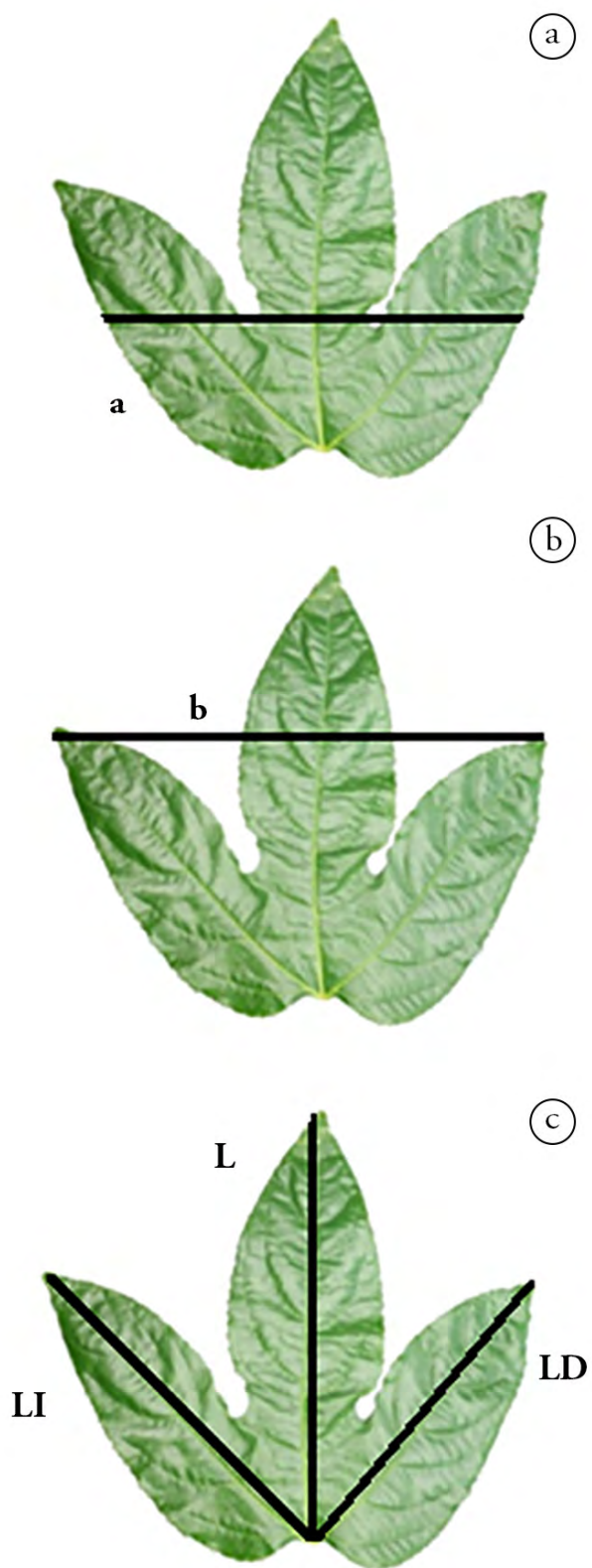


Figura 1. Parámetros alométricos determinados en las hojas de gulupa. a) ancho base en los lóbulos; b) ancho entre las puntas terminales de los lóbulos; c) longitud del lóbulo central (L), del lóbulo derecho (LD) e izquierdo (LI).

Con el fin de realizar la validación del modelo con mayor coeficiente de determinación (R^2), para estimar el AF encontrado en Tunja, se colectaron otras 100 hojas de gulupa de un cultivo comercial, bajo condiciones de invernadero, ubicado en el municipio de Arcabuco (Boyacá), vereda Quemados, finca 'Campo Alegre', en las coordenadas $5^{\circ}44'39,12''N$ y $73^{\circ}29'30,48''O$, a una altitud de 2.200 m s.n.m., con una precipitación promedio anual de 1.505 mm y unas condiciones de temperatura promedio al interior del invernadero de $23^{\circ}C$ y humedad relativa del 80 %. A las hojas obtenidas de la localidad de Arcabuco se les tomaron los datos alométricos de L, a, b, LD y LI, los cuales, se introdujeron en los modelos obtenidos para las muestras tomadas en la ciudad de Tunja, con el fin de calcular el AF estimada en Arcabuco, que se correlacionó con el AF, medida de las hojas de Arcabuco, mediante los dos métodos (medidor portátil láser CI-202 y ELA) y, de esta manera, validar el modelo obtenido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis descriptivo. Las hojas de gulupa presentan tres lóbulos, siendo el lóbulo central (L) el más largo, con promedio de 12,75 cm; asimismo, tiene un lóbulo derecho (LD) y un lóbulo izquierdo (LI), los cuales, no siempre son iguales y poseen valores promedio de 10,33 y 10,19 cm, respectivamente. En cuanto al ancho base en los lóbulos (a), este siempre es menor, en un 23 % en promedio, al ancho entre las puntas terminales de los lóbulos (b) (Tabla 1). Estos valores son similares a los reportados por Granados Conde *et al.* (2017), quienes mencionan que las hojas de gulupa pueden alcanzar valores de 11 cm, para L y de 10 cm, para b. Del mismo modo, todos los datos presentaron una asimetría mayor a cero, lo que implicó que, una gran parte de los datos, están por debajo del promedio y que pocos datos están por encima, pero estos están más alejados del promedio.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables alométricas medidas en hojas de gulupa (n=100), en la localidad de Tunja.

Parámetro	L (cm)	a (cm)	b (cm)	LD (cm)	LI (cm)	Lt (cm)	AF (cm ²)
Promedio	12,75	10,28	13,36	10,33	10,19	33,32	139,79
Error estándar	0,26	0,22	0,25	0,23	0,23	0,71	3,18
Mediana	11,95	9,70	13,10	9,80	9,70	31,60	131,99
Moda	11,80	8,90	13,20	9,50	9,50	30,00	#N/A
Desviación estándar	2,62	2,19	2,52	2,29	2,34	7,08	31,80
Varianza	6,86	4,82	6,37	5,26	5,46	50,13	1011,12
Curtosis	2,26	1,79	1,34	2,18	0,92	1,67	2,65
Asimetría	1,33	1,41	0,98	1,23	1,06	1,22	1,56
Rango	14,20	10,90	13,40	12,00	10,70	35,10	164,24
Mínimo	8,40	6,90	8,70	6,50	6,40	21,60	95,50
Máximo	22,60	17,80	22,10	18,50	17,10	56,70	259,74
CV (%)	20,54	21,36	18,89	22,19	22,91	21,25	22,75

L: longitud del lóbulo central, a: ancho base en los lóbulos, b: ancho entre las puntas terminales de los lóbulos, LD: longitud del lóbulo derecho, LI: longitud del lóbulo izquierdo, y Lt: suma de L+LD+LI, AF: área foliar medida en el CI-202. n=100.

El rango o amplitud de los datos de AF medida en el CI-202 para gulupa fue de 164,24, superior a lo reportado por Cabezas-Gutiérrez *et al.* (2009), quienes encontraron amplitudes que oscilan entre 64 y 104, para especies forestales y a los resultados de Da Silva Ribeiro *et al.* (2020), quienes en *Erythroxylum paufferense*, obtuvieron valores de 17,6, lo que implica que los modelos obtenidos presentan un alto grado de confiabilidad, ya que tienen como base la toma de muestras dispersas, tanto de hojas grandes como pequeñas, lo que le permite al modelo ser más representativo.

En cuanto a los coeficientes de variación (CV) oscilaron entre 18,89 y 22,91 %, para los parámetros medidos, los cuales, se pueden clasificar como heterogéneos, para las variables L, a, LD, LI, Lt y con moderada dispersión, para el atributo b, según la clasificación propuesta por Ríos Varillas (2012), quien menciona que variables con CV menores al 10 % tienen datos homogéneos; CV de entre 10 al 20 % tienen una moderada dispersión y que CV superiores al 20 %, corresponden a parámetros con valores muy dispersos. Lo

anterior se explica, debido a que en el muestreo se aleatorizaron las muestras y se trató de que fueran heterogéneas, con el fin de obtener un gran rango de valores para las variables alométricas, de tal forma que los modelos tuvieran mayor representatividad, tanto en hojas grandes como en pequeñas.

Correlación entre el AF medida a través del CI202 y los parámetros alométricos de las hojas colectadas en Tunja.

Dentro de los modelos lineales, exponenciales, logarítmicos y potenciales, los primeros presentaron mayor coeficiente de determinación (R^2) y fueron los que mejor relacionaron las variables L*a (0,9377) y Lt*a (0,9430) frente al AF; no obstante, al relacionar L y Lt de forma individual con el AF, también se obtienen altos valores de R^2 , con 0,9002 y 0,9107, respectivamente (Tabla 2); por lo tanto, se puede afirmar que para estimar el AF, se podría medir el L o, igualmente, calcular el Lt, las cuales, son mediciones lineales, fáciles de determinar en campo. Aun así, cuando se multiplica el L por a y el Lt por a, se obtienen coeficientes superiores con mayor precisión

y que permiten cuantificar el AF, con mayor exactitud. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Cabezas-Gutiérrez *et al.* (2009), quienes relacionaron variables alométricas frente al AF y encontraron que la multiplicación del largo de la hoja por el ancho de la hoja mostró los mayores R^2 , los cuales, oscilaron entre 0,955 y 0,971, para diferentes especies forestales. Si bien no se reportan estudios similares con hojas trilobuladas, esta misma

relación del largo por ancho ha mostrado altos valores de R^2 en hojas de un solo lóbulo, como guayaba (0,99) (Gonçalves *et al.* 2022), *Erythroxylum paufference* (0,9960) (Da Silva Ribeiro *et al.* 2020) y cerezas (Cittadini & Peri, 2006); además, Yeshitila & Taye (2016) obtuvieron para remolacha R^2 de 0,93, en modelos de regresión lineal múltiple, combinando el largo y ancho frente al AF.

Tabla 2. Ecuaciones y grados de ajuste de los modelos entre el área foliar, medida a través del CI202 y la combinación de los diferentes parámetros alométricos, medidos en hojas de gulupa, de la localidad de Tunja.

x	Modelo	A	B	R2
L	AF=A(L)+B	11,5174	-7,0959	0,9002
a	AF=A(a)+B	13,6528	-0,5102	0,8879
b	AF=A(b)+B	10,6736	-2,8130	0,7173
LD	AF=A(LD)+B	12,9619	6,1985	0,8763
LI	AF=A(LI)+B	12,4620	13,1270	0,8405
Lt	AF=A(Lt)+B	4,2793	-2,4343	0,9107
L*a	AF=A(L*a)+B	0,4977	72,0032	0,9377
L*b	AF=A(L*b)+B	0,4186	66,1930	0,8973
LD*a	AF=A(LD*a)+B	0,5882	74,9765	0,9303
LD*b	AF=A(LD*b)+B	0,4915	69,8668	0,8857
LI*a	AF=A(LI*a)+B	0,5929	75,3095	0,9276
LI*b	AF=A(LI*b)+B	0,4858	71,5653	0,8684
Lt*a	AF=A(Lt*a)+B	0,1873	73,2921	0,9430
Lt*b	AF=A(Lt*b)+B	0,1562	68,1885	0,8967

x: variable independiente, A: pendiente, B: intercepto, L: longitud del lóbulo central, a: ancho base en los lóbulos, b: ancho entre las puntas terminales de los lóbulos, LD: longitud del lóbulo derecho, LI: longitud del lóbulo izquierdo, y Lt: suma de L+LD+LI.

Una limitación en la velocidad del método sería el tiempo que se requiere para medir las longitudes de los tres lóbulos de la hoja de gulupa para realizar el cálculo de Lt, por lo que no solo se debe medir un parámetro, sino tres; no obstante, encontrar que se puede estimar el AF a partir de Lt es un gran logro, debido a la forma trilobulada que presentan las hojas de gulupa.

De las regresiones lineales realizadas, la estimación del AF a partir de b, obtuvo el menor R^2 (0,7173); asimismo, todos los modelos en los que se correlacionó el parámetro b con alguna otra de las variables alométricas, siempre tuvo menor valor de ajuste, por lo que se puede inferir que la medición del atributo b en las hojas de gulupa, no permite obtener modelos con buenos aproximaciones para estimar el AF.

Al analizar la pendiente de los modelos en los que se multiplicó alguna de las longitudes por los anchos medidos (L*a, L*b, LD*a, LD*b, LI*a, LI*b), se aprecia que esta oscila entre 0,41 y 0,59, menores a las pendientes de 0,80, 0,72 y 1,05, obtenidas por Cabezas-Gutiérrez *et al.* (2009), para la relación L por a, en especies forestales y a lo reportado por Da Silva Ribeiro *et al.* (2020), de 0,67, para la misma relación. De igual manera, Gonçalves *et al.* (2022), para diferentes cultivares de guayaba, encontraron una pendiente promedio de 0,85. Al respecto, Montoya *et al.* (2018)

mencionan que cuando la pendiente se acerca a 1, quiere decir que los valores del eje de las ordenadas son estadísticamente cercanos a los valores del eje de las abscisas; sin embargo, para el caso de las hojas de gulupa, los valores de la pendiente indican que el producto de alguna longitud por el ancho, no explica la totalidad de la variación de los valores del AF.

Correlación entre el AF obtenida con el software Easy Leaf Area (ELA) y los parámetros alométricos de las hojas colectadas en Tunja.

Con el software ELA, las ecuaciones de los parámetros alométricos que obtuvieron mayor R^2 fueron las que relacionaron L*a (0,9756) y Lt*a (0,9841) con el AF (Tabla 3); sin embargo, al correlacionar L y Lt frente al AF, también se obtuvieron valores altos de R^2 , con 0,9316 y 0,9486, respectivamente; por lo tanto, calcular Lt*a resultó ser el parámetro más confiable para estimar el AF por los dos métodos empleados, lo cual, coincide con lo expresado por Gonçalves *et al.* (2022), quienes mencionan que la relación de largo por ancho en hojas de guayaba fue la que presentó mayores valores de correlación para hallar el AF. Del mismo modo, Tay & Ling (2020) mencionan que la mejor correlación lineal se da entre el largo de la hoja y el ancho, para estimar el área de la hoja.

Con el método ELA, el parámetro b, también tuvo las menores correlaciones ($R^2=0,7437$), al igual que con el AF, medida en el

CI-202 e, igualmente, todas las combinaciones del parámetro b con las demás medidas alométricas, mostraron las más bajas correlaciones.

Las pendientes de los modelos en donde se multiplicaron las longitudes individuales por alguno de los anchos medidos (L^*a , L^*b ,

LD^*a , LD^*b , LI^*a , LI^*b), oscilaron entre 0,5098 y 0,7283 (Tabla 3), siendo mayores a las presentadas por los modelos que correlacionaron el AF, medida con el CI-202. Estas pendientes son similares a las registradas por Da Silva Ribeiro *et al.* (2020), de 0,67 para *E. paufferrense*.

Tabla 3. Ecuaciones y grados de ajuste de los modelos entre el área foliar, medida a través del Software Easy Leaf Area y los parámetros alométricos, medidos en hojas de gulupa de la localidad de Tunja.

x	Modelo	A	B	R ²
L	AF=A(L)+B	14,0186	-93,8856	0,9316
a	AF=A(a)+B	16,6142	-85,8341	0,9184
b	AF=A(b)+B	13,0041	-88,8417	0,7437
LD	AF=A(LD)+B	15,8159	-78,1963	0,9073
LI	AF=A(LI)+B	15,3290	-70,9973	0,8844
Lt	AF=A(Lt)+B	5,2371	-89,2456	0,9486
L*a	AF=A(L*a)+B	0,6074	2,1694	0,9756
L*b	AF=A(L*b)+B	0,5098	-4,7296	0,9296
LD*a	AF=A(LD*a)+B	0,7200	5,4792	0,9692
LD*b	AF=A(LD*b)+B	0,6003	-0,5913	0,9188
LI*a	AF=A(LI*a)+B	0,7283	5,6071	0,9733
LI*b	AF=A(LI*b)+B	0,5960	1,1133	0,9089
Lt*a	AF=A(Lt*a)+B	0,2294	3,3494	0,9841
Lt*b	AF=A(Lt*b)+B	0,1910	-2,7339	0,9322

x: variable independiente, A: pendiente, B: intercepto, L: longitud del lóbulo central, a: ancho base en los lóbulos, b: ancho entre las puntas terminales de los lóbulos, LD: longitud del lóbulo derecho, LI: longitud del lóbulo izquierdo, y Lt: suma de L+LD+LI.

Con la ecuación lineal $AF=A(L^*a)+B$, se calculó el AF estimada a partir de los datos medidos de L y a de las hojas colectadas en Tunja, en donde se obtuvo que la pendiente y el R² tuvieron un valor de 0,9377 y 0,9756, para el AF, medida con el CI-202 y el AF, determinada por el ELA, respectivamente (Figuras 2a y 2b), lo que indica que los valores del AF estimados a partir del producto de L^*a , son cercanos estadísticamente a los observados para el AF, medida por los dos métodos. Así, también, permite afirmar que, la estimación del AF con el ELA, tiene mayor grado de ajuste, lo que lo convierte en un método más robusto para determinar el AF. Asimismo, cabe resaltar que el valor de R² obtenido con las mediciones del CI-202 es inferior a los reportados para especies forestales por Cabezas-Gutiérrez *et al.* (2009) y a los calculados para *Erythroxylum paufferrense*, por Da Silva Ribeiro *et al.* (2020), mientras que el AF medida con el software ELA mantuvo coeficientes de determinación, similares a los encontrados por esos autores.

Por otra parte, al estimar el AF a partir de la ecuación lineal $AF=A(Lt^*a)+B$, se obtuvieron valores de coeficientes de determinación mayores que los encontrados para la ecuación en donde se usó la variable L^*a (Figuras 2c y 2d). Además, se aprecia que al analizar por separado, tanto las mediciones del AF realizadas con el CI-202 como con el programa ELA, el parámetro Lt^*a tuvo mayor correlación que el L^*a , debido a la naturaleza trilobulada de las hojas de gulupa. Del mismo modo, se puede apreciar que

las mediciones con el ELA tuvieron un mayor grado de ajuste que las realizadas con el CI-202, tanto para Lt^*a como para L^*a . Al respecto, se puede mencionar que los coeficientes de determinación encontrados en gulupa para la variable Lt^*a son similares a los reportados por Da Silva Ribeiro *et al.* (2020), para los modelos lineales en función de L^*a en *E. paufferrense* ($R^2=0,981$ y $0,996$) y acordes a los reportados para café, por Mielke *et al.* (2023), de 0,98, usando modelos propuestos por diferentes autores, para hojas de un solo lóbulo.

Validación. Una vez se establecieron los modelos con mayor R², a los datos de las hojas muestreadas en la localidad de Arcabuco, se les tomó el L y el a y se reemplazaron en las ecuaciones obtenidas para las muestras de Tunja, tanto por el método del CI-202 como por el software ELA, ($AF=0,4977*(L^*a)+72,0032$ y ($AF=0,6074*(L^*a)+2,1694$), respectivamente y se calculó el AF estimada de las hojas muestreadas en Arcabuco, para lo cual, se obtuvieron R² de 0,9336 y 0,9612, como se aprecia en la figura 3. Este coeficiente de determinación es similar al obtenido por Cabezas-Gutiérrez & Peña-Baracaldo (2012), en arándanos (0,92) e inferior a los obtenidos por Cabezas-Gutiérrez *et al.* (2009), para especies forestales, que oscilaron entre 0,98 y 0,99. Es sabido que en otras especies, la estimación del AF, a partir de variables alométricas, presenta altas correlaciones; no obstante, para el caso de gulupa, si bien los valores son aceptables, la forma de la hoja hace que la estimación de modelos para el AF tenga menor correlación

con las variables alométricas; por lo anterior, se puede afirmar que el modelo lineal que tiene en cuenta el producto de la longitud del lóbulo central de la hoja por el ancho base en los lóbulos, se puede

emplear, con una gran confiabilidad, para estimar el AF individual, de las plantas de gulupa.

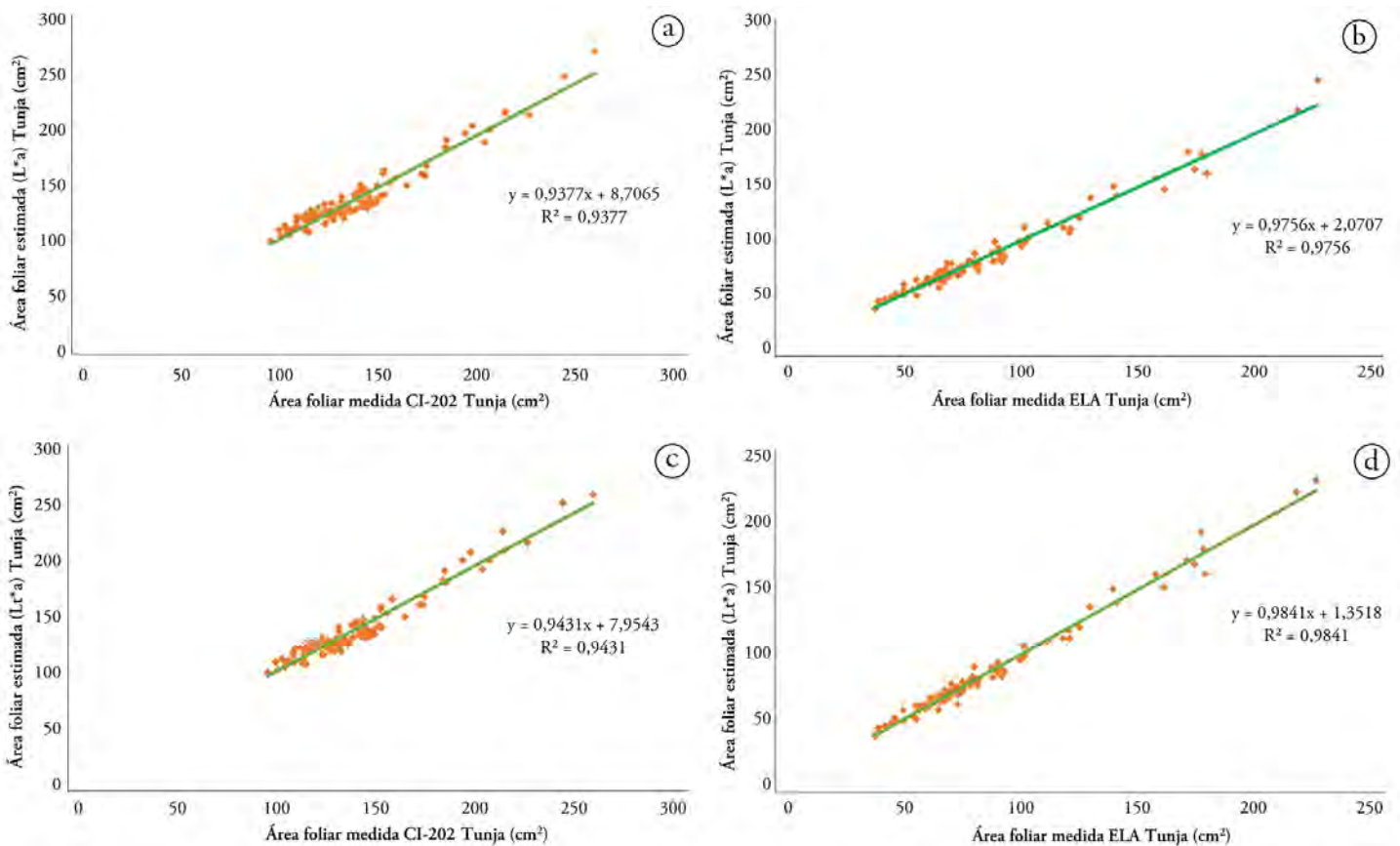


Figura 2. Relaciones entre el área foliar medida y el área foliar estimada. a) Relación entre el área foliar medida en Tunja con el CI-202 y el área foliar estimada en Tunja, con el modelo obtenido para el CI-202, con los datos de L^*a de Tunja; b) Relación entre el área foliar medida en Tunja, con el ELA y el área foliar estimada en Tunja, con el modelo obtenido para el ELA con los datos de L^*a de Tunja; c) Relación entre el área foliar medida en Tunja con el CI-202 y el área foliar estimada en Tunja, con el modelo obtenido para el CI-202, con los datos de L^*a de Tunja; d) Relación entre el área foliar medida en Tunja con el ELA y el área foliar estimada en Tunja, con el modelo obtenido para el ELA, con los datos de L^*a de Tunja.

Debido a que la medición de L^*a mostró las mejores correlaciones, se validó el modelo encontrado en Tunja, tanto para la medición del AF con el CI-202 como con el ELA, reemplazando la variable L^*a de las hojas muestreadas en Arcabuco, dando como resultado los valores de R^2 , plasmados en las figuras 3a y 3b, superiores a los encontrados para la validación de los modelos hallados para los valores de L^*a y que indican que, así como también la relación L^*a tuvo la mayor correlación con el AF, la medición de L^*a tiene el modelo con mayor validación de los datos en otra zona (Arcabuco). Cabe resaltar que los valores de R^2 encontrados para los modelos de validación en función de la variable L^*a son más cercanos a los valores encontrados por Cabezas-Gutiérrez *et al.* (2009) en la validación de modelos para L^*a , en especies forestales, probablemente, debido a que las hojas de gulupa son trilobuladas, por lo tanto, se debe medir la longitud de los tres lóbulos.

Se puede apreciar, que el AF estimada para Arcabuco, con el modelo obtenido para las hojas muestreadas en Tunja y medidas con el ELA

(Figura 3c), tuvo mayor correlación que el modelo obtenido para Tunja, con el CI-202 (Figura 3d), para los datos de L^*a , obtenidos a partir de las hojas de Arcabuco, lo que hace más confiable la medición del AF, con el método del ELA.

Todas las correlaciones permiten concluir que es más importante medir el ancho a que el ancho b en las hojas de gulupa, pues presentaron siempre los mejores coeficientes de correlación con los demás parámetros. El AF calculada, a través del software Easy Leaf Area, tiene mayor grado de ajuste, tanto en las correlaciones como en la estimación y validación para obtener el AF. El ancho base en los lóbulos (a) siempre es menor que el ancho entre las puntas terminales de los lóbulos (b). La relación lineal de L^*a frente al AF fue la que presentó mayor correlación, por lo que en hojas de gulupa, medir L^*a y a , es la mejor forma para estimar el AF.

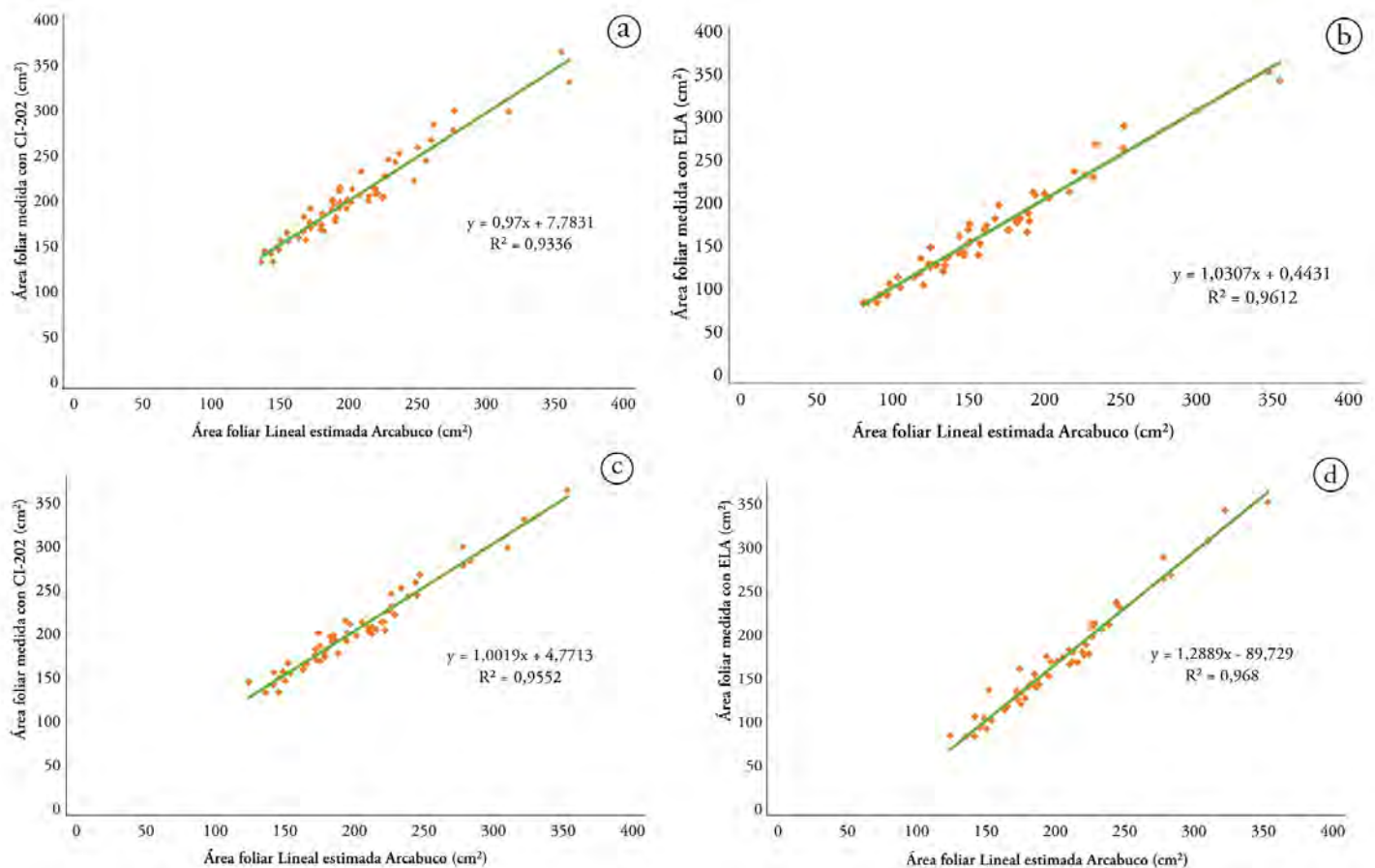


Figura 3. Relaciones entre el área foliar medida y el área foliar estimada. a) Relación entre el área foliar medida en Arcabuco, con el CI-202 y el área foliar estimada en Tunja, con el modelo obtenido para el CI-202, con los datos de L*a de Arcabuco; b) Relación entre el área foliar medida en Arcabuco, con el ELA y el área foliar estimada en Tunja, con el modelo obtenido para el ELA, con los datos de L*a de Arcabuco; c) Relación entre el área foliar medida en Arcabuco, con el CI-202 y el área foliar estimada en Tunja, con el modelo obtenido para el CI-202, con los datos de Lt*a de Arcabuco; d) Relación entre el área foliar medida en Arcabuco, con el ELA y el área foliar estimada en Tunja, con el modelo obtenido para el ELA, con los datos de Lt*a de Arcabuco.

Agradecimientos. Los autores agradecen a los profesores Marco Cabezas Gutiérrez, por la orientación y Pedro José Almanza, por la colaboración; asimismo, agradecen a los ingenieros Oscar Humberto Alvarado y Fabio Andrés Ayala, por facilitar materiales para la realización del estudio. **Conflicto de interés:** el artículo fue escrito, preparado y revisado por todos los autores, quienes no tienen conflicto de interés que ponga en duda la validez de los resultados. **Contribución de los autores:** Marilcen Jaime-Guerrero: metodología, logística, análisis de datos, investigación, escritura borrador original. Javier G. Álvarez-Herrera: metodología, análisis de datos, investigación, conceptualización, escritura, revisión, edición y supervisión. Jesús H. Camacho-Tamayo: escritura, revisión y edición.

REFERENCIAS

1. CABEZAS-GUTIÉRREZ, M.; PEÑA, F.; DUARTE, H.W.; COLORADO, J.F.; LORA-SILVA, R. 2009. Un modelo para la estimación del área foliar en tres especies forestales de forma no destructiva. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 12(1):121-130. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n1.2009.648>
2. CABEZAS-GUTIÉRREZ, M.; PEÑA-BARACALDO, F. 2012. Estimación del área foliar del arándano (*Vaccinium corymbosum*) por medio de un método no destructivo. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 15(2):373-379. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n2.2012.837>
3. CITTADINI, E.D.; PERI, P.L. 2006. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 35(1):143-150.
4. DA SILVA RIBEIRO, J.E.; DOS SANTOS COELHO, E.; ANDRADE FIGUEIREDO, F.R.; FERREIRA MELO, M. 2020. Non-destructive method for estimating leaf area of *Erythroxylum paufferense* (Erythroxylaceae) from linear dimensions of leaf blades. Acta Botánica Mexicana. 127:e1717. <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1717>
5. DE ARMAS ACOSTA, R.J.; MARTÍN GÓMEZ, P.F.; RANGEL DÍAZ, J.E. 2022. Gulupa (*Passiflora edulis* Sims), su potencial para exportación, su matriz y su firma de maduración: una revisión. Revista Ciencia y Agricultura. 19(1):15-27. <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n1.2022.13822>

6. FISCHER, G.; MIRANDA, D. 2021. Review on the ecophysiology of important Andean fruits: *Passiflora* L. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 74(2):9471-9481. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.91828>
7. GONÇALVES, M.P.; RIBEIRO, R.V.; AMORIM, L. 2022. Non-destructive models for estimating leaf area of guava cultivars. *Bragantia*. 81:e2822. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210342>
8. GRANADOS CONDE, C.; TINOCO GUARDO, K.P.; GRANADOS LLAMAS, E.; PÁJARO-CASTRO, N.P.; GARCÍA MILANO, Y. 2017. Caracterización química y evaluación de la actividad antioxidante de la pulpa de *Passiflora edulis* Sims (gulupa). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 22(2).
9. JIMÉNEZ, Y.; CARRANZA, C.; RODRÍGUEZ, M. 2012. Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) En: Fischer, G. (Ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios. p. 579-597.
10. LOBET, G. 2017. Image analysis in plant sciences: Publish then perish. *Trends in Plant Science*. 22(7):559-566. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.05.002>
11. MAZZINI, R.B.; RIBEIRO, R.V.; PIO, R.M. 2010. A simple and non-destructive model for individual leaf area estimation in citrus. *Fruits*. 65:269-275. <https://doi.org/10.1051/fruits/2010022>
12. MICROSOFT CORPORATION, 2022. Microsoft 365. Disponible desde Internet en: <https://www.microsoft.com/es-co/microsoft-365/excel>
13. MIELKE, M.S.; SANTOS, G.O.; SILVA LOPES, E.C.; SCHILLING, A.C.; SANTANA DOS SANTOS, M.; PÉREZ-MOLINA, J.P. 2023. Allometric models to estimate the individual leaf area of arabica coffee: an approach from frequentist and Bayesian statistics. *Acta Physiologiae Plantarum*. 45(3):39. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03514-x>
14. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. 2021. Cadena de pasifloras. Indicadores e instrumentos primer trimestre 2021. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
15. MIRANDA, D.; FISCHER, G.; CARRANZA, C.; MAGNITSKIY, S.; CASIERRA-POSADA, F.; PIEDRAHÍTA, W.; FLÓREZ, L.E. 2009. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá. 357p.
16. MONTOYA, F.; CAMARGO, D.; DOMÍNGUEZ, A.; ORTEGA, J.F.; CÓRCOLES, J.I. 2018. Parametrization of Cropsyst model for the simulation of a potato crop in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*. 203:297-310. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.029>
17. PANDEY, S.K.; SINGH, H. 2011. A simple, cost-effective method for leaf area estimation. *Journal of Botany*. 658240. <https://doi.org/10.1155/2011/658240>
18. PAULL, R.; DUARTE, O. 2012. Tropical fruits. Volumen 2. Segunda edición. CABI International, Wallingford, U.K. p.371.
19. RÍOS VARILLAS, C. 2012. Estadística y diseño de experimentos. Universidad Nacional de Ingeniería. Primera edición. Editorial Universitaria. Perú. p.217.
20. RODRÍGUEZ-POLANCO, E.; BERMEO FÚQUENE, P.; SEGURA-AMAYA, J.; PARRA-ALFERES, E. 2022. Caracterización y tipificación de los sistemas de producción de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims.) de las regiones Norte y Centro - Occidente de Tolima. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 13(1):89-107. <https://doi.org/10.22490/21456453.4583>
21. SONNENTAG, O.; TALBOT, J.; CHEN, J.M.; ROULET, N.T. 2008. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. *Agricultural and Forest Meteorology*. 144:200-212. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.03.001>
22. TAY, A.C.; LING, J.Z.L. 2020. Estimation of individual leaf area by leaf dimension using a linear regression for various tropical plant species. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 943(1):012066. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/943/1/012066>
23. YESHITILA, M.; TAYE, M. 2016. Non-destructive prediction models for estimation of leaf area for most commonly grown vegetable crops in ethiopia. *Science Journal of Applied Mathematics and Statistics*. 4(5): 202-216. <http://dx.doi.org/10.11648/j.sjams.20160405.13>

Modelos de regresión para predecir la cosecha con variables asociadas a la calidad del fruto, el tiempo de defoliación y la altitud del durazno Jarillo

Regression models to predict the harvest with variables associated with the quality of the fruit, the time of defoliation and the altitude of the Jarillo peach

Enrique Quevedo-García^{1*} ; Miguel Antonio Murcia-Rodríguez² ; Martha Patricia Ochoa-Reyes³ 

¹Universidad de Pamplona, Departamento de Agronomía, Programa de Ingeniería Agronómica. Pamplona - Norte de Santander, Colombia; e-mail: enriquegarcia@unipamplona.edu.co

²Universidad de Pamplona, Departamento de Biología, Programa de Biología, Maestría en Biología Molecular y Biotecnología. Pamplona - Norte de Santander, Colombia; e-mail: miguel.murcia.r@gmail.com

³Universidad de Pamplona, Departamento de Biología, Programa de Biología. Pamplona - Norte de Santander, Colombia; e-mail: martha.ochoa@unipamplona.edu.co

*autor de correspondencia: enriquegarcia@unipamplona.edu.co

Cómo citar: Quevedo-García, E.; Murcia-Rodríguez, M.A.; Ochoa-Reyes, M.P. 2023. Modelos de regresión para predecir la cosecha con variables asociadas a la calidad del fruto, el tiempo de defoliación y la altitud del durazno Jarillo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2235. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2235>

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

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

Recibido: marzo 9 de 2022

Aceptado: octubre 2 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El cultivo de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch.) es de gran importancia en la provincia de Pamplona, dada su adaptación a la zona, como un frutal caducifolio. Los modelos matemáticos son relevantes en la agricultura para evitar muestreos destructivos, lo que supone la pérdida de material de investigación y la compra de costosos equipos de medición. Para estimar variables de respuesta de características del fruto del cultivar Jarillo a diferentes altitudes, se llevó a cabo un estudio en el paisaje de montaña de Norte de Santander, Colombia, evaluando 660 frutos desde el inicio de la formación hasta su maduración, a una altitud de 1.670, 1.870 y 2.170 m s.n.m. El rendimiento y el número de frutos totales fue mayor en la menor altitud evaluada. A 1.870 m s.n.m. el contenido de sólidos solubles totales fue menor; la relación de madurez tendió a incrementarse en las tres altitudes, pero en menor proporción, para 1.870 m s.n.m. El análisis de regresión lineal múltiple indicó diversos modelos de regresión lineal simple adecuados, según, sea el caso, para estimar sólidos solubles totales, cosecha total y peso fresco del durazno por altitud.

Palabras clave: Árbol de hoja caduca; Calidad de fruto; Fisiología vegetal; Gradiente altitudinal; Modelación.

ABSTRACT

The peach crop (*Prunus persica* (L.) Batsch.) is of great importance in the province of Pamplona, due to its adaptation to the area as a deciduous fruit tree. Mathematical models are relevant in agriculture to avoid destructive sampling, which involves the loss of research material and the purchase of expensive measuring equipment. To estimate response variables of fruit characteristics of the Jarillo cultivar at different altitudes, a study was carried out in the mountain landscape of Norte de Santander, Colombia, evaluating 660 fruits from the beginning of fruit formation to fruit ripening at an altitude of 1,670, 1,870, and 2,170 m a.s.l. Yield and number of total fruits were higher at lower altitudes and decreased at higher altitudes. At 1,870 m a.s.l., total soluble solids content was lower. The maturity relation tended to increase at all three altitudes, but to a lesser extent at 1,870 m a.s.l. Multiple linear regression analyses indicated several simple linear regression models suitable for estimating total soluble solids, total yield, and fresh weight of peaches by altitude.

Keywords: Altitudinal gradient; Deciduous tree; Fruit quality; Plant physiology; Modelling.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad económica destacada en Colombia, pero su participación en la producción nacional ha descendido durante las últimas décadas, que pasó de representar el 25 % del producto interno bruto (PIB), en 1965, a 6,3 %, en 2017 (Cárdenas *et al.* 2018). La reducción de dicha participación se encuentra asociada con problemas estructurales y se caracteriza por una escasa utilización de tecnología, reducida investigación agrícola, ineficiencias en el uso del suelo e incorrecta asignación de los recursos públicos (Cano, 2013; Perfetti *et al.* 2013; Junguito *et al.* 2014).

La producción de durazno *Prunus persica* (L.) Batsch es una de las actividades agrícolas más desarrolladas en el mundo en comparación con otras especies frutales de hoja caduca (Cancino *et al.* 2018). Los países con mayor producción incluyen la República Popular China, Italia y Estados Unidos. En Latinoamérica, Chile se ubica en primer lugar, con 97.564 toneladas al año, seguido de México y Brasil. En el trópico alto colombiano también se produce, destacándose el departamento de Norte de Santander (Pinzón *et al.* 2014), donde se cultiva, principalmente, el cultivar Jarillo (Campos, 2013). Este departamento ha venido posicionándose como una zona apta para los frutales caducifolios, introduciendo nuevas áreas para el cultivo de durazno (Pinzón *et al.* 2014). Los municipios de Cácuta y Silos de la provincia de Pamplona, son importantes en la producción comercial de durazno (Quevedo-García *et al.* 2017).

La capacidad de adaptarse de un organismo a diferentes entornos se denomina plasticidad fenotípica, lo cual, permite la aparición de diversos fenotipos en función del medio al que esté expuesto el organismo (Parejo-Farnés *et al.* 2019). El conocimiento de la plasticidad fenotípica del durazno permite seleccionar plantas con baja demanda de horas frío, bajo la influencia de un factor de estrés externo, como la altitud, mediante la evaluación de cambios en los componentes primarios y la producción secundaria.

La defoliación es la eliminación de la lámina foliar de las plantas de forma manual o química, o por inducción, mediante prácticas culturales (Baldissera & Petri, 2020). Los cambios que sufren las hojas de las plantas con los defoliantes son similares a los causados por la defoliación natural: cambios de pigmentación con o como resultado de la acumulación de clorofila, carotenoides y, a veces, antocianinas; deshidratación; hidrólisis de carbohidratos; aumento de fracciones de nitrógeno soluble; disminución del ácido sulfhídrico y aumento de la respiración (Gulfishan *et al.* 2019).

La altitud representa un gradiente ambiental complejo, donde la temperatura, la radiación solar y las condiciones del suelo, como la humedad y los nutrientes, varían significativamente (Fischer *et al.* 2022). La altitud tiene una influencia sustancial en la temperatura; a menor altitud la temperatura aumenta e impulsa el metabolismo, la proliferación celular, la tasa fotosintética y, por tanto, el crecimiento de la planta (Bhattacharya, 2022). Las condiciones climáticas de la zona de producción igualmente influyen sobre la calidad de los frutos (Galindo *et al.* 2014; Reig *et al.* 2015; Romeu *et al.* 2015) y

varían de acuerdo con la temperatura (Lee *et al.* 2022) y la altitud, como lo reportado para *P. armeniaca* (Naryal *et al.* 2020) y otras especies perennes (Sarmiento-Soler *et al.* 2020).

Con la ayuda de modelos de simulación de crecimiento y desarrollo es posible conocer la respuesta de producción de una especie frente a las fluctuaciones ambientales, como: valores diarios u horarios de radiación solar, temperatura, lluvia o riego; también son útiles, por ejemplo, para evaluar las características genéticas de adaptación a los factores del cambio climático (Hammer *et al.* 2020).

En este contexto, el desarrollo de modelos matemáticos o estadísticos es fundamental en la agricultura, ya que es posible predecir el peso fresco de la fruta, los sólidos solubles totales y el rendimiento total del durazno, sin realizar muestreos destructivos, con la consiguiente pérdida de material de investigación y la adquisición de equipos de medición costosos (Quevedo García *et al.* 2017).

El objetivo de este estudio fue determinar las mejores ecuaciones de regresión lineal múltiple para la predicción del peso fresco y los sólidos solubles totales del fruto en tres estadios secundarios (72, 75 y 87) y uno para la cosecha total (87), según la normativa internacional BBCH, de plantas de durazno cultivar Jarillo, en tres altitudes de la Provincia de Pamplona-Norte de Santander, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se llevó a cabo dentro de la zona fisiográfica de la montaña santandereana, que comprendió las zonas medias de la cordillera oriental, en el departamento de Norte de Santander (Colombia), entre los 1.600 y 2.300 m s.n.m. Primera altitud, a 2.170 m s.n.m., en el municipio de Pamplona, vereda Chíchira (Cuenca del Catatumbo), 7°22'43,6" N, 72°37'41,1" O, temperatura media de 16 °C, precipitación con régimen bimodal de 933,9 mm y suelo Inceptisol. Segunda altitud, a 1.870 m s.n.m., en el municipio Chitagá, vereda Carrillo (Cuenca del Orinoco), 7°11'15" N, 72°39'7,3" O, con temperatura media de 18 °C, precipitación de 879,5 mm de régimen unimodal y suelos del orden Inceptisol (IGAC, 2011). La tercera altitud, a 1.670 m s.n.m., en el municipio Pamplonita, vereda Batagá (Cuenca del Catatumbo), 7°26'18,1" N, 72°38'9" O, temperatura media 20 °C, precipitaciones frecuentes y acumuladas anuales que superan los 1.200 mm en régimen bimodal y suelos pertenecientes al orden Inceptisol (IGAC, 2011).

Material vegetal. El durazno Jarillo se caracteriza por ser un fruto de cáscara y pulpa amarilla, de pequeño tamaño, forma redondeada, de alta producción prolífica y susceptible a mancharse cuando se manipula en húmedo durante la postcosecha. El cultivar Jarillo no requiere de compensación de frío (Herrera *et al.* 2008). Los principales cultivares de durazno presentes en Venezuela, se originaron de un número limitado de genotipos provenientes de Estado Unidos, en el siglo XX y presentan alto grado de autopolinización natural; de allí, que la base genética del durazno Jarillo es estrecha (Sangronis *et al.* 2017).

Muestreo. Para el muestreo de árboles en cada altitud, se utilizó un muestreo hipercubo latino condicional, ya que es un método eficiente para muestrear, usando una covariable morfofisiológica (Minasny *et al.* 2012). Se identificaron 48 árboles (6 filas y 8 columnas), con una red rígida, donde se involucró, como variable auxiliar o covariable, el área del involucro foliar del árbol de forma, aproximadamente, elíptica.

El muestreo se fijó para cada altitud y con la ayuda de la librería *clhs* del software R, se generó una muestra de 13 árboles por altitud, de los cuales, se tomaron 3 hojas y 10 frutos del tercio medio del árbol, de apariencia similar en color en diámetro ecuatorial y longitudinal, que también formaron parte de las variables auxiliares del muestreo condicional. Estas muestras conformaron una matriz de 660 observaciones, discriminadas en 220 datos por altitud.

Los muestreos se realizaron entre los siguientes estadios fenológicos de desarrollo: etapa secundaria 72: ovario verde rodeado de corona de pétalos que mueren; 75: fruto de aproximadamente la mitad del tamaño final y 87: fruto maduro para la cosecha, de la etapa principal 7: formación del fruto y 8: maduración del fruto, de la escala no extendida BBCH (Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt Chemise) (Enz & Dachler, 1998; Mounzer *et al.* 2008; Fadón *et al.* 2015; Lisandru *et al.* 2017).

Durante cada una de las fases productivas, se efectuaron observaciones semanales a tres ramas productivas de la misma edad e identificadas en cada uno de los individuos, con el fin de determinar la cantidad de días en que se presentaron los efectos agrupados, según los estadios de desarrollo evaluados.

Variabes regresoras. En el trabajo de investigación se involucró una matriz de datos, construida con la información obtenida de los estadios secundarios de desarrollo de los árboles, dependiendo de la función de regresión (Fadón *et al.* 2015), para lo cual, se definieron diversas variables determinadas en los órganos.

El comportamiento diferencial de las variables morfológicas, fisiológicas histológicas y agronómicas del cultivo de durazno Jarillo fueron determinadas por las condiciones particulares de los factores edafoclimáticos del gradiente altitudinal 1.670, 1.870 y 2.170 m s.n.m., de los días después de la defoliación (ddf) del cultivo, que comprenden estados fenológicos entre los estadios secundarios 72 al 87 y de sus respectivas interacciones.

Variabes morfológicas. Se escogieron tres ramas mixtas de la misma edad por árbol, ubicadas en el tercio medio; posteriormente, se marcaron con cintas azules (ramas y hojas), rojas (frutos) y números consecutivos, teniendo también en cuenta tres frutos en crecimiento activo por 13 árboles, que presentaban un desarrollo secundario 72.

Se determinó el largo (cm) y ancho (cm) de la hoja, el diámetro ecuatorial (cm) y longitudinal (cm) del fruto. Las medidas de los diámetros se determinaron con un pie de rey electrónico marca Ubermann (Fa, Sodimac, Santiago, Chile). Los datos se registraron

durante dos años, sin efecto del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y cada 15 ddf, durante 22 muestreos y tres estados fenológicos secundarios, usando la escala BBCH (estadios secundarios 72, 75 y 87) (Fadón *et al.* 2015; Lisandru *et al.* 2017). Los resultados de la determinación de las variables morfológicas del fruto y de crecimiento vegetativo se analizaron descriptivamente, a través de modelos de regresión, para explicar el crecimiento vegetal.

Variabes fisiológicas. Se midió la temperatura de la hoja (°C) y el peso fresco del fruto durante un año y cada 15 ddf, usando la escala BBCH no extendida (estadios secundarios 72, 75 y 87).

La temperatura de la hoja en °C se determinó durante 22 muestreos, realizados en el periodo de dos años, cada 15 ddf y durante tres estados fenológicos secundarios específicos, mediante la escala BBCH no extendida (Enz & Dachler, 1998).

En lo que respecta al peso fresco del fruto (g), se obtuvo en ochenta frutos seleccionados al azar por altitud, mediante el uso de una balanza electrónica (Lexus®, China), con rango de medida 3.600 g y precisión 0,01 g (Quevedo-García *et al.* 2017; Quevedo García *et al.* 2017b).

Variabes histológicas. Se recolectaron tres hojas por árbol en el estrato medio de la planta de durazno. Las hojas se cortaron a nivel central en dos regiones (Voltan *et al.* 1992). Las muestras de tejido de las hojas fueron colectadas de la parte media de cada hoja (evitando la nervadura central) y se fijaron en FAA (10 ml de formol, 35 ml de agua destilada, 5 ml de ácido acético glacial y 50 ml de etanol al 95 %). Se midió el grosor de la hoja (GH) (µm) durante dos ciclos productivos, cada 15 ddf hasta los 185 ddf. La información generada se organizó en una base de datos, siguiendo el orden de una matriz para su análisis.

Respuesta productiva del durazno Jarillo. Además, se realizaron dos cosechas, con sus respectivos pases, de los frutos en el estadio secundario 87, que corresponde a que el 70 % de los frutos muestran el color típico de madurez, para 39 árboles, ubicados en las tres altitudes, en el primer y segundo ciclo productivo. Se utilizó una balanza H-110 digital con una capacidad de 50 kg, resolución de 20 g y tolerancia de 40 g de fabricación China y bolsas de papel, para identificar la producción por árbol y parcela. Se midieron las siguientes variables: número de frutos, cosecha total por árbol (kg/árbol) y peso fresco del fruto.

Determinación de la calidad del fruto. Se seleccionaron 10 frutos de 10 árboles (uno por árbol), ubicados en cada altitud. Los frutos se cosecharon desde el inicio del estado fenológico 72 (inicio de formación del fruto), a los 33 ddf hasta 87 (estado final para la cosecha del fruto); se recolectaron en total 30 frutos por muestra de las tres altitudes durante 10 muestreos, para estimar las variables: sólidos solubles totales (SST) y acidez total titulable (ATT) del fruto.

Sólidos solubles totales (SST). Los SST se determinaron colocando una gota de jugo extraída del fruto (AOAC, 1995), en un refractómetro portátil (00~32 °Brix), marca BRIXCO FG109, con una precisión de 0,2 °Brix y compensación automática de temperatura.

Acidez total titulable (ATT). La acidez total se determinó mediante la titulación ácido-base (AOAC, 2005).

Relación de madurez (RM). La relación de madurez se calculó mediante la expresión:

$$RM = \frac{SST \text{ (}^\circ\text{Brix)}}{ATT \text{ (\%)}}$$

Esta se determinó después de siete meses de defoliación y durante los dos ciclos de producción, para los tres pisos altitudinales.

Análisis estadístico. Se escogieron los modelos de regresión lineal múltiple de mayor ajuste, utilizando el paquete estadístico SPSS 23, con el método de selección de variables Stepwise, donde se introdujeron las variables regresoras y las de respuesta, para estimar el peso fresco del fruto, los sólidos solubles totales y la cosecha total por altitud, considerando que el R^2 fuese, al menos, de 0,8, el cual, representa la proporción de variación explicada por la regresión. Antes de proceder con el análisis estadístico, se realizó un análisis exploratorio de datos, para identificar valores aberrantes, inconsistencias en los datos y los supuestos que exige la regresión lineal múltiple, como: linealidad, normalidad e independencia de los errores y su varianza constante u homocedasticidad y la no-colinealidad de las variables independientes, para lo que se utilizó, como indicador, el factor de inflación de varianza VIF. Por último, para observar la relación entre los datos, se realizó la comparación de los datos observados con los estimados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la figura 1, los mayores valores de SST y rendimiento se presentaron en la menor altitud y los menores a mayor altitud, lo que indica la estrecha relación entre los SST y

la cosecha total por altitud. En la figura 2, se presenta el modelo de regresión para estimar SST, en la fase comprendida entre el inicio del crecimiento del fruto (estadio 72), endurecimiento del endocarpo del fruto o estadio secundario 75 y la cosecha (estadio secundario 87), durante los dos ciclos de producción y cada altitud, incorporando el tiempo como variable regresora (ddf), el cual, se ajustó (Tabla 1), según las siguientes ecuaciones:

Para 1.670 m s.n.m.:

$$SST = 0,029DDF + 0,018RM + 1,41ATT + 0,088TH + 2,284 \text{ (} R^2 = 0,838; p = 4,4E-171 \text{)}$$

Para 1.870 m s.n.m.:

$$SST = 0,35RM + 2,71ATT + 2,78 \text{ (} R^2 = 0,807; p = 1E-50 \text{)}$$

Para 2.170 m s.n.m.:

$$SST = 0,024DDF + 0,205RM + 5,6 \text{ (} R^2 = 0,851; p = 1,4E-58 \text{)}$$

Para el combinado de las altitudes:

$$SST = 0,025DDF + 0,172RM + 0,011GH + 4,87 \text{ (} R^2 = 0,903; p = 8,5E-77 \text{)}$$

Para las variables de regresión se escogió el modelo representado por la ecuación para 1.670, 1.870, 2.170 m s.n.m. y combinado para las tres altitudes. Por las ecuaciones obtenidas, se puede deducir que el tiempo de crecimiento del fruto o su estadio de desarrollo son factores determinantes para estimar el SST (Figura 2). En el modelo combinado se puede ver que RM, DDF y GH son variables regresoras importantes para estimar los SST.

En los trabajos de Bacelar de Morais *et al.* (2017), se consideró que valores de SST superiores a 10 °Brix eran los mínimos aceptados por los consumidores para seleccionar los frutos durazno de color amarillo. Este valor fue alcanzado por los frutos evaluados en las tres altitudes (Figura 2) e, incluso, fueron mayores a ese valor mínimo a partir de los 87 ddf, los cuales, aumentaron durante el proceso de maduración.

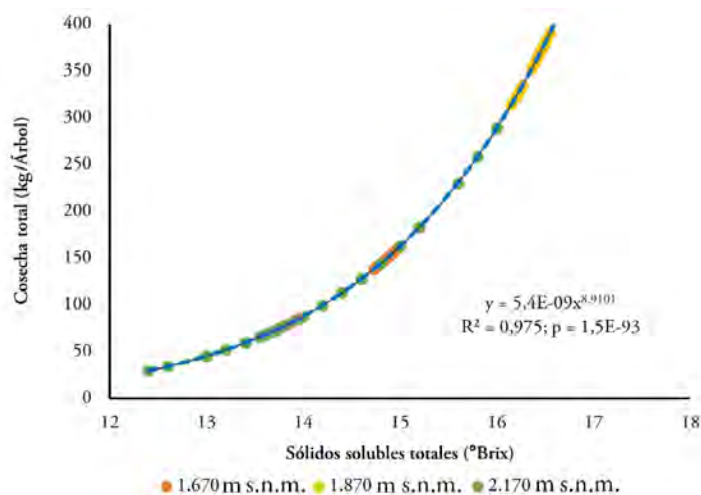


Figura 1. Ecuaciones, R cuadrados de los modelos de regresión potencial, para estimar la cosecha en las tres altitudes para el duraznero Jarillo, durante dos ciclos de producción combinados.

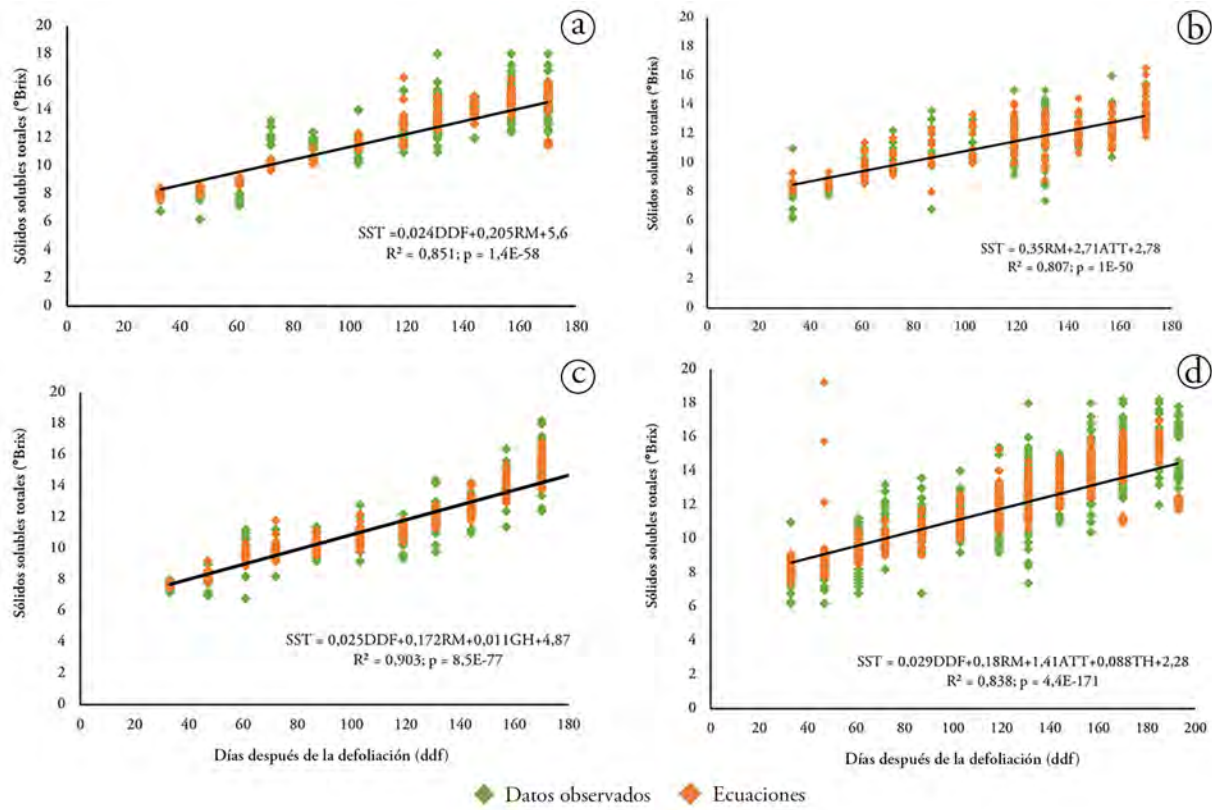


Figura 2. Ecuaciones, R cuadrados de los modelos de regresión lineal múltiple, para estimar solidos solubles totales SST del fruto de duraznero Jarillo, en las tres altitudes y combinados, durante dos ciclos de producción. a) 1.670 m s.n.m., b) 1.870 m s.n.m., c) 2.170 m s.n.m. y d) combinado del año y las altitudes.

Tabla 1. Valores de estimación de la cosecha total de frutos y su correspondiente significancia, en los modelos de regresión lineal múltiple, para las diferentes altitudes evaluadas durante el desarrollo del fruto del durazno Jarillo.

Modelo	Coefficientes no estandarizados (B)	t-student	Sig.	VIF
Cosecha del primer ciclo de producción				
Constante	-1.253,53	-24,370	0,000	
Número total de frutos	-0,04	-6,509	0,000	1,203
Sólidos solubles totales	100	32,324	0,000	1,203
Cosecha del segundo ciclo de producción				
Constante	127,69	5,528	0,000	
Número total de frutos	0,04	7,140	0,000	1,001
Altitud	-0,03	-3,276	0,001	1,001

Al final de la presente evaluación los valores de SST obtenidos fueron mayores y se indica que los aumentos en SST están asociados al proceso de maduración del fruto, tal como lo afirmaron Huan *et al.* (2016) y Cremasco *et al.* (2016). La fruta producida a la menor altitud evaluada maduro primero debido, probablemente, a la ocurrencia de temperaturas más altas durante el día, tal como lo hallado por Cremasco *et al.* (2016), quienes señalaron que fue la principal causa para el aumento de los sólidos solubles totales en la fruta.

El rendimiento en las diferentes altitudes, al finalizar el ciclo productivo de los árboles de durazno, expresado en número de

frutos cosechados por árbol fue mayor durante el primer ciclo de producción, a 1.670 m s.n.m, con 1.917,33 frutos, mientras que durante el segundo ciclo de producción fue para la altitud de 1.870 m s.n.m., con 1.641,99; sin embargo, durante la evaluación se observó un incremento en el número de frutos cosechados (1.172,98; 1.323,3 y 1.735,52 número de frutos, respectivamente, para cada altura), en la medida que disminuyó la altitud. Estos resultados indicaron que el medio ambiente de la cuenca del Orinoco con una mayor precipitación (895 mm) y humedad relativa (81,14 %,) influyó sobre la expresión de los componentes del rendimiento, lo que concuerda con los resultados de Reig *et al.* (2015).

El rendimiento agronómico, se vio influenciado por variables, tales como: el contenido de SST y el número de frutos cosechados durante el primer ciclo de producción, mientras que durante el segundo ciclo de producción las regresoras fueron el número total de frutos y la altitud.

Para el cálculo del rendimiento (carga inicial) se construyó una expresión estadística lineal múltiple, que incluyó las variables SST y número de frutos cosechados durante el primer ciclo de producción. Y durante el segundo ciclo de producción, número de frutos cosechados y la altitud, con el fin de poder predecir con una alta precisión el rendimiento final para las tres altitudes.

Se elaboró un modelo para estimar el rendimiento final, durante los dos ciclos productivos, obteniéndose las siguientes ecuaciones de regresión lineal múltiple:

$$CT(\text{cosecha total 1er ciclo productivo})=100(\text{SST})-0,043(\text{NFT}(\text{número de frutos totales})) -1.253,53 (R^2=0,979;p=5,4E-96)$$

$$CT(\text{cosecha total 2do ciclo productivo})=0,041(\text{NFT}(\text{número de frutos totales}))-0,034 (\text{ALT}(\text{altitud}))+127,69 (R^2=0,445;p=3,1E-08)$$

En las figuras 3a y 3b, se comparan los valores del rendimiento estimado y observado por altitud. Se pudo observar que a la altitud de Chitagá (1870 m s.n.m.), se obtuvo un mayor rendimiento durante el primer ciclo productivo (Figura 3a). Como se observa en la figura 3b, el mayor rendimiento se obtuvo en la menor altitud y se redujo a medida que se aumentaba la altitud. El número de frutos cosechados fue el determinante más importante del rendimiento, para estimar la cosecha del durazno Jarillo, por presentar el mayor coeficiente no estandarizado (B) de regresión parcial (Tabla 1), resultado similar al obtenido por Scarlato *et al.* (2017). De acuerdo con Ganji Moghadam *et al.* (2021), el peso del fruto, la altura del árbol y la sección transversal del tallo son las variables determinantes en el modelo de estimación del rendimiento en el cultivo de durazno.

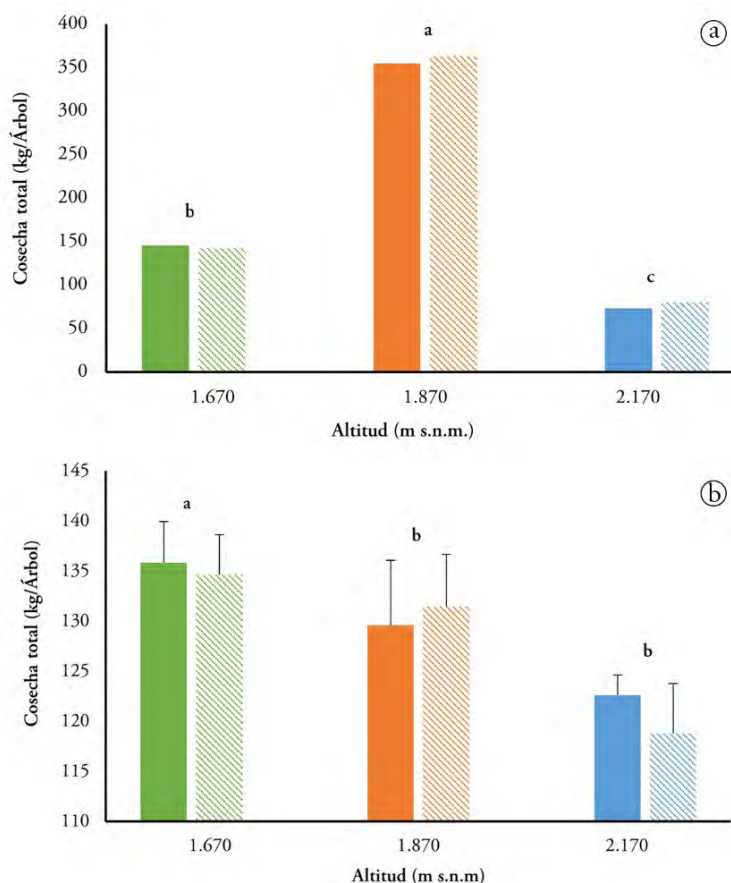


Figura 3. Estimación de la cosecha total del duraznero en función de sólidos solubles totales SST y el número de frutos totales, para tres altitudes del departamento de Norte de Santander, Colombia. a) primer ciclo de producción; b) segundo ciclo de producción.

Valores observados color sólido y valores estimados rayas en diagonal.

Las letras diferentes indican diferencias significativas (Anova, $p=5,8E-92$ y $p=3,5E-05$, respectivamente).

Las ecuaciones de regresión para estimar el peso fresco del fruto del durazno Jarillo, entre el inicio del crecimiento del fruto (estadio secundario 72), el endurecimiento del cuesco del fruto (estadio secundario 75) y hasta la cosecha (estadio secundario 87), durante el ciclo productivo del segundo ciclo de producción para cada altitud y el tiempo de evaluación (ddf) estudiado, fueron las siguientes:

Para 1.670 m s.n.m.:

$$PFF(\text{peso fresco del fruto}) = 25,42DL + 0,202DDF - 87,84 \quad (R^2 = 0,913; p = 1E-226)$$

Para 1.870 m s.n.m.:

$$PFF = 18,58DE + 0,096DDF - 71,49 \quad (R^2 = 0,851; p = 4,8E-177)$$

Para 2.170 m s.n.m.:

$$PFF = 18,58DE + 0,92RM - 45,196 \quad (R^2 = 0,97; p \leq 0,0001)$$

Para el combinado de las altitudes:

$$PFF = 24,18DE + 0,072DDF - 62,65 \quad (R^2 = 0,898; p \leq 0,0001)$$

El modelo seleccionado para las variables regresoras fue el representado por la ecuación para 1.670, 1.870, 2.170 m s.n.m. y combinado para las tres altitudes. Por las ecuaciones obtenidas, se puede deducir que el tiempo transcurrido durante el crecimiento del fruto y su estadio de desarrollo, el diámetro del fruto y la RM son factores determinantes para estimar el PFF (Figura 4).

Con relación a los factores determinantes para estimar el PFF del fruto, el diámetro es el principal requisito exigido por el consumidor (Pires Matias *et al.* 2014; Cremasco *et al.* 2016; Bacelar de Moraes *et al.* 2017). En la calidad visible del fruto, el diámetro es una de las principales características que determina el consumo en fresco (Maulión *et al.* 2016). Un fruto de durazno con un diámetro superior a 59 mm se considera de tamaño aceptable en el mercado.

El peso fresco del fruto es un factor genético cuantitativo importante que determina el rendimiento, la calidad de la fruta y la aceptabilidad del consumidor, como lo señalaron Pires Matias *et al.* (2017) en su trabajo y se expresó mejor como un efecto ambiental sobre la fisiología de los árboles, en las altitudes más bajas.

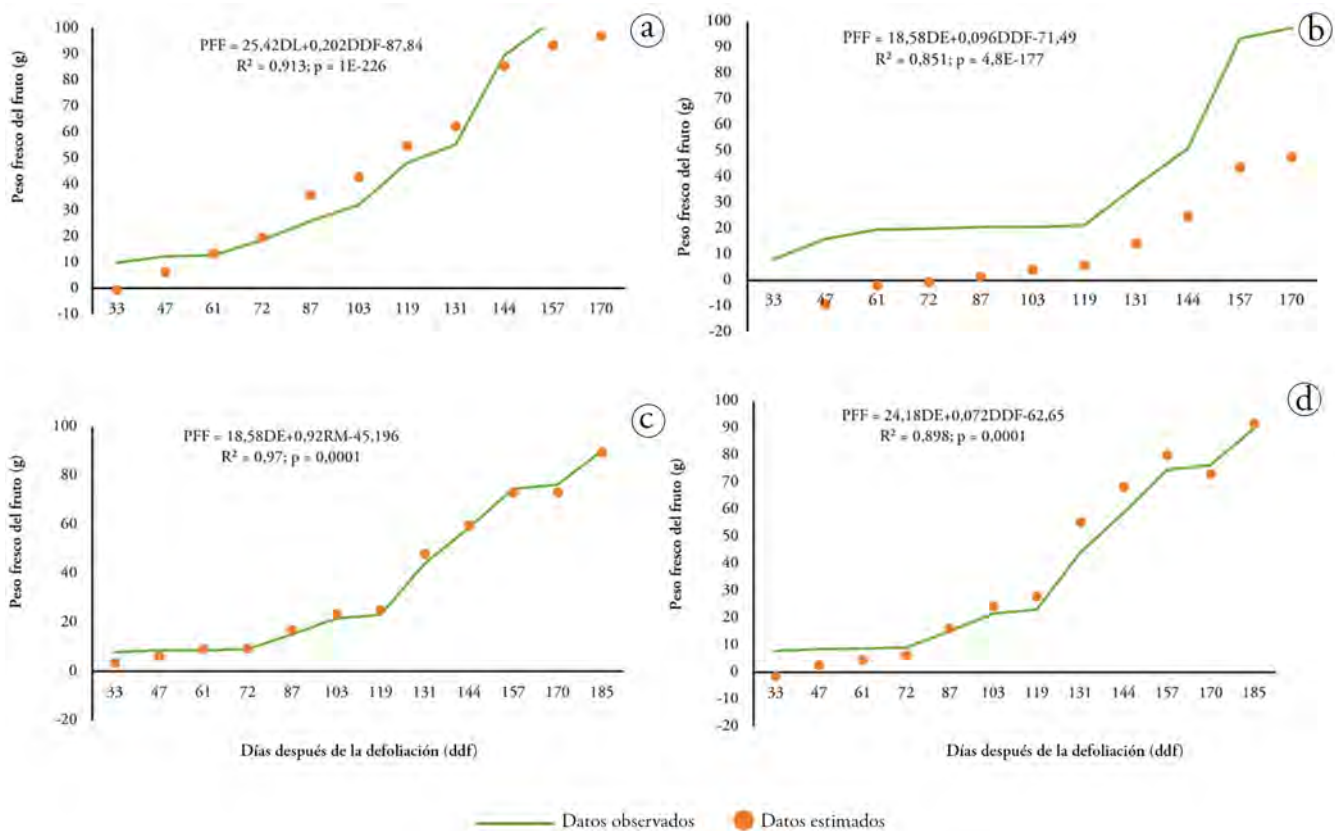


Figura 4. Ecuaciones, R cuadrados de los modelos de regresión, para los modelos de regresión lineal múltiple, para estimar el peso fresco del fruto, en las tres altitudes para el duraznero Jarillo, durante el segundo ciclo de producción. a) 1.670 m s.n.m., b) 1.870 m s.n.m., c) 2.170 m s.n.m. y d) combinado de las altitudes.

La RM del fruto tendió a incrementarse en las tres altitudes evaluadas, pero en menor proporción para 1.870 m s.n.m; el incremento es debido a la disminución de la acidez y el incremento en los sólidos solubles totales, propios del proceso de maduración del fruto (Pires Matias *et al.* 2017). Una baja RM de los frutos, como lo observado para la altitud 1.870 m s.n.m, puede indicar una baja calidad de los frutos en cuanto al sabor; este es un buen indicador para frutas de alta calidad, tal como lo considera en sus trabajos Comiotto *et al.* (2013).

Los productores de durazno en la cuenca hidrográfica del Orinoco cosechan primero, en comparación con la altitud correspondiente a la cuenca del Catatumbo (Pamplona y Pamplonita), lo que conlleva a que en la cuenca del Orinoco la RM de los frutos sea más baja, debido al menor valor de SST de los frutos. Esta situación conlleva al incremento en el uso de insumos, como el azúcar y, por ende, los costos de producción en la elaboración de productos procesados, como conservas, jaleas, bocadillos.

Lo anterior indicó que las variables regresoras, días después de la defoliación, altitud, relación de madurez, acidez total titulable, temperatura de la hoja, grosor de la hoja, sólidos solubles totales, número de frutos totales, altitud, diámetro longitudinal y ecuatorial del fruto, pueden ser usadas, según sea el caso, para analizar y estimar los sólidos solubles totales, la cosecha total y el peso fresco del fruto de durazno Jarillo.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad de Pamplona, los productores Carlos Alberto Portilla y William Eduardo Flórez y los autores. Contribución de los autores: Enrique Quevedo García: conceptualización, investigación y visualización. Miguel Antonio Murcia: curaduría de datos, análisis formal. Martha Patricia Ochoa Reyes: escritura del borrador original.

REFERENCIAS

1. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNACIONAL, AOAC. 1995. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists Internacional. 16th, ed. AOAC Internacional. Maryland, USA.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNACIONAL, AOAC. 2005. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists Internacional. 18th, ed. AOAC Internacional. Maryland, USA.
3. BACELAR DE MORAIS, K.D.; DA SILVA XAVIER, B.; PEREIRA DA SILVA, D.F.; ALVES OLIVEIRA, J.A.; BRUCKNER, C.H. 2017. Avaliação física e química de frutos de cultivares de pessegueiro. Revista Engenharia na Agricultura. 25(2):157-163. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i2.712>
4. BALDISSERA, S.; PETRI, J.L. 2020. Desfolha antecipada e sua relação com o teor de carboidratos em ramos de pessegueiro cv. Chimarrita. IGNIS Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação. 9(3):70-81.
5. BHATTACHARYA, A. 2022. Effect of low-temperature stress on germination, growth, and phenology of plants: A review. En: Bhattacharya, A. Physiological processes in plants under low temperature stress. Springer, Singapore. p.1-106. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9037-2_1
6. CAMPOS, T. DE J. 2013. Especies y variedades de hoja caduca en Colombia. 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 (SCCH), asociación hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol), fondo nacional de fomento hortofrutícola, federación colombiana de productores de caducifolios (Fedecaducifolios). Bogotá, Colombia. p. 47-64.
7. CANCINO, S.E.; CANCINO ESCALANTE, G.O.; QUEVEDO GARCÍA, E. 2018. Modelo explicativo de la rentabilidad económica del cultivo de durazno en la provincia de Pamplona, Colombia. Económicas CUC. 39(2):63-76. <https://doi.org/10.17981/econuc.39.2.2018.04>
8. CANO, C.G. 2013. La agricultura colombiana de cara a los pactos bilaterales de Comercio. Revista de Ingeniería. 38:63-70.
9. CÁRDENAS, M.; ECHAVARRÍA, J.; HERNÁNDEZ, G.; MAIGUASHCA, A.; MEISEL, A.; OCAMPO, J.; ZÁRAT, J. 2018. Coyuntura del sector agropecuario colombiano, Informe de la Junta Directiva al Congreso de la República. Banco de la República-Documentos de Trabajo. 2:1-7.
10. COMIOTTO, A.; FACHINELLO, J.C.; HOFFMANN, A.; GALARÇA, S.P.; MACHADO, N.P.; PREZOTTO, M.E.; HASS, L.B. 2013. Desenvolvimento, produção e qualidade dos frutos de pessegueiros enxertados sobre diferentes porta-enxertos. Semina: Ciências Agrárias. 1(34):3553-3562. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6Supl1p3553>
11. CREMASCO, J.P.G.; MATIAS, R.G.P.; SILVA, D.F.P.; OLIVEIRA, J.A.A.; BRUCKNER, C.H. 2016. Qualidade pós-colheita de oito variedades de pêssego. Comunicata Scientiae. 7(3):334-342.
12. ENZ, M.; DACHLER, N. 1998. Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas. Escala BBCH extendida. Limburgerhof, Alemania. 123p.

13. FADÓN, E.; HERRERO, M.; RODRIGO, J. 2015. Flower development in sweet cherry framed in the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*. 192:141-147. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.027>
14. FISCHER, G.; PARRA-CORONADO, A.; BALAGUERA-LÓPEZ, H.E. 2022. Altitude as a determinant of fruit quality with emphasis on the Andean tropics of Colombia. A review. *Agronomía Colombiana*. 40(2):212-227. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101854>
15. GALINDO, A.; RODRÍGUEZ, P.; COLLADO-GONZÁLEZ, J.; CRUZ, Z.N.; TORRECILLAS, E.; ONDOÑO, S.; CORELL, M.; MORIANA, A.; TORRECILLAS, A. 2014. Rainfall intensifies fruit peel cracking in water stressed pomegranate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*. 194:29-35. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.03.015>
16. GANJI MOGHADAM, E.; GHAREMANI, A.; SEYED MASOUMI KHAYAVI, S.Y. 2021. Evaluation of pomological and morphological traits of some peach (*Prunus persica* L. Batsch) cultivars and genotypes under Khorasan Razavi climatic conditions. *Journal of Horticultural Science*. 35(1):87-102. <https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V35I1.87233>
17. GULFISHAN, M.; JAHAN, A.; BHAT, T.A.; SAHAB, D. 2019. Chapter 16-Plant senescence and organ abscission. En: Sarwat, M.; Narendra, T. (eds.) *Senescence signalling and control in plants*. Academic Press. p.255-272.
18. HAMMER, G.L.; MCLEAN, G.; VAN OOSTEROM, E.; CHAPMAN, S.; ZHENG, B.; WU, A.; DOHERTY A.; JORDAN, D. 2020. Designing crops for adaptation to the drought and high-temperature risks anticipated in future climates. *Crop Science*. 60(2):605-621. <https://doi.org/10.1002/csc2.20110>
19. HERRERA, B.J.; MARTÍNEZ, J.A.; GUTIÉRREZ, M.M.A.; GUTIÉRREZ, T.M.; LUNA, B.J.A.; DURAN, P.E.; BRAVO, S.C.; OROZCO, V.R.; PINEDA, A.M.; ELIÁS, M.H.M. 2008. Guía ilustrada del cultivo del duraznero en el estado de Michoacán. Morelia, México: Fundación Produce Michoacán. p.120
20. HUAN, C.; JIANG, L.; AN, X.; KANG, R.; YU, M.; MA, R.; YU, Z. 2016. Potential role of glutathione peroxidase gene family in peach fruit ripening under combined postharvest treatment with heat and 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology*. 111:175-184. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.016>
21. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2011. Estudio general de suelos y zonificación de tierras: del departamento de Norte de Santander. 2ª edición. IGAC. Bogotá.
22. JUNGUITO, R.; PERFETTI, J.; BECERRA, A. 2014. Desarrollo de la agricultura colombiana. Cuadernos de Fedesarrollo. 48:1-82.
23. LEE, S.K.; HAN, J.H.; CHO, J.G.; JEONG, J.H.; LEE, K.S.; RYU, S.; CHOI, D.G. 2022. Effect of temperature on photosynthesis and fruit quality of 'Mihong' peaches under high CO₂ concentrations. *Horticulturae*. 8:1047. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8111047>
24. LISANDRU, T.T.; FÜSTÖS, A.; MITRE, V.; DUMITRAS, A. 2017. Sweet cherry (*Prunus avium* L.) and peach (*P. persica* L.) phenological growth stages according to BBCH scale. *Bulletin UASVM Horticulture*. 74(1):65-67. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:12361>
25. MAULIÓN, E.; ARROYO, L.E.; DAORDEN, M.E.; VALENTINI, G.H.; LUCIO CERVIGNI, G.D. 2016. Performance profiling of *Prunus persica* (L.) Batsch collection and comprehensive association among fruit quality, agronomic and phenological traits. *Scientia Horticulturae*. 198:385-397. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.017>
26. MINASNY, B.; MALONE, B.P.; MCBRATNEY, A.B. 2012. *Digital Soil Assessment and Beyond*. 8ª Edición. CRC Press. p.482
27. MOUNZER, O.H.; CONEJERO, W.; NICOLÁS, E.; ABRISQUETA, I.; GARCÍA-ORELLANA, Y.V.; TAPIA, L.M.; VERA, J.; ABRISQUETA, J.M.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. DEL C. 2008. Growth pattern and phenological stages of early-maturing peach trees under a mediterranean climate. *Hortscience*. 43(6):1813-1818. <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.43.6.1813>
28. NARYAL, A.; DOLKAR, D.; BHARDWAJ, A.K.; KANT, A.; CHAURASIA, O.P.; STOB DAN, T. 2020. Effect of altitude on the phenology and fruit quality attributes of apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruits. *Defence Life of Science Journal*. 5(1):18-24. <https://doi.org/10.14429/dlsj.5.14656>
29. PAREJO-FARNÉS, C.; APARICIO, A.; ALBALADEJO, R.G. 2019. Una aproximación a la ecología epigenética en plantas. *Ecosistemas*. 28(1):69-74. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1605>
30. PERFETTI, J.; BALCÁZAR, A.; HERNÁNDEZ, A.Y.; LEIBOVICH, J. 2013. "Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia". Fedesarrollo, Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC). Incoder, Finagro, Banco Agrario. Colombia.

31. PINZÓN, E.H.; MORILLO, A.C.; FISCHER, G. 2014. Aspectos fisiológicos del duraznero (*Prunus persica* [L.] Batsch.) en el trópico alto. Una revisión. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 17(2):401-411. <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n2.2014.243>
32. PIRES MATIAS, R.G.; PEREIRA DA SILVA, D.F.; RIBEIRO, M.R.; COSTA E SILVA, J.O.; DE OLIVEIRA, S.P.; BRUCKNER, C.H. 2014. Características de frutos de pessegueiros cultivados na Zona da Mata de Minas Gerais. Ciência Rural. 44(6):971-974. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000600003>
33. PIRES MATIAS, R.G.; BRUCKNER, C.H.; PEREIRA DA SILVA, D.F.; SOUZA CARNEIRO, P.C.; ALVES DE OLIVEIRA, J.A. 2017. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de pessegueiro e nectarineira sob condições de clima subtropical. Revista Ceres. 64(5):516-522. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764050009>
34. QUEVEDO-GARCÍA, E.; DARGHAN, A.E.; FISCHER, G. 2017. Clasificación de variables morfológicas del duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) 'Jarillo' en la montaña santandereana colombiana mediante análisis discriminante lineal. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 11(1):39-47. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6140>
35. QUEVEDO GARCÍA, E.; CANCINO ESCALANTE, G.O.; BARRAGÁN TORRES, A.R. 2017. Modelos de regresión para estimar el peso seco de órganos y área del limbo del duraznero, variedad jarillo. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica. 20(2):299-310. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.388>
36. REIG, G.; ALEGRE, S.; GATIUS, F.; IGLESIAS, I. 2015. Adaptability of peach cultivars [*Prunus persica* (L.) Batsch] to the climatic conditions of the Ebro Valley, with special focus on fruit quality. Scientia Horticulturae. 190:149-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.019>
37. ROMEU, J.F.; SÁNCHEZ, M.C.; GARCÍA-BRUNTON, J. 2015. Potential productivity evolution of flat peach cultivars (*Prunus persica* var. *platycarpa*) grown in different climatic conditions of southeast of Spain. Scientia Horticulturae. 197:687-696. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.036>
38. SANGRONIS, J.; HERNÁNDEZ, A.; AULAR, J.; TORRES, J.; CÁSARES, M. 2017. Variabilidad genética en durazneros cultivados en El Peñón de Gabante, estado Aragua, Venezuela. Bioagro. 29(3):219-224.
39. SARMIENTO-SOLER, A.; VAAST, P.; HOFFMANN, M.P.; JASSOGNE, L.; ASTEN, P.V.; GRAEFE, S.; RÖTTER, R.P. 2020. Effect of cropping system, shade cover and altitudinal gradient on coffee yield components at Mt. Elgon, Uganda. Agriculture, Ecosystems and Environment. 295:106887. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106887>
40. SCARLATO, M.; GIMÉNEZ, G.; LENZI, A.; BORGES, A.; BENTANCUR, Ó.; DOGLIOTTI, S. 2017. Análisis y jerarquización de factores determinantes de las brechas de rendimiento del cultivo de frutilla en el sur del Uruguay. Agrociencia. 21(1):43-57.
41. VOLTAN, R.B.Q.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. 1992. Variação da anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal. 4(2):99-105.

Diversidad microbiana en estudios de fertilización mineral de larga duración en caña de azúcar

Microbial diversity in studies of long-term mineral fertilization studies in sugarcane

Mónica Tamayo-Isaac^{1*}; Dolores del Rosario Piñón-Gómez²; Ignacio Ramos-Tapia³; Pablo D. Pablos-Reyes¹; Yaquelin Puchades-Izaguirre¹; Jorge Soto-Winckler³; René Barbosa-García¹; Guillermo Reynosa-Rodríguez¹; Manuel Paneque³

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Santiago de Cuba, Santiago de Cuba, Cuba; e-mail: monica.tamayo@inicas.azcuba.cu; pablo.pablos@inicas.azcuba.cu; yaquelin.puchades@inicas.azcuba.cu; rene.barbosa@inicas.azcuba.cu guillermo.reynosa@inicas.azcuba.cu

²Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba-INICA. La Habana, Cuba; e-mail: dolores.pinon@inica.azcuba.cu

³Agroenergía SA. San Miguel - Santiago, Chile; e-mail: iramos@bionostra.com; jsoto@bionostra.com; mpaneque@uchile.cl

*autor de correspondencia: monica.tamayo@inicas.azcuba.cu

Cómo citar: Tamayo-Isaac, M.; Piñón-Gómez, D.D.R.; Ramos-Tapia, I.; Pablos-Reyes, P.D.; Puchades-Izaguirre, Y.; Soto-Winckler, J.; Barbosa-García, R.; Reynosa-Rodríguez, G.; Paneque, M. 2023. Diversidad microbiana en estudios de fertilización mineral de larga duración en caña de azúcar. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2511. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2511>

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 17 de 2023

Aceptado: diciembre 11 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Las comunidades microbianas son esenciales para la productividad de los agroecosistemas. En caña de azúcar, el uso de fertilizantes nitrogenados, como práctica de manejo común, mantiene los niveles de la productividad del cultivo e influye en la diversificación del microbioma, ocasionando cambios en la diversidad de los microorganismos involucrados en el ciclo del nitrógeno (N). El objetivo de este estudio consistió en analizar la influencia de diferentes regímenes de fertilización nitrogenada sobre la estructura y la composición de la comunidad microbiana rizosférica, en un experimento de larga duración. Esta investigación permitirá establecer un régimen de fertilización más preciso. Se demostró que no existen diferencias significativas en la composición y en la estructura de la comunidad bacteriana, al usar diferentes niveles de fertilización nitrogenada en caña de azúcar. Los Phylum Acidobacteria, Firmicutes y Mortierellomycota fueron los más relacionados con las dosis de nitrógeno recomendadas, para obtener altos rendimientos agrícolas, bajo las condiciones de Cuba; sin embargo, existieron variaciones en cuanto a composición y abundancias relativas de los Phylum de la microbiota respecto a las dosis de nitrógeno aplicadas, con predominio de los Phylum Ascomycota y Basidiomycota. Fueron detectadas diferencias significativas, a nivel de género y familia, debido a la presencia de organismos probióticos en las parcelas no tratadas.

Palabras clave: Ciclo del nitrógeno; Comunidades microbianas; Fertilización nitrogenada; Microbioma; Microbiota del suelo.

ABSTRACT

Microbial communities are essential for the productivity of agroecosystems. In sugarcane, using nitrogen fertilizers as a common management practice to keep crop productivity influences the diversification of the microbiome, causing changes in the diversity of microorganisms involved in the nitrogen (N) cycle. In a long-term experiment, this study aimed to analyze the influence of different nitrogen fertilization levels on the structure and composition of the rhizospheric microbial community. This research will help to establish a more precise fertilization regime. There were no significant differences in the composition and structure of the bacterial community when using different levels of nitrogen fertilization in sugarcane. Significant differences were detected at the genus and family level due to the presence of probiotic organisms in the untreated plots. The Phylum *Acidobacteria*, *Firmicutes*, and *Mortierellomycota* were the most related to the recommended nitrogen doses to obtain high agricultural yields under the conditions of Cuba. However, there were variations in composition and relative abundances of the Phylum of the microbiota concerning the doses of nitrogen applied with a predominance of the Phylum Ascomycota and Basidiomycota. Significant differences were detected at the genus and family level due to the presence of probiotic organisms in the untreated plots.

Keywords: Microbial communities; Microbial diversity; Microbiome; Nitrogen fertilization; Soil microbiota.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades microbianas están involucradas en una serie de servicios ecosistémicos modulando el ciclo de nutrientes e interacciones simbióticas y patógenas con las plantas, por lo que su rol en la productividad de los agroecosistemas es esencial (Bahram *et al.* 2018). Varios tipos de bacterias y hongos mejoran la estructura del suelo al contribuir a la formación de agregados y poros y también juegan un papel clave en el aumento de la fertilidad del suelo (Rashid *et al.* 2016).

La diversidad microbiana del suelo es extremadamente sensible a la fertilización, que es una de las principales acciones antropogénicas asociadas con los cambios globales (Feng *et al.* 2022). El uso de fertilizantes es uno de los aspectos importantes para el logro de una agricultura sostenible, por lo que se presta mucha atención a la reacción de los parámetros del suelo y su componente microbiológico (Megyes *et al.* 2021).

La fertilización se ha utilizado ampliamente como una práctica de manejo común, para mantener la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. El uso de fertilizantes minerales, en combinación con fertilizantes orgánicos a largo plazo, de fertilizantes minerales, en combinación con fertilizantes orgánicos, enriquece y diversifica el microbioma del suelo y aumenta la actividad de las enzimas del suelo (Li *et al.* 2018); sin embargo, hay informes sobre cambios en la diversidad de los microorganismos involucrados en el ciclo del nitrógeno (N) después de la fertilización a largo plazo con fertilizantes minerales y orgánicos de origen animal y vegetal (Lin *et al.* 2021).

La caña de azúcar es uno de los cultivos más rentables para la producción de azúcar y biomasa con altos requerimientos de nutrientes y un largo período de crecimiento. La aplicación adecuada de fertilizantes nitrogenados promueve el macollamiento, el crecimiento, el metabolismo del nitrógeno, la distribución de la materia seca y la acumulación de azúcar y, por lo tanto, mejora significativamente la productividad de caña y azúcar. En este contexto, el uso a largo plazo de diferentes sistemas de fertilización puede generar disímiles condiciones sobre la actividad vital de los principales grupos taxonómicos y fisiológicos de los microorganismos del suelo (Puzniak *et al.* 2022), sin que existan evidencias sobre este particular para agroecosistemas tropicales insulares.

La microbiota del suelo, especialmente, aquella que habita en la rizosfera y coloniza los tejidos vegetales son objeto de numerosas investigaciones científicas, con el fin de tener un mejor entendimiento de los procesos ecosistémicos y, de esta forma, desarrollar sistemas de agricultura sostenible. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar la influencia de diferentes regímenes de fertilización mineral sobre la estructura y la composición de la comunidad microbiana rizosférica en un experimento de larga duración, en cultivos de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Perfil natural del sitio experimental. El experimento de larga duración con diferentes dosis de fertilización mineral se estableció en 1998, en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar en Santiago de Cuba (20° 22'06,97" N; -76°01'89,31" W), sobre suelo Pardo Sialítico (Hernández *et al.* 1999). El estudio reprodujo el sistema de cultivo tradicional de caña de azúcar utilizado en Cuba, con plantación y cosecha manual, así como ciclos de reposición, luego de cinco cortes. Al momento del presente estudio se encontraba en su tercer ciclo y cepa de segundo retoño, plantado en primavera con el cultivar C86-12.

Diseño experimental. El experimento de bloques completamente al azar incluyó cinco tratamientos: (i) N₀P₂₅K₅₀ nula aplicación de nitrógeno, (ii) N₅₀P₂₅K₅₀ baja aplicación de N, (iii) N₁₀₀P₂₅K₅₀ media aplicación de N, (iv) N₁₅₀P₂₅K₅₀, alta aplicación de N, (v) N₂₀₀P₂₅K₅₀ muy alta aplicación de N, en Kg/ha⁻¹ de N. Cada tratamiento se repitió tres veces y cada réplica contó con 48 m². Los fertilizantes químicos aplicados fueron urea (46 % N), superfosfato de calcio (12 % P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % K₂O). Todos Los fertilizantes se aplicaron en el fondo del surco previo a la plantación y en retoño 20 días post-cosecha, manualmente y sin fraccionar dosis (INICA, 1990).

Muestreo de suelos. La recolección de muestras de suelo rizosférico se realizó en los días de cosecha, según Edwards *et al.* (2015). Se extrajeron tres plantas con raíces, por tratamiento, el suelo en exceso se retiró manualmente y las plantas se colocaron sobre bandejas esterilizadas. Se tomó 1 g, del suelo rizosférico, sin raíces, pero lo más cercano posible a este, aproximadamente, 1mm y se depositó en tubos estériles de 15 ml, que se almacenaron en contenedor a -20°C, para su traslado al laboratorio. Las muestras se almacenaron a -80 °C, para la extracción de ADN.

Extracción de ADN, PCR y secuenciación. Para cada muestra, se extrajo el ADN genómico total de 0,5 g de suelo fresco, utilizando el kit de aislamiento de ADN DNeasy Powersoil® (Qiagen, Hilden, Alemania), de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La concentración y la pureza del ADN se comprobó con un kit Qubit dsDNA HS Assay y fluorómetro Qubit 3.0 (Thermo Fisher Scientific). Se usó una alícuota de ADN (50 ng) de cada muestra, como molde para la amplificación.

Las regiones hipervariables V3-V4 de los ARNr 16S bacterianos se amplificaron usando los cebadores 5'-CCTACGGGNGGCWGCAG-3' y 5'-GACTACHVGGGTATCTAATCC-3', mientras que para las regiones ITS1 e ITS2 fúngicas se utilizaron 5'-CTTG-GTCATTTAGAGGAAGTAA-3' y 5'-GCTGCGTTCTTCATC-GATGC-3' (Klindworth *et al.* 2013). La amplificación y la secuenciación masiva fueron realizadas con tecnología Illumina Miseq, servicio brindado en Austral-Omics, Universidad Austral de Chile. El proceso de secuenciación se realizó con el Kit Miseq Reagent v3 600-cycles (2x250 pair-end). Las secuencias fueron importadas mediante archivo "fastq", considerando dos archivos por muestra, según Orgiazzi *et al.* (2012).

Análisis bioinformático. Se aplicaron filtros de control de calidad, a los archivos fastqs procesados en DADA2, de 240 pb (Callahan *et al.* 2016), con lecturas establecidas, en PHRED 20. El alineamiento múltiple de las nuevas secuencias unificadas (ASV) se realizó, según Katoh & Standley (2013). El árbol filogenético de máxima verosimilitud (ML) se infirió con el FastTree (Price *et al.* 2010). Las abundancias, la taxonomía, la filogenia y los metadatos de ASV se integraron en un objeto Phyloseq y se analizaron con el paquete Phyloseq v1.38.0 (McMurdie & Holmes, 2013). La disimilitud de la diversidad- β (Jaccard, Bray-Curtis y UniFrac filogenético ponderado y no ponderado) para las muestras, se evaluó mediante el análisis de coordenadas componentes principales (ACP), para revelar las diferencias entre los diferentes tratamientos estudiados.

Cada índice se comparó mediante un análisis de varianza multivariante permutacional (PERMANOVA), en el paquete "vegan" v2.5-7 en R (Oksanen *et al.* 2007), mediante la función adonis2 basada en el algoritmo de Anderson (2001). Se determinó la importancia para 10,000 permutaciones.

Las asignaciones taxonómicas a nivel de 16S e ITS se realizaron para las categorías taxonómicas de Reino, Phylum, Clase, Orden,

Familia y Género (100,0 %). La clasificación por Phylum bacterianos se realizó, según los criterios de Brenner *et al.* (2005), Goodfellow *et al.* (2009) y Krieg *et al.* (2010) y la clasificación de los hongos se realizó, según Corsaro *et al.* (2014), Tedersoo *et al.* (2015) y Tedersoo *et al.* (2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microbiota bacteriana. En el análisis de las secuencias obtenidas a partir de ARNr 16S, se obtuvieron 2,722 ASVs identificadas post-filtros en 21 muestras, un promedio de 10,426 lecturas por muestra. La microbiota bacteriana de la rizosfera de la caña de azúcar estuvo principalmente compuesta por los Phylum, con abundancias relativas >1,0 %: Acidobacteriota (26,7 %), Actinobacteriota (19,1 %), Proteobacteria (16,2 %), Firmicutes (15,1 %), Myxococcota (5,3 %), Plantomycetota (4,7 %), Methyloirabilota (3,0 %), Gemmatimonadota (2,3 %), Chloroflexi (2,0 %) y Bacteroidota (1,6 %) (Figura 1), con abundancias relativas >1,0 %. Los cuatro primeros filos (>15,0 %) fueron dominantes en todas las muestras y representaron más del 70 % de la abundancia relativa de las comunidades bacterianas.

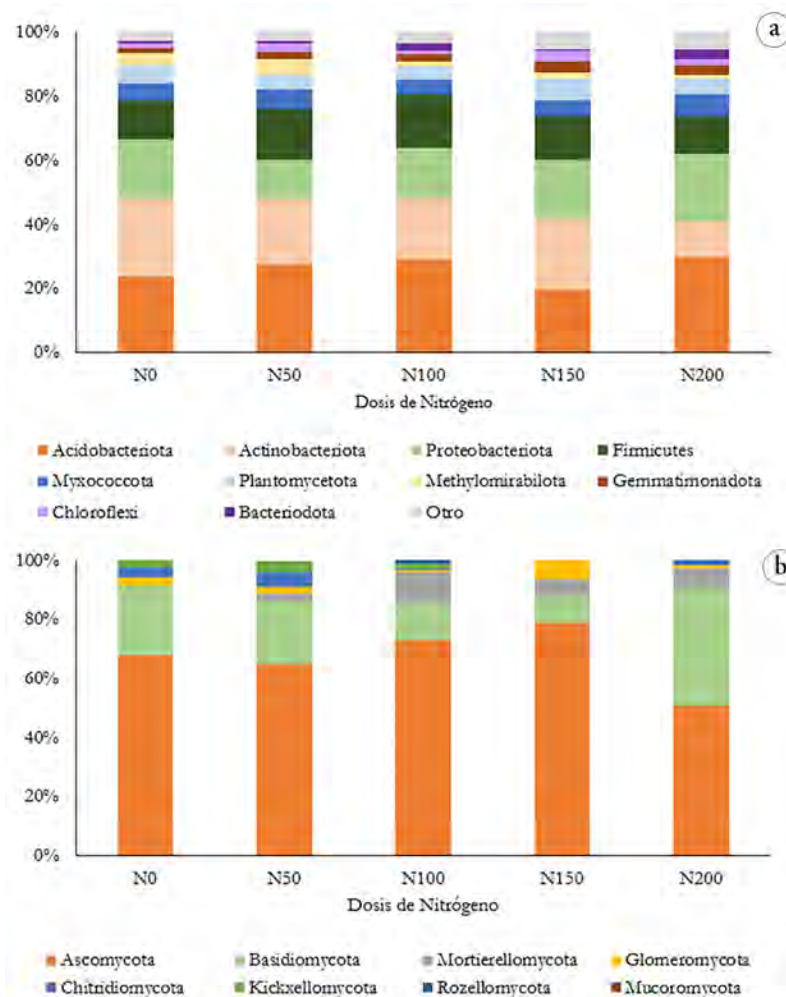


Figura 1. a) Composición de la microbiota bacteriana por Phylum asociada con a) Cada tratamiento (n= 5, con variación de las concentraciones de nitrógeno en el rango de 0 a 200 Kg/ ha⁻¹. El gráfico de barras muestra los 10 Phylum bacterianos más abundantes y sus respectivas abundancias relativas; b) Composición de la micobiota de la caña de azúcar asociada a diferentes dosis de nitrógeno (n= 5, con variación de las concentraciones de nitrógeno en el rango de 0 a 200 Kg/ha⁻¹).

En estudio realizado por Pedrinho *et al.* (2021), explica que las proteobacterias, acidobacterias y actinobacterias fueron los Phylum bacterianos más abundantes encontrados en suelos de campos de caña de azúcar, con quema previa a la cosecha y de bosques adyacentes, tanto en estaciones secas como húmedas, en el sureste de Brasil. El predominio de *Proteobacteria* en dichos ambientes se puede explicar por el hecho de que este Phylum comprende el grupo filogenéticamente más diverso en el dominio Bacteria, reconocido por ser metabólicamente versátil, incluyendo las bacterias aeróbicas y facultativas (Marin, 2014).

Según De Chaves *et al.* (2019), la presencia de Acidobacterias en el suelo puede indicar la presencia de genes relacionados con la síntesis de celulosa y proteínas y de la degradación del carbono, lo que sugiere características de resistencia a la desecación y potencial metabólico para degradación de carbono en suelo de caña de

azúcar. Russo *et al.* (2012) explican que Actinobacteria es una clase dominante en suelo arenoso, siendo la humedad un factor determinante para la abundancia de este filo, que aumenta en suelos áridos, debido a la resistencia de varias especies al estrés por sequía.

El análisis de correlación permitió constatar que a concentraciones crecientes de nitrógeno existe una tendencia a la disminución de los Phylum Actinobacteriota y Methylomirabilota, así como un aumento de Gemmatimonadota y otros Phylum de menor representación (Tabla 1). De manera similar, Gu *et al.* (2021) encontraron un aumento en la abundancia relativa de *Proteobacterias* y Gemmatimonadetes, así como la disminución de Actinobacterias ($P < 0,05$), en el suelo rizosférico de caña de azúcar, en la provincia de Guangdong, China, con la aplicación de fertilizantes nitrogenados, en un rango de dosis entre 375 y 560 kg/ha⁻¹.

Tabla 1. Coeficiente correlación de Spearman entre diferentes concentraciones de nitrógeno y los Phylum de bacteria y hongos asociados a caña de azúcar ($p < 0,05$).

Phylum de bacterias	r_s ($p < 0.05$)
Acidobacteriota	0,4
Actinobacteriota	-0,7
Proteobacteriota	0,4
Firmicutes	-0,3
Myxococcota	0,2
Plantomycetota	0,1
Methylomirabilota	-0,8
Gemmatimonadota	0,8
Chloroflexi	0,3
Bacteriodota	0,3
Otros	1,0
Phylum de hongos	r_s ($p < 0.05$)
Ascomycota	-0,10
Basidiomycota	0,00
Mortiereliomycota	0,40
Glomeromycota	-0,20
Chytridiomycota	-0,60
Kickxellomycota	-0,87
Rozellomycota	0,00
Mucoromycota	0,00

Los aportes de nitrógeno tienen múltiples efectos sobre el crecimiento, la composición y la función microbiana del suelo. Por una parte, se reducen las capacidades metabólicas de las comunidades bacterianas del suelo. El carbono de la biomasa microbiana disminuye después de la fertilización con nitrógeno, debido a la disminución del pH del suelo, lo que resulta en un mayor potencial osmótico y una mayor solubilidad del aluminio, que es tóxico para los microbios del suelo (Kearns *et al.* 2016).

Por otra parte, la aplicación de urea a largo plazo incrementa la diversidad de bacterias oxidantes de amoníaco (AOB), con un aumento significativo en la tasa de nitrificación potencial del suelo, por el enriquecimiento de los géneros con alta capacidad de oxidación de amoníaco (Pester *et al.* 2013). Además, se reduce significativamente la diversidad y la riqueza de las bacterias portadoras de nitrito oxidoreductasa (nxr) subunidad-alfa (nxrA), pero aumenta significativamente la diversidad y uniformidad de las bacterias portadoras de nxrB (subunidad-beta) (Zhang *et al.* 2023).

El análisis de componentes principales indica que existe un 72,2 % de la variación de los datos, en los dos componentes principales, de lo que se infiere, que los diferentes tratamientos de fertilización modifican la abundancia relativa de los grupos microbianos (Figura 2a); particularmente, en la dosis de N, correspondiente a 100 kg/ha⁻¹, existe una mayor asociación con los Phylum Acidobacteria y Firmicutes. Esta dosis es la recomendada para obtener rendimientos agrícolas entre 90 – 100 ton ha⁻¹, bajo las condiciones de Cuba (De León *et al.* 2013).

La rizosfera de la caña de azúcar es rica en actinobacterias, que promueven el crecimiento de las plantas y la mayoría tiene el potencial de antagonizar los patógenos de las plantas (Wang *et al.* 2021). Los firmicutes tienen capacidades metabólicas de amplio rango, capaces de usar varios azúcares, como únicas fuentes de carbono; algunos de ellos están asociados con el proceso de promoción del crecimiento en plantas, como los géneros *Bacillus* y *Rhizobium* (Patel *et al.* 2019); otros tienen rasgos específicos, como la fijación de nitrógeno (Liu *et al.* 2019), tolerancia a la salinidad (Vaishnav *et al.* 2020), producción de bioestimulantes, como péptidos de bajo peso molecular (Yakhin *et al.* 2017), fitohormonas y compuestos volátiles con actividad antimicrobiana (Cordovez *et al.* 2018) e incremento de biomasa (Wang *et al.* 2016).

Micobiota. Para ITS, se obtuvieron 931 ASVs identificados con post filtros en 21 muestras, para un promedio de 3,147 lecturas por muestra. Fueron identificados ocho Phylum de hongos con abundancias relativas superior al 1 % (Figura 1b). Se observó predominio de Ascomycota (66,2 %) y Basidiomycota (21,9 %), resultados que confirman los obtenidos por Liu *et al.* (2019). Los ocho Phylum asociados a caña de azúcar fueron informados anteriormente en suelos.

Autores, como Huang *et al.* (2021), mostraron predominio de los Phylum Ascomycota, Basidiomycota y Mucoromycota y reportan otros Phylum menos abundantes, tales como Mortierellomycota, Chytridiomycota, Glomeromycota, Rozellomycota, y Kickxellomycota, en caña de azúcar, además de presentar variaciones en composición y en abundancias, cuando se aplican insecticidas y mezclas de fertilizantes.

Existe una ligera disminución en la abundancia relativa de Ascomycota en las condiciones naturales del cultivo de la caña de azúcar, sin fertilización, con relación a la dosis de 50 kg/ha⁻¹ de nitrógeno. Este Phylum es más abundante con incrementos en las dosis del elemento, hasta la aplicación de 150 kg/ha⁻¹. Existe disminución en composición y abundancia al aplicar dosis de N, entre 150- 200 kg/ha⁻¹; no existe la presencia de Kickxellomycota, Rozellomycota y Mucoromycota; se aprecia la sensibilidad de estos Phylum, a mayores concentraciones del elemento.

El Phylum Mortierellomycota se observa con la aplicación de 50 kg/ha⁻¹ de N, la abundancia relativa de este se favorece con la aplicación de dosis de 100 kg/ha⁻¹ y es precisamente, en esta dosis, donde se observa la mayor diversidad. *Mucoromycota* solo se muestra cuando se aplican 100 kg/ha⁻¹ de N; de forma general, los

ocho Phylum fungosos presentes se observaron con la aplicación de esta dosis (Figura 3).

Liu *et al.* (2019) estudiaron la dinámica de la comunidad de hongos del suelo en caña de azúcar durante diferentes etapas fenológicas del cultivo y encontraron que la micobiota estaba dominada por los Phylum Basidiomycota y Ascomycota, los que, a su vez, mostraron asociaciones más fuertes, cuando se presentaba un pH más alto, disponibilidad de nitrógeno y temperatura del suelo moderada.

Existieron variaciones en cuanto a composición y abundancias relativas de los Phylum respecto a las dosis de nitrógeno aplicadas. En la medida que se incrementan las dosis del elemento aumenta el número de Phylum presentes (composición), hasta la dosis de N₁₀₀P₂₅K₅₀. A partir de la dosis de N₁₅₀P₂₅K₅₀ se observa una disminución en la composición. El análisis de correlación permitió constatar que a concentraciones crecientes de nitrógeno existe una tendencia a la disminución de los Phylum Kickxellomycota y Chytridiomycota, así como un aumento de Mortierellomycota (Tabla 1). El aumento de nitrógeno reduce la biomasa fúngica, a través de cambios en los exudados específicos de la planta y alteraciones en la competencia de nutrientes entre las plantas y los microbios de la rizosfera o directamente al inhibir el crecimiento de los hongos (Waldrop & Zak, 2006).

A nivel de género y familia se detectó abundancia diferencial, estadísticamente significativa, en el Phylum Ascomycota (Figura 4). La familia Saccharomycetaceae género *Issatchenkia* y se encontró enriquecida en el tratamiento con muy alta fertilización de nitrógeno (N₂₀₀P₂₅K₅₀), con relación al control sin fertilización nitrogenada (N₀P₂₅K₅₀). Los géneros *Groenewaldozyma* y *Zygoascus*, familia Trichomonascaceae, se encontraron en mayor abundancia en el tratamiento N₀P₂₅K₅₀.

De manera general, se aprecia que en las parcelas no tratadas existen géneros que no se detectan con el incremento de las dosis de nitrógeno o solo se detectan en la concentración más alta evaluada. Consistente con este resultado, la mayoría de los hongos microscópicos son saprofitos y su tasa de crecimiento se correlaciona con la disponibilidad de Nitrógeno. Paungfoo-Lonhienne *et al.* (2015), al estudiar la relación entre las dosis de N y la comunidad fúngica en muestras de suelo y rizosfera de caña de azúcar, demostraron que los géneros afectados positivamente incluyeron fitopatógenos, mientras que los de relación negativa fueron relacionados con la salud del suelo y las plantas (biocontroladores, descomponedores).

El género *Issatchenkia* ha sido aislado de una variedad de ambientes que incluyen: granos de cacao, tallo de maíz y sorgo dulce, así como paja de arroz (Matsushika *et al.* 2016). Buddiwong *et al.* (2014) identificaron 19 aislados de levadura de los géneros *Candida* sp., *Pichia* sp. e *Issatchenkia* sp. a partir del suelo, hojas y bagazo de caña de azúcar. Estos autores seleccionaron estas cepas por su capacidad para producir altas concentraciones de etanol a elevadas temperaturas, entre 37 y 45 °C. Además, utilizaron azúcares de hexosa (glucosa, fructosa y sacarosa) y pentosa (xilosa y arabinosa), como fuentes de carbono. La presencia de este género de hongos

se relaciona con enfermedades en humanos y ganado (Centeno-Martínez *et al.* 2023), pero no se encuentra información como patógeno de plantas; sin embargo, *Isatchenka terricola* se propone como potencial probiótico agrícola para promover la salud y el crecimiento de las plantas (Bright *et al.* 2022).

Shrestha *et al.* (2011) demostraron que 71 aislados fúngicos asociados a caña de azúcar, entre los que se encuentra *Zygoascus* sp., participan en la biodegradación de las paredes celulares de la planta huésped. Este proceso conduce a la liberación de oligosacarinas que, en bajas concentraciones, tienen actividad biológica y están involucradas en varios procesos de desarrollo en las plantas, como bioestimulantes o elicitores (Lara Acosta *et al.* 2018).

El género *Groenewaldozyma* fue uno de los propuestos a partir del reconocimiento de la fase telomorfa de algunas especies de *Candida*.

Se ha identificado como parte de la flora intestinal de artrópodos y en frutales con efectos beneficiosos *in vitro* con actividades probióticas y antioxidantes (Stefanini, 2018; Zullo & Ciafardini, 2020).

El análisis de componentes principales explicó que hay un 97,4 % de la variación de los datos, en las dos componentes, uno y dos. Estos resultados confirmaron que los diferentes tratamientos de fertilización alteran influyen s sobre l a bundancia r elativa d e l a comunidad fúngica (Figura 2b). Particularmente, en la dosis de N 100 kg/ha⁻¹, correspondiente a la recomendada para obtener rendimientos agrícolas entre 90 – 100 ton ha⁻¹, bajo las condiciones de Cuba (De León *et al.* 2013), existe una mayor asociación con el Phylum Mortierellomycota.

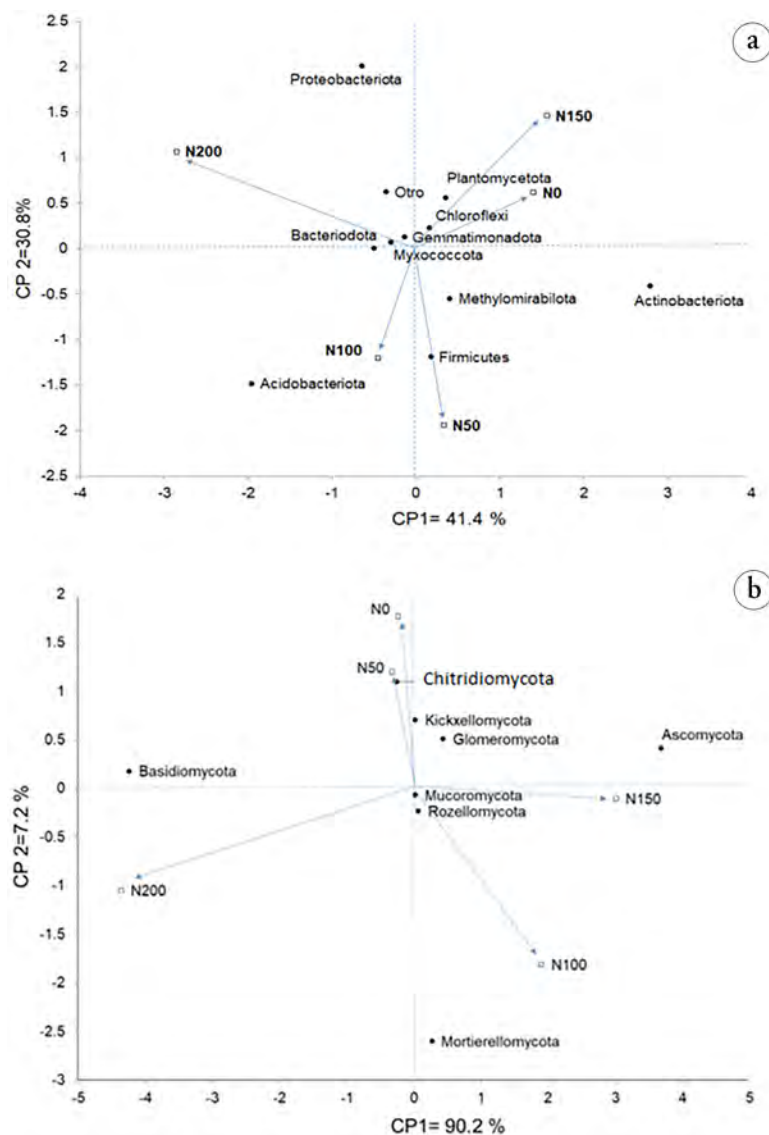


Figura 2. Análisis de componentes principales de muestras por tipo de tratamiento amplicon 16 S. Análisis de varianza permutacional multivariado (Adonis) pr ($> F$) = 0.941; 10.000 permutaciones. a) Phylum de bacterias; b) Phylum de hongos.

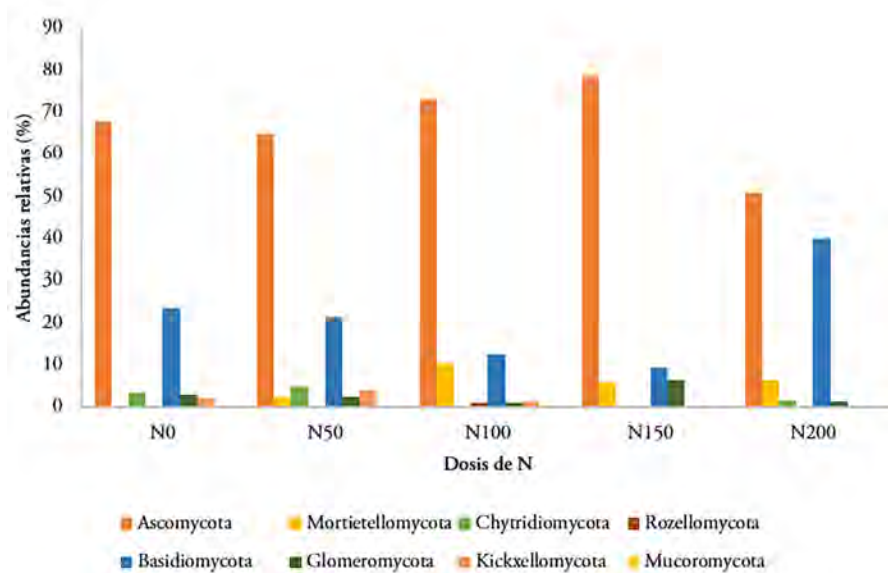


Figura 3. Abundancias relativas de los Phylum por dosis de nitrógeno.

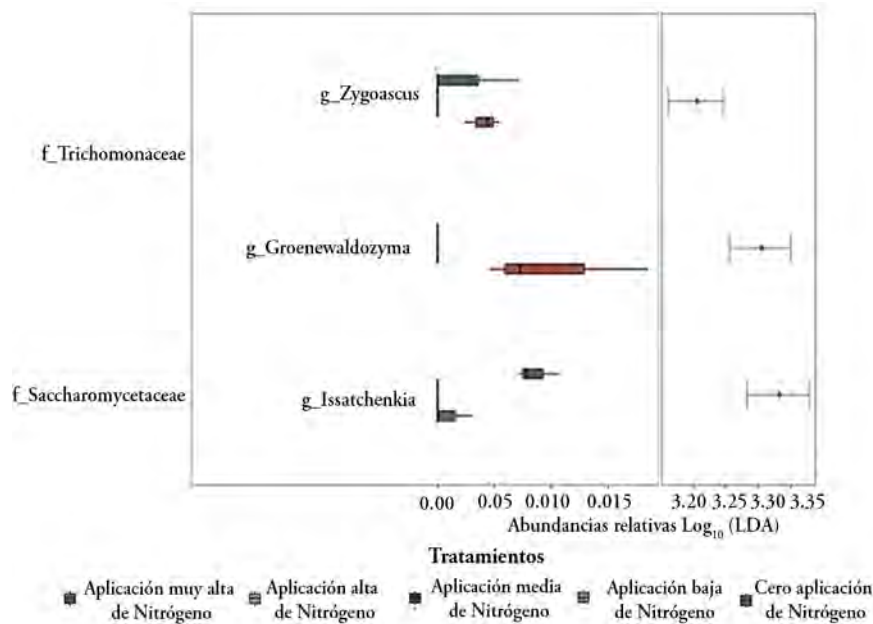


Figura 4. Hongos con abundancia diferencial entre tratamientos. Resultados de las pruebas a nivel de género y familia (Kruskal-Wallis; $p > 0,01$).

El Phylum Mortierellomycota incluye, principalmente, microorganismos saprotrofitos ectomicorrízicos y ubicuos, con la capacidad de crecer en los suelos agrícolas y aumentar el rendimiento de los cultivos, al mejorar la disponibilidad de fósforo soluble y establecer simbiosis con las plantas (Grządziel & Gałazka, 2019). Wang *et al.* (2020) encontraron que pueden disolver el fósforo mineral en el suelo y aumentar el contenido de nutrientes al sintetizar y secretar ácido oxálico; este ácido orgánico también es un factor de patogenicidad potencial para los fitopatógenos, que inhibe el estallido oxidativo del hospedante y debilita las respuestas de defensa dependientes de Ca^{2+} (Sun *et al.* 2019). El Phylum Mortierellomycota también se ha identificado como Phylum predominante en suelos cultivados con pastos y caña de azúcar (Bahadori *et al.* 2022).

Las comunidades microbianas del suelo juegan un papel clave en la sostenibilidad del ecosistema al mantener funciones esenciales, a través de la renovación de carbono y nutrientes. Los resultados de este estudio se pueden utilizar para desarrollar prácticas de manejo más específicas, para mejorar la fertilidad biológica del suelo. Se requiere más investigación para profundizar en la evaluación de los efectos de las características geoquímicas y de la materia orgánica en la composición y estructura de la comunidad microbiana del suelo, en el funcionamiento y en la estabilidad del ecosistema, como respuesta a los cambios ambientales.

Este estudio demostró que la fertilización nitrogenada en caña de azúcar, en el rango estudiado, no induce diferencias significativas en la composición y en la estructura de la comunidad bacteriana, entre

diferentes niveles de fertilización nitrogenada en caña de azúcar. Las Acidobacterias, Firmicutes y Mortierellomycota estuvieron más relacionados con las dosis de nitrógeno recomendadas, para obtener altos rendimientos agrícolas, bajo las condiciones de Cuba.

Respecto a la micobiota, existieron variaciones en cuanto a la composición y abundancias relativas de los Phylum de la micobiota presentes, en relación con las dosis de nitrógeno aplicadas, con predominio de los Phylum Ascomycota y Basidiomycota, detectándose diferencias significativas, a nivel de género y familia, dadas por la presencia de organismos probióticos en las parcelas no tratadas.

Agradecimientos. Agradecemos al personal del Instituto de Investigaciones de la Caña de azúcar de Santiago de Cuba, por el apoyo en la realización de las actividades fundamentales, que muestran los resultados de esta investigación. Especial agradecimiento al personal del laboratorio de Bioenergía de Santiago de Chile, en la realización de los estudios del microbioma y el traslado de las muestras de suelo rizosférico. 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 financiado por los siguientes proyectos: Contribución al conocimiento de las interacciones complejas suelo-caña de azúcar (*Saccharum* spp.) -microorganismos- ambiente con el código 02 PNCTI del programa, Desarrollo de la Agroindustria Azucarera y Contribución de la Biodiversidad Microbiana de los Suelos a la eficiencia de la fertilización de la Caña de Azúcar, en un escenario de cambio climático del Fondo Fiduciario Pérez Guerrero (FFPG), del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Contribución de los autores: Dolores del Rosario Piñón Gómez: conceptualización, adquisición de recursos, supervisión y administración del proyecto; Mónica Tamayo Isaac, Ignacio Ramos, Pablo Pablos Reyes, Yaquelin Puchades Izaguirre: condujeron el proceso de investigación, la curaduría y validación de los datos; Guillermo Reynosa Rodríguez René Barbosa García; Manuel Gilberto Paneque Corrales; Jorge Soto Winkler: obtención de los recursos y la supervisión y administración del proyecto.

REFERENCIAS

- ANDERSON, M.J. 2001. A New method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*. 26(1):32-46. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>.
- BAHADORI, M.; WANG, J.T.; SHEN, J.P.; LEWIS, S.; REZAEI RASHTI, M.; CHEN, C.H. 2022. Soil organic matter and geochemical characteristics shape microbial community composition and structure across different land uses in an Australian wet tropical catchment. *Land degradation & development*. Reino Unido. 33(6):817-831. <https://doi.org/10.1002/ldr.4174>
- BAHRAM, M.; HILDEBRAND, F.; FORSLUND, S.; ANDERSON, J.; SOUDZILOVSKAIA, N.; BODEGOM, P.; BENGTSSON-PALME, J.; ANSLAN, S.; COELHO, L.P.; HAREND, H.; HUERTA-CEPAS, J.; MEDEMA, M.H.; MALTZ, M.R.; MUNDRA, S.; OLSSON, P.A.; PENT, M.; PÓLME, S.; SUNAGAWA, S.; RYBERG, M.; TEDERSOO, L.; BORK, P. 2018. Structure and function of the global topsoil microbiome. *Nature*. 560(7717):233-237. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0386-6>
- BRENNER, D.J.; KRIEG, N.R.; STALEY, J.T. 2005. *Bergey's manual® of systematic bacteriology*. Volume two: The roteobacteria (Part C). 2nd ed. Springer. US.
- BRIGHT, J.P.; KARUNANADHAM, K.; MAHESHWARI, H.S.; KARUPPIAH, E.A.A.; THANKAPPAN, S.; NATARAJ, R.; PANDIAN, D.; AMEEN, F.; POCZAI, P.; SAYYED, R.Z. 2022. Seed-borne probiotic yeasts foster plant growth and elicit health protection in black gram (*Vigna mungo* L.). *Sustainability*. Suiza. 14:e4618. <https://doi.org/10.3390/su14084618>
- BUDDIWONG, S.; THANONKEO, S.; PHETSOM, J.; JAISIL, P.; THANONKEO, P. 2014. Screening of thermotolerant yeast isolated from sugarcane plantations in Northeastern part of Thailand. *KHON KAEN University Research Journal*. 19(Supl. 1):217-223.
- CALLAHAN, B.J.; MCMURDIE, P.J.; ROSEN, M.J.; HAN, A.W.; JOHNSON, A.J.A.; HOLMES, S.P. 2016. DADA2: High-Resolution Sample Inference from Illumina Amplicon Data. *Nature Methods*. 13(7):581-83. <https://doi.org/10.1038/nmeth.3869>
- CENTENO-MARTÍNEZ, R.E.; MOHAN, S.; DAVIDSON, J.L.; SCHOONMAKER, J.P.; AULT, A.; VERMA M.S.; JOHNSON, T.A. 2023. The bovine nasal fungal community and associations with bovine respiratory disease. *Frontiers in Veterinary Science*. Suiza 10:1165994. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1165994>
- CORDOVEZ, V.; SCHOP, S.; HORDIJK, K.; DE BOULOIS, H.D.; COPPENS, E.; HANSEN, I.; RAAIJMAKERS, J.M.; CARRIÓN, V.J. 2018. Priming of plant growth promotion by volatiles of root associated *Microbacterium* spp. *Applied. Environmental. Microbiology*. Estados Unidos. p.84 <https://doi.org/10.1128/AEM.01865-18>
- CORSARO, D.; WALOCHNIK, J.; VENDITTI, D.; STEINMANN, J.; MÜLLER, K.D.; MICHEL, R. 2014. Microsporidia-like parasites of amoebae belong to the early fungal lineage Rozellomycota. *Parasitology Research*. 113(5):1909-18. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-3838-4>
- DE CHAVES, M.G.; SILVA, G.G.Z.; ROSSETTO, R.; EDWARDS, R.A.; TSAI S.M.; NAVARRETE, A.A. 2019. Subgrupos de acidobacterias y su potencial

- metabólico para la degradación del carbono en suelos de caña de azúcar modificados con vinaza y fertilizantes nitrogenados. *Front. Microbiology*. Suiza. 10:1680. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01680>
12. DE LEÓN, M.; PÉREZ, H.; VILLEGAS, R.; PÉREZ, H.; SANTANA, I.; RODRÍGUEZ, I. 2013. Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar. grupo azucarero AZCUBA. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. p.71-77
 13. EDWARDS, J.; JOHNSON, C.; SANTOS-MEDELLÍN, C.; LURIE E.; PODISHETTY, N.K.; EISEN, J.A.; SUNDARESAN. 2015. Structure, Variation, and Assembly of the Root-Associated Microbiomes of Rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* Estados Unidos. 112(8):e911-20. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414592112>
 14. FENG, Y.; DELGADO-BAQUERIZO, M.; ZHU, Y.; HAN, X.; HAN, X.; XIN, X.; LI, W.; GUO, Z.; DANG, T.; LI, C. 2022. Responses of soil bacterial diversity to fertilization are driven by local environmental context across China. *Engineering*. 12:164-170. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.09.012>
 15. GOODFELLOW, M.; KÄMPFER, P.; BUSSE, H.J.; TRUJILLO, M.E.; SUZUKI, K.I.; LUDWIG, W.; WHITMAN, W.B. 2009. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Volume 5: The Actinobacteria. 2nd ed. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68233-4>
 16. GRZAÐZIEL, J.; GAŁAŻKA, A. 2019. Fungal biodiversity of the most common types of polish soil in a long-term microplot experiment. *Front. Microbiology*. 10:(6). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00006>
 17. GU, Y.; WANG, J.; CAI, W.; LI, G.; MEI, YANG, S. 2021. Different amounts of nitrogen fertilizer applications alter the bacterial diversity and community structure in the rhizosphere soil of sugarcane. *Front. Microbiology*. 12:e721441. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.721441>
 18. HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; CASTRO, N. 1999. Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas e Instituto de Suelos. Mayabeque, Cuba. p.91
 19. HUANG, W.; LU, Y.; CHEN, L.; SUN, D.; AN, Y. 2021. Impact of pesticide/fertilizer mixtures on the rhizosphere microbial community of field-grown sugarcane. *3 Biotech*. 11(5):210. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02770-3>
 20. INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIONES DE LA CAÑA DE AZÚCAR, INICA. 1990. Normas metodológicas del departamento de suelos y agroquímica. Tomo 1. p.100.
 21. KATOH, K.; STANDLEY, D.M. 2013. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: Improvements in performance and usability. *Molecular Biology and Evolution*. 30(4):772-80. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst010>
 22. KEARNS, P.J.; ANGELL, J.H.; HOWARD, E.M.; DEEGAN, L.A.; STANLEY, R.H.; BOWEN, J.L. 2016. Nutrient enrichment induces dormancy and decreases diversity of active bacteria in salt marsh sediments. *Nature Communications*. 7:e12881. <https://doi.org/10.1038/ncomms12881>
 23. KLINDWORTH, A.; PRUESSE, E.; SCHWEER, T.; PEPLIES, J.; QUAST, C.; HORN, M.; GLÖCKNER, F.O. 2013. Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. *Nucleic acids research*. 41(1):1 <https://doi.org/10.1093/nar/gks808>
 24. KRIEG, N.; STALEY, J.T.; BROWN, D.R.; HEDLUND, B.P.; PASTER, B.J.; WARD, N.L.; LUDWIG, W.; WHITMAN, W.B. 2010. *Bergey's manual of systematic bacteriology Volume 4: The Bacteroidetes, Spirochaetes, Tenericutes (Mollicutes), Acidobacteria, Fibrobacteres, Fusobacteria, Dictyoglomi, Gemmatimonadetes, Lentisphaerae, Verrucomicrobia, Chlamydiae, and Planctomycetes*. 2nd ed. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68572-4>
 25. LARAACOSTA, D.; COSTALES MENÉNDEZ, D.; FALCÓN RODRÍGUEZ, A. 2018. Los oligogalacturónidos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. *Cultivos Tropicales*. 39 (2):127-134.
 26. LI, C.X.; MA, S.C.; SHAO, Y.; MA, S.T.; ZHANG, L.L. 2018. Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 17:210-219. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61740-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61740-4)
 27. LIN, Y.; YE, G.; LUO, J.; DI, H.J.; LINDSEY, S.; FAN, J.; LIU, D.; DING, W. 2021. Long-term organic fertilization regulates the abundance of major nitrogen-cycling-related genes in aggregates from an acidic Ultisol. *APPLIED Soil Ecology*. 165:e104014. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104014>
 28. LIU, X.; LI, Q.; LI, Y.; GUAN, G.; CHEN, S. 2019. *Paenibacillus* strains with nitrogen fixation and multiple beneficial properties for promoting plant growth. *PeerJ*. 7:e7445. <https://doi.org/10.7717/peerj.7445>
 29. MARIN, I. 2014. Proteobacteria. En: Amils, R. (ed.) *Encyclopedia of astrobiology*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27833-4_1288-2

30. MATSUSHIKA, A.; NEGI, K.; SUZUKI, T.; GOSHIMA, T.; HOSHINO, T. 2016. Identification and characterization of a novel *Issatchenkia orientalis* GPI-Anchored protein, IoGas1, required for resistance to low pH and salt stress. *PLoS One*. 11(9):e0161888. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161888>
31. MCMURDIE, P.J.; HOLMES, S. 2013. Phyloseq and R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data. *PLoS One*. 8(4):e61217. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061217>
32. MEGYES, M.; BORSODI, A.K.; ÁRENDÁS, T.; MÁRIALIGETI, K. 2021. Variations in the diversity of soil bacterial and archaeal communities in response to different long-term fertilization regimes in maize fields. *Applied Soil Ecology*. 168:e104120. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104120>
33. OKSANEN, J.; KINDT, P.; LEGENDRE, P.; O'HARA, B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; H. STEVENS, H.H.; WAGNER, H. 2007. The vegan package. *community ecology*.
34. ORGIAZZI, A.; LUMINI, E.; NILSSON, R.H.; GIRLANDA, M.; VIZZINI, A.; BONFANTE, P.; VALERIA, B. 2012. Unravelling soil fungal communities from different mediterranean land-use backgrounds. *PLoS ONE Estados Unidos*. 7(4):e34847. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034847>
35. PATEL, C.B.; SINGH, V.K.; SINGH, A.P.; MEENA, M.; MUPADHYAY, R.S.S. 2019. Chapter 10 - Microbial genes involved in interaction with plants. En: Singh, H.B.; Gupta, V.K.; Jogaiah, S. *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering. Microbial Genes Biochemistry and Applications*. Elsevier. p.171-180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63503-7.00010-3>
36. PAUNGFUO-LONHIENNE, C.; YUN KIT, Y.; PINAKI KASINADHUNI, N.R.; LONHIENNE, T.G.A.; ROBINSON, N.; HUGENHOLTZ, P.; RAGAN, M.A.; SUSANNE, S. 2015. Nitrogen fertilizer dose alters fungal communities in sugarcane soil and rhizosphere. *Scientific Reports*. 5(1):8678. <https://doi.org/10.1038/srep08678>
37. PEDRINHO, E.A.N.; NAVARRETE, A.A.; KISHI, L.T.; CESÁRIO, C.; ROMANCINI, V.; FÉLIX, R.C.; DE SOUZA, E.; NASCIMENTO, L.; MUI, S., DE MACEDO, E.L. 2021. Taxonomic and nitrogen-cycling microbial community functional profiles of sugarcane and adjacent forest soils in Southeast Brazil. *MOJ Eco-Environment Sciencie*. 6(4):119-125. <https://doi.org/10.15406/mojes.2021.06.00224>
38. PESTER, M.; MAIXNER, F.; BERRY, D.; RATTEI, T.; KOCH, H.; LÜCKER, S.; NOWKA, B.; RICHTER, A.; SPIECK, E.; LEBEDEVA, E.; LOY, A.; WAGNER, M.; DAIMS, H. 2013. Nxr Bencoding the beta subunit of nitrite oxidoreductase as functional and phylogenetic marker for nitrite-oxidizing Nitrospira. *Environmental Microbiology*. 16(10):3055-3071. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12300>
39. PRICE, M.N.; DEHAL, P.S.; ARKIN, A.P. 2010. FastTree 2: árboles de probabilidad máxima aproximada para alineaciones grandes. *PLoS ONE*. 5(3):9490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009490>
40. PUZNIAK, O.; HRYNCHYSHYN, N.; DATSKO, T.; ANDRUSZCZAK, S.; HULKO, B. 2022. Consequences of the long-term fertilization system use on physical and microbiological soil status in the Western Polissia of Ukraine. *Agriculture*. 12:1955. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111955>
41. RASHID, M.I.; MUJAWAR, L.H.; SHAHZAD, T.; ALMEELBI, T.; ISMAIL, I.M.I.; OVES, M. 2016. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiology Research*. 183:26-41.
42. RUSSO, S.E.; LEGGE, R.; WEBER, K.; BRODIE, E.L.; GOLDFARB, K.C.; BENSON, A.K.; TAN, S. 2012. Bacterial community structure of contrasting soils underlying Bornean rain forests: inferences from microarray and next-generation sequencing methods. *Soil Biology and Biochemistry*. 55:48-59. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.05.021>
43. SHRESTHA, P.; SZARO, T.M.; BRUNS, T.D.; TAYLOR, J.W. 2011. Systematic search for cultivatable fungi that best deconstruct cell walls of miscanthus and sugarcane in the field. *Applied and Environmental Microbiology*. 77(15):5490-5504. <https://doi.org/10.1128/AEM.02996-10>
44. STEFANINI, I. 2018. Yeast-insect associations: It takes guts. *Yeast*. 35(4):315-330. <https://doi.org/10.1002/yea.3309>
45. SUN, Q.; LI, J.; FINLAY, R.D.; LIAN, B. 2019. Oxalotrophic bacterial assemblage in the ectomycorrhizosphere of forest trees and their effects on oxalate degradation and carbon fixation potential. *Chemical Geology*. 514:54-64. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.03.023>
46. TEDERSOO, L.; ANSLAN, S.; BAHRAM, M.; PÓLME, S.; RIIT, T.; LIIV, I.; KÓLJALG, U.; KISAND, V.; NILSSON, R.H.; HILDEBRAND, F.; BORK, P.; ABARENKOV, K. 2015. Shotgun metagenomes and multiple primer pair-barcode combinations of amplicons reveal biases in metabarcoding analyses of fungi. *MycKeys*. 10:1-43. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.10.4852>

47. TEDERSON, L.; LIIV, I.; KIVISTIK, P.A.; ANSLAN, S.; KÖLJALG, U.; BAHRAM, M. 2016. Genomics and metagenomics technologies to recover ribosomal DNA and single-copy genes from old fruit-body and ectomycorrhizal specimens. *MycKeys*. 13:1-20. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.13.8140>
48. VAISHNAV, A.; SINGH, J.; SINGH P; RAJPUT, R.S.; SINGH, H.B.; SARMA, B.K. 2020. *Sphingobacterium* sp. BHU-AV3 induces salt tolerance in tomato by enhancing antioxidant activities and energy metabolism. *Frontiers Microbiol.* 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00443>
49. WALDROP, M.P.; ZAK, D.R. 2006. Response of oxidative enzyme activities to nitrogen deposition affects soil concentrations of dissolved organic carbon. *Ecosystems*. 9:921-33. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0149-0>
50. WANG, Q.; CHEN, L.; HE, L.Y.; SHENG, X.F. 2016. Increased biomass and reduced heavy metal accumulation of edible tissues of vegetable crops in the presence of plant growth-promoting *Neorhizobium huautlense* T1-17 and biochar. *Agriculture, Ecosystem & Environmental*. 228:9-18. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.006>
51. WANG, S.; CHENG, J.; LI, T.; LIAO, Y. 2020. Response of soil fungal communities to continuous cropping of flue-cured tobacco. *Scientific Reports*. 10:19911. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77044-8>
52. WANG, Z.; SOLANKI, M.K.; YU, Z.X.; ANAS, M.; DONG, D.F.; XING, Y.X.; MALVIYA, M.K.; PANG, F.; LI, Y.R. 2021. Genome characteristics reveal the biocontrol potential of Actinobacteria isolated from sugarcane rhizosphere. *Frontiers Microbiology*. 12:797889. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.797889>
53. YAKHIN, O.I.; LUBYANOV, A.A.; YAKHIN, I.A.; BROWN, P.H. 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*. 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
54. ZHANG, W.; MA, Y.; YANG, X.; XU, X.; NI, B.; LIU, R.; MENG, F. 2023. Investigation of soil microbial communities involved in N cycling as affected by the long-term use of the N stabilizers DMPP and NBPT. *Agronomy*. 13(3):659. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030659>
55. ZULLO, B.A.; CIAFARDINI, G. 2020. Virgin olive oil quality is affected by the microbiota that comprise the biotic fraction of the oil. *Microorganisms*. 8(5):663. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050663>

Contenido de clorofila en hojas de palto con diferentes niveles poblacionales de *Oligonychus punicae* Hirst y su impacto en el rendimiento

Chlorophyll contents in avocet leaves with different populational levels of *Oligonychus punicae* Hirst and its impact on yield

Gabriela Deza-Deza¹ ; Jorge Pinna-Cabrejos^{2*} 

¹Virú S.A., Virú - La libertad, Perú; e-mail: gdezadeza@gmail.com

²Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo - La Libertad, Perú; e-mail: jorge.pinnacabrejos@gmail.com

*autor de correspondencia: jorge.pinnacabrejos@gmail.com

Cómo citar: Deza-Deza, G.; Pinna-Cabrejos, J. 2023. Contenido de clorofila en hojas de palto con diferentes niveles poblacionales de *Oligonychus punicae* Hirst y su impacto en el rendimiento. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2370. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2370>

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 3 de 2023

Aceptado: diciembre 1 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El palto es un cultivo muy importante, a nivel mundial y en Perú, siendo una plaga importante el ácaro *Oligonychus punicae*. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de diferentes niveles poblacionales del *O. punicae*, en el contenido de clorofila en hojas de palto y su impacto en su rendimiento e inferir un umbral económico y de intervención. Se utilizó un diseño completamente al azar, considerando 3 tratamientos con diferentes niveles poblacionales, correspondiente a los grados 2, 3 y mayor que 3. Se tomó un árbol como unidad experimental con 20 repeticiones por tratamiento, en donde se evaluó la población de ácaro en 4 hojas por árbol. Estas evaluaciones se realizaron con frecuencia semanal durante toda la campaña. Se midió el contenido de clorofila de las 4 hojas por árbol en cada tratamiento; asimismo, se evaluó el rendimiento en cada tratamiento ($t\ ha^{-1}$). Los resultados mostraron que los diferentes grados de infestación estudiados: Grado 2 (1-10 ácaros/hoja), Grado 3 (11-25 ácaro/hoja), Grado 4 (26-50 ácaros/hoja) y Grado 5 (mayor a 50 ácaros/hoja) de *O. punicae*, no influyeron significativamente en los índices de clorofila en las hojas de palto. Además, se determinó que no existe correlación entre los diferentes grados de infestación de *O. punicae* con el rendimiento de palto. En el presente trabajo no se pudo determinar el umbral de acción para esta plaga y cultivo, ya que los niveles poblacionales estudiados no mostraron un impacto estadísticamente significativo sobre el rendimiento.

Palabras claves: Ácaros; Aguacate; Ecología de poblaciones; Evaluación de insectos plaga; Umbral de acción.

ABSTRACT

Avocado is a very important crop worldwide, and in Peru, being a relevant pest the mite *Oligonychus punicae*. The aim of this paper was to determine the effect of different levels of *O. punicae* populations on the chlorophyll content in avocado leaves and its impact on their yield, and to infer an economic and intervention threshold. A completely randomized design was carried out, there were 3 treatments each with a different population level corresponding to grades 2, 3 and greater than 3. A tree was taken as a sampling unit with 20 replications per treatment, the mite population was evaluated in 4 leaves per tree. These evaluations were carried out on a weekly basis throughout the campaign. The chlorophyll content of the 4 leaves per tree was evaluated in each treatment, likewise the production in each treatment ($t\ ha^{-1}$) was also evaluated. The results showed that the different degrees of infestation studied: Grade 2 (1 - 10 mites / leaf), Grade 3 (11-25 mites / leaf), Grade 4 (26- 50 mites / leaf) and Grade 5 (greater than 50 mites / leaf) of *O. Hirst* did not influence the chlorophyll indices in the avocado leaves. It was also determined that there is no correlation between the different degrees of infestation of *O. punicae* Hirst with the avocado yield. In the present work, the mite action threshold could not yet be determined since the population levels studied did not show a statistically significant impact on yield performance.

Keywords: Action threshold; Avocado; Insect pest assessment; Mites; Population ecology.

INTRODUCCIÓN

El palto o aguacate (*Persea americana* Mill.) es una fruta cuya demanda, a nivel mundial, viene creciendo de manera exponencial en 2022 y 2023 (Luengo & Ramírez, 2023), debido a los grandes beneficios nutricionales, al contener altos porcentajes de vitaminas, de proteínas y de grasas insaturadas, lo que permite su consumo en fresco, procesado y también su empleo en la industria cosmética (Gonzales, 2018). El palto es una laurácea, originario de América Central, entre México y Guatemala (Whiley *et al.* 2007) y es un árbol de hoja perenne, que puede llegar a medir hasta 18 metros de altura (Ayala Silva & Ledesma, 2014).

Una de las principales plagas que tiene este cultivo son los ácaros o arañitas rojas, de la familia Tetranychidae, cosmopolitas y muy polífagos, principalmente los ácaros, del género *Oligonychus* y, en específico, la especie *Oligonychus punicae* Hirst, 1926. Estos ácaros atacan, por lo general, las hojas y, en algunos casos, los frutos.

A nivel global, se describen 1.257 especies de la familia Tetranychidae, comprendidas en 71 géneros (Flechtman & Moraes, 2017). Los tetránquidos se caracterizan por tener un cuerpo pequeño y globoso; la hembra es de forma redondeada y es más grande que el macho, el cual, tiene forma algo más alargada.

El ácaro se sitúa, principalmente, en el haz de la hoja, cerca de las nervaduras, donde los adultos e inmaduros se alimentan, causando daño a las células superficiales de la hoja, aunque en altos niveles poblacionales, se podría extender al envés (Vásquez *et al.* 2008). La zona afectada de la hoja se va tornando progresivamente de color marrón y después, los ácaros pueden causar la caída temprana de las hojas afectadas, como consecuencia del aumento de la transpiración en las mismas (Ripa & Larral, 2008).

Cuando hay una infestación elevada, los ácaros pueden invadir el follaje nuevo, causando también el bronceado, lo cual, podría ocasionar la caída de fruta recién formada o de fruta de calibre más pequeño (Ripa & Larral 2008; Sances *et al.* 1982a), debido a que la fruta queda expuesta a la radiación y las altas temperaturas del ambiente (Bender, 1993). La caída de hojas puede ocurrir cuando se tienen densidades promedio de 70 hembras adultas por hoja, por un corto periodo de tiempo o por 50 hembras adultas por hoja, por largos periodos. Los ácaros fitófagos se alimentan del follaje causando destrucción de células y, por lo tanto, disminución de la clorofila, una disminución en la duración de las hojas, así como alteraciones en su tamaño y en la tasa de su formación. Las pérdidas en la producción dependerán del nivel de infestación, de la duración del ataque y del momento en que se presente los ácaros, de acuerdo con el desarrollo fenológico de la planta (Mesa, 1999).

El ácaro marrón del palto *O. punicae* es una plaga importante en el sur de California (Estados Unidos), donde infesta a varios cultivares y, en especial, a los paltos del cultivar Hass, el cual, constituye más del 88,6 % de los cultivares en ese lugar. Muchas de las especies de *Oligonychus* están restringidas a diferentes altitudes; algunas, se establecen en paltos instalados a más de 1.200 m s.n.m. y otras

especies están restringidas solo a altitudes menores a los 1.200 m s.n.m. y se les ha encontrado afectando no solo a los paltos, sino también en otras plantas hospederas (Aponte & McMurtry, 1997; Cerna *et al.* 2009).

Los daños causados por los ácaros parecen ser más severos en las zonas desérticas, como sería en caso de los cultivares en el Perú, causando defoliación, cuando las poblaciones llegan alrededor de 500 ácaros por hoja, alcanzando su punto máximo en los meses de verano y declinando las poblaciones hacia finales del otoño e invierno e, incluso, llegando a desaparecer completamente en épocas de lluvias. La longevidad media de las hembras de los ácaros en el cultivar Hass es mayor que en el cultivar Pinkerton y Lamb Hass, lo que indica que existe mayor susceptibilidad de algunos cultivares frente a otros. El hospedero tiene un efecto sobre la reproducción de los ácaros y esto puede estar asociado a la mayor o menor producción de algunos compuestos de las plantas, como los flavonoides o fenoles (Vásquez *et al.* 2008).

Las altas densidades de otros ácaros, como la arañita roja *Tetranychus urticae* Koch, redujeron significativamente la fotosíntesis, la transpiración, la productividad y el crecimiento vegetativo de las plantas de fresa, en condiciones de campo (Sances *et al.* 1982b). Las reducciones en el contenido de clorofila de la hoja (clorosis), se asocian con daños producidos por la araña roja en cultivos, como la manzana, las almendras, los cítricos y la fresa. Las plantas con mayor número de hojas maduras son más tolerantes a las lesiones por alimentación de *T. urticae*, lo cual, se atribuye a que las plantas maduras pueden compensar el estrés y, por lo tanto, es posible que no se produzcan reducciones en la productividad (Sances *et al.* 1982b).

El ácaro rojo europeo, *Panonychus ulmi* Koch, revela una clara relación entre los niveles acumulados de ácaros por día (CMD) y la pérdida de rendimiento y las altas densidades de ácaros, que se producen en la mitad de la temporada, pueden reducir el peso de la fruta, en el año y una disminución en el número de frutas, en la temporada siguiente (Palevsky *et al.* 1996).

Las hojas de paltos que sufrieron un daño del 46 % en su superficie mostraron un 30 % de reducción en las tasas de fotosíntesis, en comparación con las hojas, con un 91% de daño, donde las tasas disminuyeron en un 41 % (Maoz *et al.* 2010), lo que demuestra que la alimentación de *O. punicae* puede reducir gravemente una serie de procesos fisiológicos importantes. Un umbral de acción conservador es de 50 - 100 ácaros por hoja (Maoz *et al.* 2010); sin embargo, se considera necesario realizar más investigaciones para refinar este umbral, ya que puede variar entre los cultivares y las regiones climáticas. El conocimiento y la definición de un umbral de acción podría ayudar a reducir las aplicaciones de plaguicidas contra el ácaro, reducir los efectos adversos contra los agentes de control biológico y los daños a la salud humana y al medio ambiente.

El control de ácaros con el uso de plaguicidas químicos aumenta los costos de producción y afectan negativamente el medio ambiente, sin contar que, por el uso indiscriminado, pierden eficacia

rápido. Por tanto, considerando la importancia del efecto de los ácaros en diversos cultivos se han realizado correlaciones entre la población de los ácaros, el rendimiento, el número de hojas y la tasa fotosintética, a fin de poder llegar a establecer umbrales de acción adecuados (Karmakar, 2008).

Las condiciones de estrés generadas por las enfermedades o los insectos plaga causan, como respuesta en la planta, una disminución en la cantidad de clorofila (Gonzales, 2018), perjudicando el proceso de distribución de fotosintatos y conduciendo a una disminución en la fijación de carbono (Casiera-Posada & Aguilar-Avenida, 2008). En algunos cultivos de granos se ha observado que el contenido de clorofila está directamente asociado con el rendimiento (Gonzales, 2018).

Muchos estudios realizados en fresa, en melocotón, en algodón y en menta, sobre el efecto de los ácaros, han manifestado una disminución en la tasa fotosintética y la transpiración de las hojas. La disminución de la tasa fotosintética es resultado de la disminución de la apertura de las estomas, la que varía según las densidades de ácaros y la intensidad de daño (Reddall *et al.* 2004).

En el palto, el contenido medio de clorofila en el haz de las hojas disminuye al presentar lesiones por ácaros superiores al 65 % de la hoja, mientras que el contenido de clorofila del envés de la hoja se mantiene igual en diferentes niveles de lesión. Esto, porque la alimentación del ácaro marrón del palto, normalmente, se limita al haz de la hoja, hasta que las poblaciones de ácaros se vuelven extremadamente altas (Sances *et al.* 1982a).

Para poder prevenir el impacto de esta plaga es necesario tener los conceptos claros sobre el nivel de daño económico y el umbral de acción. El nivel de daño económico se define como una densidad de población que causa daños económicos (afectando el rendimiento), mientras que el umbral de acción, indica una densidad poblacional, en la cual, se requiere intervención, para evitar que se alcance el nivel de daño económico. Como tal, el concepto de umbral de acción es en realidad un parámetro que indica el momento adecuado para efectuar una medida de control (Maaz *et al.* 2010).

Actualmente, Perú es el tercer exportador mundial de paltas (CIEN, 2023) y la ampliación de zonas destinadas a este cultivo continúa en crecimiento, ya que se cuenta con características agroclimáticas favorables, para el desarrollo de este. Para la realidad de la Costa Norte de Perú, no se tiene referencia del nivel poblacional del ácaro que causaría defoliación y el impacto que tendría sobre la producción; asimismo, no se tienen estudios acerca de que si existe alguna correlación directa entre el contenido de clorofila, el grado de infestación y el rendimiento.

Esta investigación está dirigida a establecer un umbral económico, de acuerdo con las condiciones de la zona, teniendo como referencia el contenido de clorofila, que es una de las respuestas fisiológicas, que son medibles y que permite evaluar su correlación con el nivel poblacional, a fin de entender la capacidad que tiene la planta para soportar el daño del ácaro. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el contenido de clorofila en hojas de

palto, con diferentes niveles o grados poblacionales del ácaro *O. punicae* y determinar su relación con el rendimiento e inferir, tanto un umbral económico como un umbral de acción o intervención.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en árboles de palto cultivar Hass, que tienen una edad de seis años, con portainjerto cultivar Zutano. El lote evaluado corresponde a un campo de 40 ha, ubicado en la zona de Virú, La libertad. El campo está ubicado en las coordenadas 8°22'04" S, 78°47'46" O a 150 m s.n.m. y la textura del suelo es arena.

La densidad del cultivo es de 667 plantas por hectárea, el marco de siembra es de 6 metros entre hileras y 2,5 entre plantas. El sistema productivo es convencional, con sistema de riego por goteo, con cuatro mangueras por surco y la fertilización se realiza por concentración (ppm de fertilizantes), de acuerdo con los requerimientos de la planta, según su etapa de cultivo. Los controles fitosanitarios se realizaron de manera foliar, mediante la utilización de maquinarias atomizadoras, previamente calibradas, para asegurar eficiencia en las aplicaciones. El cultivar Hass presenta ataques severos del ácaro marrón, especialmente, entre noviembre y marzo, que coinciden con el aumento de las temperaturas en la zona.

Para la unidad experimental se tomaron árboles con características homogéneas en tamaño (altura aproximada de 4,5 m), ancho de tallo, número de ramas principales (4 ramas principales), frondosidad y vigor. La muestra estuvo constituida por un total de 60 árboles, correspondiendo 20 árboles para cada uno de los tres tratamientos. La unidad experimental fue un árbol, de donde se evaluaron cuatro hojas por árbol, pertenecientes a 4 ramas, dos en posición oeste y dos en posición este. Las poblaciones originales existentes de ácaros fueron reguladas hasta los grados deseados en cada tratamiento (grado 2, 3, y mayor a 3), mediante aplicaciones de productos acaricidas, a fin de mantener el nivel poblacional, requerido para cada tratamiento. Los ácaros fueron identificados por el entomólogo Dr. Juan Carlos Cabrera La Rosa.

El número de individuos registrados por hoja fueron agrupados en escalas o grados: Grado 1: 0-5 individuos móviles (adultos o ninfas); Grado 2: 6-10 individuos móviles (adultos o ninfas); Grado 3: 11-25 individuos móviles (adultos o ninfas); Grado 4: 26-50 individuos móviles (adultos o ninfas); Grado 5: 51 a más individuos móviles (adultos o ninfas). Los tratamientos aplicados fueron: T1: nivel poblacional grado 2; T2: nivel poblacional grado 3; T3: nivel poblacional grados 4 y 5.

Los tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente dentro de una parcela de 1,7 ha. Se registró la cantidad de individuos móviles que se observaron por hoja, lo que incluye a estadios adultos y ninfas. La evaluación se realizó con una frecuencia semanal, con una lupa entomológica de 30X y se registraba el total de individuos móviles: adultos y ninfas. De cada unidad experimental (árbol) se obtuvo un promedio de individuos por hoja a la semana.

El índice de clorofila activa por hoja (contenido de clorofila) fue medido con ayuda del medidor de clorofila FIELD SCOULT CM 1000 (clorofilómetro) (Read *et al.* 2004) (Figura 1). El medidor de clorofila arrojó un índice de clorofila promedio por hoja de los tres datos tomados por hoja. Este valor fue tomado en las cuatro hojas por cada unidad experimental y 20 árboles por tratamiento. Se realizaron cuatro evaluaciones durante la campaña (cada 3 meses), en el mismo árbol, considerando el mismo número de hojas que se

tomaron para la evaluación de niveles poblacionales y teniendo en cuenta las mismas ubicaciones, respecto a la recepción de luz solar. Se realizaron las mediciones en horas de la mañana, a fin de evitar que la radiación solar altere los valores de la medición. Además, se realizó la medición cuando la hoja estuvo seca y limpia, es decir, se evitó realizar la medición en hojas húmedas, después de la lluvia o en hojas sucias.

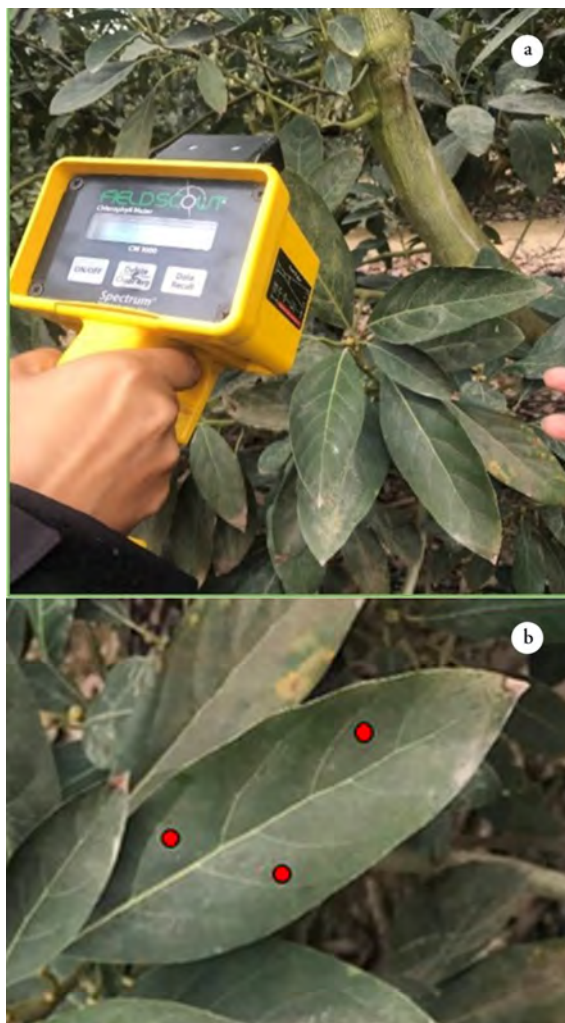


Figura 1. Medición del índice de clorofila activa en hojas de palto (*Persea americana*), con diferentes tamaños poblacionales del acaro marrón del palto (*Oligonychus punicae*). a) Clorofilómetro y b) puntos de toma de datos de la hoja.

Para determinar el rendimiento se registró la cantidad de frutos y el peso de frutos en kilogramos por árbol y, con este dato, se estimó, de manera directa, las toneladas por hectárea.

El diseño que se utilizó fue un diseño completamente al azar, cada tratamiento fue distribuido aleatoriamente dentro de la parcela, de 1,7 ha y en cada uno de ellos, se marcaron 20 árboles, evitando tomar plantas de los bordes. Los datos fueron analizados utilizando el software de SPSS versión 26, para análisis estadísticos. Se realizaron las pruebas de normalidad, ANOVA y prueba de

comparación entre tratamientos de Duncan. Asimismo, se adelantó un análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primera evaluación del índice de clorofila en hojas de palto.

Los valores del índice de clorofila de la primera evaluación para los tres tratamientos estuvieron en el rango de 352,4 a 551,6. El tratamiento 2, con grado 3 de nivel poblacional, presentó un promedio mayor del índice de clorofila con 448,53, seguido por

el tratamiento 1, con grado 2 de nivel poblacional, con un índice de 445,75 y el tratamiento con grado mayor a 3, con un índice de clorofila de 409,91.

Todos los tratamientos con diferentes niveles poblacionales de *O. punicae* cumplieron los supuestos de normalidad y de homogeneidad, por lo que se realizó el análisis de varianza, para establecer si existía diferencia de algún tratamiento (diferentes niveles poblacionales), sobre el índice inicial de clorofila; siendo el valor de p menor a 0,05, indicando que, por lo menos, uno de los tratamientos tiene un efecto diferente sobre el promedio del índice de clorofila en hojas de palto, al inicio del estudio.

La prueba de Duncan agrupó a los tratamientos en 2 y muestra que, tanto el tratamiento con nivel poblacional con grado 2 (T1) como el tratamiento con nivel poblacional grado 3 (T2), fueron los que tuvieron un índice mayor de clorofila en las hojas de palto, en la primera evaluación, con respecto al tratamiento con nivel poblacional con grado mayor a 3 (T3), el cual, tiene un menor índice de clorofila.

Segunda evaluación del índice de clorofila en hojas de palto. Los índices de clorofila obtenidos en cada tratamiento en la evaluación realizada a los 90 días, estuvieron en el rango de 254,9 a 414,1. El tratamiento 1, con grado 2 de nivel poblacional, presentó un promedio mayor del índice de clorofila en hojas de palto, con 333,27, seguido del tratamiento con un nivel poblacional con grado 3, con un índice de clorofila de 328,07 y, finalmente, el tratamiento con nivel poblacional grado mayor a 3, presentó un índice de clorofila de 305,88. El ANOVA mostró diferencias significativas; la prueba de Duncan separó los tratamientos en 2 grupos, donde se observó que el tratamiento con nivel poblacional con grado 2 (T1) fue el que presentó un mayor índice promedio de clorofila en hojas de palto, a los 90 días, en comparación con el tratamiento con grado mayor a 3 (T3), que presentó un menor índice promedio de clorofila.

Tercera evaluación del índice de clorofila en hojas de palto. Los índices de clorofila para cada tratamiento obtenidos en la tercera evaluación estuvieron en el rango de 272,6 a 590,4. El tratamiento con nivel poblacional de grado mayor a 3 presentó un promedio mayor del índice de clorofila en hojas de palto, con 419,8, seguidos por el tratamiento con nivel poblacional con grado 2, con 414,6 y el tratamiento con nivel poblacional grado 3, con 412,9. En el análisis de varianza se observó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el índice de clorofila, a los 180 días. Esto se confirmó con la prueba de medias de Duncan.

Cuarta evaluación del índice de clorofila en hojas de palto. Los índices de clorofila obtenidos en la cuarta evaluación para cada tratamiento estuvieron en el rango de 288,3 a 638. El tratamiento con nivel poblacional con grado 2 (T1) presentó un promedio mayor a los 270 días (493,75), seguido por el tratamiento con nivel poblacional con grado 3 (T2), con un índice de clorofila de 454,62 y, finalmente, el tratamiento con nivel poblacional con grado mayor a 3 (T3), que mostró un índice de clorofila de 445,98. El análisis de

varianza muestra que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos a los 270 días. El hecho se confirmó con la prueba de comparación de medias de Duncan.

Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de cada uno de los tratamientos. El rendimiento en las unidades experimentales varió entre 1,16 y 27,43 $t\ ha^{-1}$. El tratamiento con nivel poblacional con grado 3 (T2) obtuvo un rendimiento mayor con 12,14 $t\ ha^{-1}$ con respecto a los tratamientos con nivel poblacional grado 2 (T1): 7,66 y nivel poblacional grado mayor a 3 (T3): 7,66. No todos los tratamientos tuvieron una distribución normal, por lo que no se aplicó el análisis de varianza sino la prueba de muestras independientes de Kruskal – Wallis, que arrojó diferencias significativas. En la comparación de medias se observó que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con grado poblacional 2 (T1) y mayor a 3 (T3); sin embargo, hubo diferencias significativas de ambos con respecto al tratamiento con nivel poblacional 3 (T2). El tratamiento con nivel poblacional 3 (T2) mostró un mayor rendimiento.

El coeficiente de correlación entre el rendimiento en $t\ ha^{-1}$ y los diferentes niveles poblacionales de *O. punicae* es cercano a cero (-0,281), lo que indica que no hay correlación entre estas dos variables, es decir, que no hay un impacto significativo de las poblaciones de ácaros en el rendimiento. Las líneas de regresión de los diferentes tratamientos se observan en la figura 2.

La figura 2, que muestra la relación entre el rendimiento obtenido en los tratamientos con diferentes niveles poblacionales de *O. punicae* al día 270, indica, de manera general, que no existe correlación de ninguno de los tratamientos con el rendimiento.

Ni la defoliación ni la caída de fruta se manifestaron durante el experimento, lo cual, se pudo deber a que los niveles poblacionales no alcanzaron 500 ácaros por hoja que, según Bender (1993), es el tamaño poblacional que causa estos problemas; el número máximo que se contabilizó fue de 67 ácaros por hoja. Si la evaluación arrojará mucho más de 50 ácaros por hoja, la población podría llegar a 500 ácaros en un corto plazo, pero la escala del presente estudio trató de mantener intervalos constantes en los grados establecidos y, por ello, no se consideró este nivel poblacional.

No se presentaron periodos muy prolongados de la infestación, inclusive, con grados superiores de la misma, que hubiesen podido determinar la disminución en el rendimiento, como lo afirma Mesa (1999), pues en este estudio no se disminuyó significativamente el rendimiento, ni tampoco el contenido de clorofila.

Los umbrales de acción para *O. punicae* no son los grados que se han presentado en este trabajo de investigación, pues, hasta el grado 5, que corresponde a 50 ácaros a más (67 ácaros por hoja encontrados), no existió afectación sustancial del contenido de clorofila, ni tampoco del rendimiento, por lo que se tendría que reconsiderar el establecimiento de dichos umbrales de acción, incluyendo grados superiores a los presentes, que sí muestren afectación en estos dos parámetros. Maoz *et al.* (2010) indican que un umbral de acción conservador para *O. punicae* es de 50 – 100

ácaros / hoja, por lo que es necesario estudiar más en detalle este intervalo poblacional, para confirmar, a nivel de las condiciones locales, si se trata de una infestación referente en cuanto a umbral de acción; sin embargo, el presente estudio confirmó que, incluso,

el grado 5 (mayor de 50 ácaros/ hoja), no afecta significativamente el rendimiento, por lo que tampoco se puede considerar como una población que indique el nivel de daño económico.

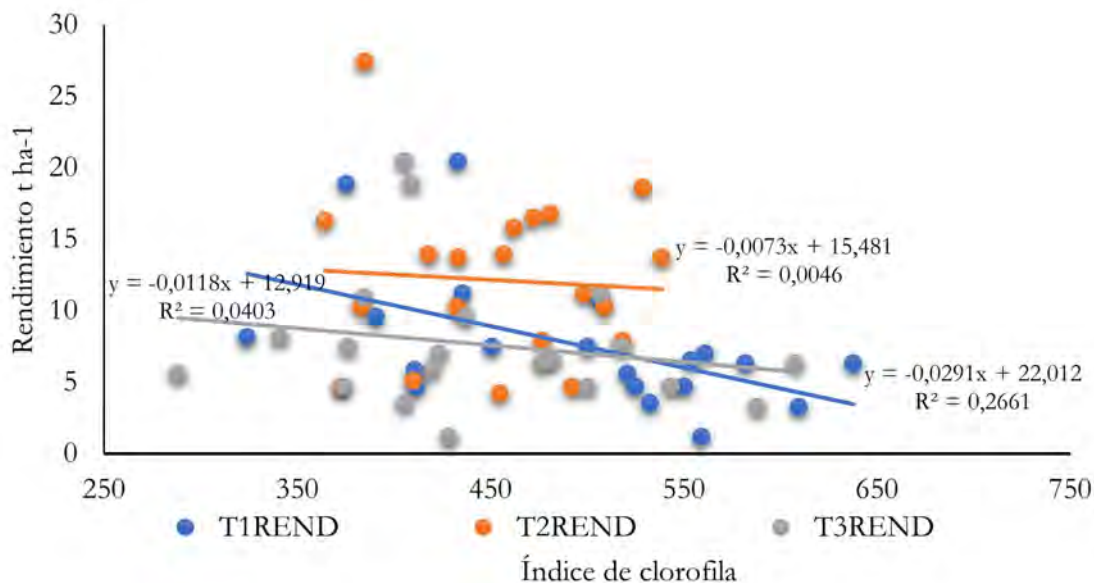


Figura 2. Correlación entre el rendimiento obtenido en cada tratamiento, con diferentes niveles poblacionales de *Oligonychus punicae* Hirst y el índice de clorofila en la cuarta evaluación (día 270).

Todo esto considerando que, Karmakar (2008) recomienda los estudios de correlación entre variables, como población de ácaros y tasa fotosintéticas y rendimientos, para establecer los umbrales de acción adecuados. Las plantas de palto del presente trabajo estuvieron sometidas a rigurosos y permanentes esquemas de nutrición, que bien pueden explicar que las disminuciones, a nivel de rendimiento, no se hayan expresado.

A pesar de que no se evidenció relación entre el nivel poblacional de ácaros y la afectación del rendimiento, el bronceado de hojas de palto es un fenómeno que se manifestó, incluso, a partir de los grados más bajos, pero que no tuvo relación con el nivel de clorofila. Al respecto, Ripa & Larral (2008) manifiestan que este fenómeno se expresa con poblaciones altas de ácaros, pero por lo observado en el presente trabajo, se indica que no existe dicha relación con los niveles poblacionales evaluadas.

Se hace necesario evaluar el índice de clorofila y rendimientos de palto con niveles poblacionales más altos de *O. punicae*, para verificar la probable afectación de dicha plaga en estas características y poder establecer umbrales de acción más adecuados, para la zona y el cultivo.

Se concluye, que los diferentes grados de infestación estudiados de *O. punicae* no influyen en los índices de clorofila en las hojas de palto. La diferencia significativa existente entre el contenido de clorofila, debido al nivel poblacional; al día 90 de evaluación, no resulta ser un dato referente con respecto al objetivo general del cultivo de palto, pues el rendimiento no es afectado al final de la campaña. A su vez, no existe una correlación entre los grados

de infestación evaluados con el rendimiento de palto, medido en toneladas por hectárea.

Financiación: Este estudio fue financiado con recursos propios de los autores y recibió todo el apoyo de la Universidad Privada Antenor Orrego. **Conflictos de intereses:** El artículo fue preparado y revisado con la participación de los dos autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Contribución autores:** Gabriela Deza realizó el análisis formal de los datos para la escritura del borrador del manuscrito. Gabriela Deza y Jorge Pinna contribuyeron con la investigación en campo y manejo de recursos. Gabriela Deza lideró la contextualización y metodología del manuscrito. Los dos autores participaron en la redacción, revisión, edición del manuscrito y aprueban la versión final.

REFERENCIAS

1. APONTE, O.; MCMURTRY, J.A. 1997. Damage on 'Hass' avocado leaves, webbing and nesting behaviour of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental & applied acarology*. 21(5):265-272. <https://doi.org/10.1023/A:1018451022553>
2. AYALA SILVA, T.; LEDESMA, N. 2014. The avocado tree. En: Nandwani, D. (ed.). *Sustainable horticultural systems: Issues, technology and innovation*. Springer. p.157-205. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06904-3_8

3. BENDER, G.S. 1993. A new mite problem in avocados. California Avocado Society Yearbook. 77:73-77.
4. CASIERRA-POSADA, F.; AGUILAR-AVENDAÑO, O.E. 2008. Respuestas fisiológicas y morfológicas de plantas de mora (*Rubus* sp.) sometidas a estrés por viento inducido. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 2(1):43-53. <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i1.1172>
5. CENTRO DE INVESTIGACIONES DE ECONOMÍA Y NEGOCIOS GLOBALES, CIEN. 2023. Nota semanal de Inteligencia comercial. Evolución del mercado mundial y nacional de palta. Julio. Disponible desde Internet en: https://www.cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2023/07/CIEN_NSIM1_Julio_2023_Palta_1.pdf
6. CERNA, E.; BADII, M.H.; OCHOA, Y.; AGUIRRE U., L.A.; LANDEROS, J. 2009. Tabla de vida de *Oligonychus punicae* Hirst (Acari: Tetranychidae) en hojas de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad hass, fuerte y criollo. Universidad y ciencia. 25(2):133-140.
7. FLECHTMAN, C.H.W.; MORAES, R.C.B. 2017. Tetranychidae Database. Disponible desde Internet en: <http://www.lea.esalq.usp.br/tetranychidae/>
8. GONZALES, S.C.E. 2018. Cultivo del aguacate (*Persea americana* Miller). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Gobierno de El Salvador. 7-24. Disponible desde Internet en: <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-aguacate/>
9. KARMAKAR, K. 2008. *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) - A yield reducing mite of rice crops in West Bengal, India. International Journal of Acarology. 34(1):95-99. <http://dx.doi.org/10.1080/01647950808683710>
10. LUENGO, K.; RAMÍREZ, A. 2023. Latinoamérica lidera crecimiento mundial. Visión frutícola. Secciones; Tendencias. Industria de paltas al alza.
11. MAOZ, Y.; GAL, S.; ZILBERSTEIN, M.; IZHAR, Y.; ALCHANATIS, V.; COLL, M.; PALEVSKY, E. 2010. Determining an economic injury level for the persea mite, *Oligonychus perseae*, a new pest of avocado in Israel. Entomologia Experimentalis et Applicata. 138(2):110-116. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1570-7458.2010.01080.x>
12. MESA, N.C. 1999. Ácaros de importancia agrícola en Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 52(1):321-363.
13. PALEVSKY, E.; OPPENHEIM, D.; REUVENY, H.; GERSON, U. 1996. Impact of European red mite on Golden Delicious and Oregon Spur apples in Israel. Experimental & applied acarology. 20(6):343-354. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00052963>
14. READ, J.J.; WHALEY, E.L.; TARPLEY, L.; REDDY, K.R. 2004. Evaluation of a hand-held radiometer for field determination of nitrogen status in cotton. En: VanToai, T.; Major, D.; McDonald, M.; Schepers, J.; Tarpley, L. Digital imaging and spectral techniques: applications to precision agriculture and crop physiology. p.177-195. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub66.c14>
15. REDDALL, A.; SADRAS, V.O.; WILSON, L.J.; GREGG, P.C. 2004. Physiological responses of cotton to two-spotted spider mite damage. Crop Science. 44(3):835-846. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.8350>
16. RIPA, R.; LARRAL, P. 2008. Manejo de plagas en paltos y cítricos. Colección Libros INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias, N° 23, Chile. Disponible desde Internet en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/3509>
17. SANCES, F.V.; TOSCANO, N.C.; HOFFMANN, M.P.; LAPRE, L.F.; JOHNSON, M.W.; BAILEY, J.B. 1982a. Physiological responses of avocado leaves to avocado brown mite feeding injury. Environmental Entomology. 11(2):516-518. <http://dx.doi.org/10.1093/ee/11.2.516>
18. SANCES, F.V.; TOSCANO, N.C.; OATMAN, E.R.; LAPRÉ, L.F.; JOHNSON, M.W.; VOTH, V. 1982b. Reductions in plant processes by *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) feeding on strawberry. Environmental Entomology. 11(3):733-737. <https://doi.org/10.1093/ee/11.3.733>
19. VÁSQUEZ, C.; APONTE, O.; MORALES, J.; SANABRIA, M.E.; GARCÍA, G. 2008. Biological studies of *Oligonychus punicae* (Acari: Tetranychidae) on grapevine cultivars. Experimental and Applied Acarology. 45(1):59-69. <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-008-9154-x>
20. WHILEY, A.W.; SCHAFFER, B.; WOLSTENHOLME, B.N. 2007. El Palto: Botánica, producción y usos. CABI Publishing. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile.

Estimating carcass yield of lambs fed with silage of *Cenchrus purpureus* in a mix with *Tithonia diversifolia*

Rendimiento en canal de ovinos alimentados con ensilaje de *Cenchrus purpureus* en mezcla con *Tithonia diversifolia*

María Alexandra Huertas-González^{1*} ; Jairo Mora-Delgado² ; Vilma Amparo Holguín-Castaño³ 

¹Universidad del Tolima, Grupo de investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios, Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: mariahuertasg@ut.edu.co

²Universidad del Tolima, Departamento de Producción Pecuaria. Ibagué - Tolima, Colombia; e-mail: jrmora@ut.edu.co

³Q.E.P.D

*corresponding author: mariahuertasg@ut.edu.co

How to cite: Huertas-González, M.A.; Mora-Delgado, J.; Holguín-Castaño, V.A. 2023. Estimating carcass yield of lambs fed with silage of *Cenchrus purpureus* in a mix with *Tithonia diversifolia*. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2423. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2423>

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

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

Received: March 3, 2022

Accepted: June 23, 2023

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Small ruminant production is currently booming due to its ease of management and contribution to strengthening the food security of rural communities. In this experiment, it was evaluated the effect of feeding with *Cenchrus purpureus* silages in a mixture with *Tithonia diversifolia* on the carcass yield and bromatological quality of lambs, with an average weight of 23 kg, fed with silages (treatments): T1 *C. purpureus* in 100 % and T2 *C. purpureus*/*T. diversifolia* in proportion of 67/33 %, respectively. The silages were supplied for 61 days, with an energy supplement of rice flour (277 g/animal), mineralized salt, and water *ad libitum*. Carcass yield and food consumption were evaluated. The data was analyzed in a totally randomized design with five repetitions; an ANOVA was made and for the comparison of means, the Fisher LSD test was used. The average daily consumption of dry matter was better for T2 showing statistical differences ($p < 0.0001$), the characteristics of the carcass in this treatment were also better; significant differences were found in the nutritional value of the meat, showing better values in T2, for protein, humidity and for the colorimetric variables, because T1, exhibited darker meat, coinciding with the highest pH values (6.15). It is concluded that the *C. purpureus* silage diet in mixture with *T. diversifolia*, contributes to the improvement of the quality of the carcass.

Keywords: Animal production; Bromatology; Camuro; Small ruminants; Quality carcass.

RESUMEN

La producción de pequeños rumiantes es conocido por su facilidad de manejo y contribución al fortalecimiento de la seguridad alimentaria de comunidades rurales; sin embargo, debido a la baja calidad nutricional de las pasturas del trópico seco, esta industria experimenta problemáticas relacionadas con el producto final, lo que repercute en la productividad y el rendimiento. En este experimento, se evaluó el efecto de la alimentación con ensilajes de *Cenchrus purpureus*, en mezcla con *Tithonia diversifolia*, en el rendimiento en canal y calidad bromatológica de la carne de corderos, con peso promedio de 23 kg, alimentados con ensilajes (tratamientos): T1 *C. purpureus*, en 100 % y T2 *C. purpureus*/*T. diversifolia*, en proporción de 67/33 %, respectivamente. Los ensilajes, se suministraron durante 61 días, con un complemento energético de harina de arroz (277 g/animal), sal mineralizada y agua a voluntad. Se evaluó rendimiento en canal y consumo de alimento. Los datos, se analizaron en un diseño totalmente al azar, con cinco repeticiones; se hizo un ANDEVA y para la comparación de medias, se empleó la prueba de LSD Fisher. Se evaluó el consumo promedio diario de MS, los valores para rendimiento en canal y las características de la canal, además del valor nutricional de la carne. Se concluye que la dieta de ensilaje *C. purpureus* en mezcla con *T. diversifolia*, contribuye al mejoramiento de la calidad de la canal.

Palabras clave: Bromatología; Calidad canal; Camuro; Pequeños rumiantes; Producción animal.

INTRODUCTION

The introduction of small ruminants in livestock production has been increasing in various areas of Colombia, because these animals, especially those of the pelibuey breed, because their rusticity has an advantage of superior adaptation to other breeds (Aguilar-Martínez *et al.* 2017), to live in dry and tropical climates, besides being an important source of food resources for rural communities, being for this reason necessary to specify that the quality of the sheep meat is also valued by factors such as tenderness, taste, the juiciness, the degree of fatness and general appearance (Campo *et al.* 2008). Also, the chemical composition of the meat has special relevance in the quality of the food product, being an important component in the human diet; therefore, it is important to study and know the quality characteristics of the meat of this species, and in this way to argue its zootecnical potential and thus plan its management and nutrition with interesting food sources from the productive point of view, which when implemented, they can be potential to contribute positively in a production.

It is necessary to note that methane emissions at the enteric level in livestock production systems in tropical regions can be important because the production of forage in dry tropical conditions is affected by climatic seasonality due to the scarcity of food and therefore the availability of nutrients for animal production decreases considerably (Ulukan, 2011), as low levels of digestible protein and high fiber content. Phenomena that encourage the search for food alternatives within the farm's resources, integrating different tree and shrub species with high nutritional potential, to reduce food costs and improve animal response and zootecnical indexes, such as the production of meat and/or milk.

Therefore, the incorporation of vegetable woody protein species such as *T. diversifolia* has become an animal feeding strategy. Mahecha & Rosales (2005) reported high contents of total nitrogen, a high proportion of nitrogen of an amino acid nature, a high content of phosphorus, a rapid degradability and ruminal fermentation, a low proportion of Nitrogen linked to insoluble dietary fiber, as well as a low fiber content and secondary metabolism compounds; there is also evidence that this plant can accumulate between 15-33 % of crude protein (CP) of nitrogen in its leaves, as some legumes, has high levels of phosphorus, large root volume, ability to extract nutrients from the soil, a wide range of adaptation, tolerance to acid and infertile soils, is very rustic and can withstand pruning at ground level and burning (CIPAV, 2004). In addition to the above, this species has a rapid growth and low demand for inputs for planting (Ríos, 2002). Vargas Velázquez *et al.* (2022) reported important consumptions of diets supplied to sheep, which were mixed with *T. diversifolia* in pre-blossoming when this species has higher protein contents, which also demonstrates the palatability of the same and the possibility of using this species in the feeding of small ruminants.

Additionally, it has been demonstrated that *T. diversifolia*, thanks to its composition of secondary metabolites, is a forage specie with the potential to reduce methane production and the population

of ruminal protozoa (Galindo *et al.* 2014). The inclusion of a non-legume species such as *T. diversifolia*, an improvement in the quality of the traditional diet based on grasses is observed, since this species has been characterized as potential in the supply of protein, in addition to having a high degradability at the ruminal level, in addition to its low fiber content. This makes it possible to ensure that the inclusion of *T. diversifolia* contributes to the sustainability of the productive systems by decreasing methane emissions.

For these reasons, the objective of this work was to determine the carcass yield of sheep pelibuey breeds fed with silages of *Cenchrus purpureus* mixed with *Tithonia diversifolia*.

MATERIALS AND METHODS

Location. The study was conducted at the Mario González Aranda experimental farm of the Universidad Nacional de Colombia, located in Palmira, Valle del Cauca; with an average annual precipitation of 1,000 mm, an average temperature of 24 °C and an altitude above sea level of 1,000 m located between 3°30'29" N and 76°18'45" W (Holguín *et al.* 2018), zone classified as tropical dry forest (Holdridge, 1987). The experiment took place in a corral with an area of 3.70 x 8.30 meters, divided into two areas, allocating approximately 4 meters for each treatment, the corrals were built on plastic floor and wood, each of which had built-in feeders with corrugated PVC split in half and devices for the administration of salt and water.

Animals and treatments: Ten experimental animals were used, whole male sheep, known as camuro or furry sheep, with an average weight of 22.6 ± 2.2 kg. The experiment was developed for eight weeks, with a previous acclimatization period of fifteen days for the animals.

The weighing of the animals was done at the beginning, at 30 days and at the end of the experiment, the weight data were taken at 7:00 am. The first weighing was performed after 5 days of habituation to the silage diet and 10 days to the different treatments, as shown in table 1.

A Crane Scale electronic scale was used to measure weights. To determine the weight gain, the final weight difference minus the initial weight was estimated and divided by the number of days of the experimental period. The animals were randomly distributed in two treatments: T1: *Cenchrus purpureus* silage and rice flour supplement as energy base. T2: *Cenchrus purpureus* silage (67 %) in a mixture with *Tithonia diversifolia* (33 %) and rice flour supplement as an energy base. The food was administered twice daily (7 and 16 hours) in feeders installed inside each of the corrals; the consumption of food was estimated in each supply, in each of which, before the administration of the diet, the surplus of the feeders was weighed. The supply of dry matter (DM) was adjusted according to the stage of growth of the animals, estimating an average DM consumption of 3.5 % based on the Basic manual of nutrition and feeding of sheep by Castellaro *et al.* (2015). The rice flour was supplied as an energy source in equal proportion for both

treatments (277 g/animal). The composition of this source was 91 % DM; 11.3 % of PC; 27.4 % of (NDF) and 14.3 % of (ADF). Water and salt were supplied *ad libitum*.

Silage elaboration: The forage of *C. purpureus* and *T. diversifolia* was harvested at 60 and 90 days correspondingly, in addition, they were pre-dried to lower the moisture content. Then, the particle was reduced to 2 cm. In a mill with three blades, 7.5 HP, 1400 rpm, and 4.5 Amperes Gaitán's brand. Once the forage was chopped separately, the LAB T735 inoculum was mixed and sprayed in layers at a concentration of 30 x 10⁷ cfu/ml. Thus, 3.3 Ton of *C.*

purpureus and 3.1 t of the mixture *T. diversifolia* / *C. purpureus* (TD/CP) were prepared with a proportion of 33 and 67 % respectively, as this is the most adequate nutritionally and environmentally as demonstrated by Holguín *et al.* (2018). The filling and compaction of the bags of the silages were done with a compactor machine INVENTO brand with a yield of 0.4 Ton/hour. A double bag of 7-gauge black polyethylene was used, which were stored on wooden pallets for 90 days. The silages were inoculated with *Lactobacillus paracasei* (T735). The bacterial strains used as silage additives were produced in the Clinical Laboratory of the Universidad del Tolima.

Table 1. Weight of the furry sheep before the experimental period for the evaluation of diets of *Cenchrus purpureus* only (T1) and in a mixture with *Tithonia diversifolia* (T2).

Treatment	Weight on arrival	Final Wright acclimatization	Start weight of the experiment
T1	23.0 ± 2.03 a	23.0 ± 2.0 a	23.3 ± 1.4 a
T2	22.0 ± 2.40a	23.0 ± 2.4 a	23.6 ± 1.9 a
Total	22.6 ± 2.2 a	23.0 ± 2.0 a	23.5 ± 1.5 a

Values with the same letter have no significant statistical difference (p > 0.05). Mean ± standard deviation.

Table 2 shows the bromatological composition of the silage which was carried out in the Animal Ecophysiology laboratory of the Universidad del Tolima and in the forage laboratory of CIAT, where neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) was determined, according to the method described by Van Soest

& Wine (1967), crude protein (CP) according to the method of Kjeldahl (Nielsen, 1994) and dry matter (DM) and ash employing the fixed mineral residue method described by the AOAC (1990) in a stove (Presitiontm) at 63 °C for 72 h. Digestibility of *in vitro* dry matter (DIVDM) was determined by AOAC procedures 984.13.

Table 2. Bromatological analysis of diets supplied to experimental furry sheep animals within the trial.

Variable	Units	T1 <i>Cenchrus purpureus</i> (100 %)	T2 <i>Cenchrus purpureus</i> / <i>Tithonia diversifolia</i> (67 % / 33 %)
DM	%	15.2 ± 0.31 a	17.79 ± 0.55 b
CP	%	6.52 ± 0.48 a	7.45 ± 0.2 a
NDF	%	69.5 ± 0.19 b	56.41 ± 0.07 a
ADF	%	51.02 ± 0.00 a	49.92 ± 0.18 a
Ash	%	16.4 ± 0.91 b	13.79 ± 0.38 a

DM: dry matter; CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber. Values with different letters have significant statistical differences (p < 0.05). Mean ± standard deviation.

The benefit of the animals and carcass yield. This activity was carried out in the slaughter plant of the Mario González Aranda experimental farm of the Universidad Nacional de Colombia, located in Palmira, Valle del Cauca. The weight of the animals was registered after an 8-hour fast, necessary for the benefit, which was developed in an artisanal way, through desensitization with the separation of the occipito-alantoid joint, subsequently, the animals were slaughtered, bled, skinned, eviscerated, separated the head at the level of the occipito-atloid joint, the limbs were removed, which are cut at the level of the carpo-metacarpal and tarso-metatarsal joints, keeping the tail. Just after the slaughter, the weight of the hot carcass (HC) was recorded.

Bioethics concept was not required because the animals were not intervened with invasive practices; the animals were sacrificed at the recommended age, in the slaughterhouse of the Universidad Nacional de Colombia (Palmira), following the technical and animal welfare protocols.

The chest depth (CD) was determined: by measuring with a tape measure on the medial side of the inner side, from the inner edge of the spinal column at the level of the 5th or 6th dorsal vertebra to the external or lower edge of the sternal cartilage; Carcass length (CL): measured from the anterior edge of the ischiopubic symphysis to the cranial edge of the first rib at its midpoint; leg length (LL): measured from the anterior edge of the pubic symphysis to the

inner side of the tarsal-metatarsal joint; the perimeter of the leg (LP): with a tape measure is measured at the height of the line of the maximum perimeter of the leg. The cold carcass weight (CCW), after cooling the carcass, was recorded for 24 h at 4 °C.

Bromatology and meat quality: The chemical analyses of the meat were carried out in measured in cuts of the *Longissimus dorsi* muscle, taken after cooling the carcass for 24 hours at 4 °C. The Laboratory of extension services in chemical analysis LASEREX, attached to the Departamento de Química of the Facultad de Ciencias of the Universidad del Tolima, was responsible for developing the bromatological and quality analyzes of these samples.

Meat Color: The color characteristics of the samples, were measured in the Post-harvest Laboratory of the Universidad del Tolima, with the portable colorimeter CR-400 (Konika Minolta). For each sample refrigerated for 36 hours, measurements were made at 10 different points on the sample surface and then averaged. The data are presented as three-dimensional coordinates in the CIELab colorimetric system, such as L *, a *, and b *corresponding to the range of black, green, red, and yellow-blue, white, respectively (León *et al.* 2006).

Statistical Analysis: The data were analyzed through an ANOVA with a completely randomized design, with two treatments (T1: 100% *Cenchrus purpureus* silage and T2: *Cenchrus purpureus* silage mixed with *Tithonia diversifolia* at 33 and 67%, respectively). Five repetitions per treatment. The following statistical model was used:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Where: Y = response variable to be evaluated in treatment i, repetition j; T_i = effect of the treatment i; E_{ij} = experimental error.

For the comparison of means of the variable weight gain, the Tukey test was used, and the Fisher LDS test was used for the performance variables and characteristics of the carcass and meat. The level of pre-established significance was 5%. For the analysis of the data, the statistical package Infostat (version 2018) was used.

RESULTS AND DISCUSSION

Dry matter consumption. Total consumption in the experimental period was higher in T2, which means a daily average of DM consumed by animals fed *Cenchrus purpureus* (T1) grass silage of 323.0 ± 65.3 g and 410.2 ± 65.3 for those fed with *C. purpureus*/*T. diversifolia* silage (T2), with statistical differences among them ($P < 0.0001$) (Holguín *et al.* 2018). This corresponds to a real DM consumption for the T1 and T2 treatments of 3.6 and 3.5 %, respectively, of the live weight; it is likely that a higher concentration of NDF in the T1 diet has depressed the intake; thus, DM consumption was lower than the standards reported in different studies, as the Castellaro *et al.* (2015), who reported values of 4 %.

Weight Gain. Figure 1 shows the data of weight gain (WI), there are values of 3.86 ± 1.39 kg/animal for T2 and a weight loss for T1, this is consistent with the daily weight gain (DWG) in the four weeks evaluated, resulting in 63.3 ± 22.82 g per day in the diet that included *T. diversifolia* (Holguín *et al.* 2018). This response was superior to those reported with diets supplemented with other woody protein sources such as *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, and *Senna spectabilis* with values ranging between 12 and 53 g/animal/day (Medina & Sánchez, 2006), although inferior to those presented in studies supplemented with other protein sources, with gains between 85 and 116 g/animal/day (Clavero *et al.* 1995; Espinoza *et al.* 2001).

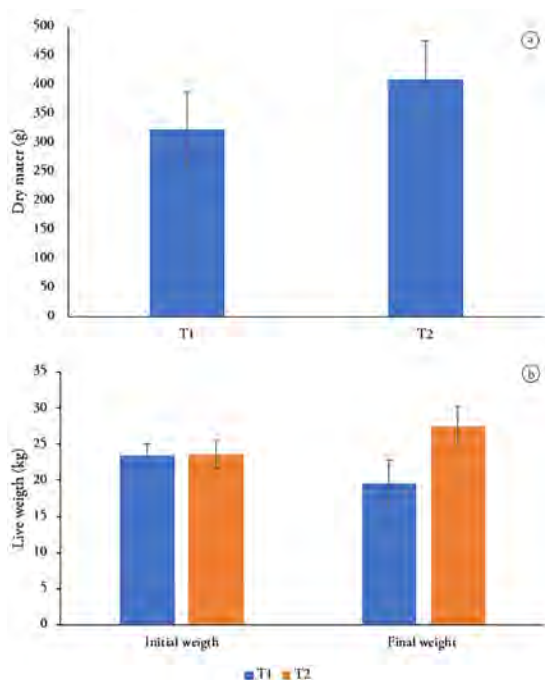


Figure 1. Food consumption and weight gain of fed lambs with silage *Cenchrus purpureus* (T1) and *Cenchrus purpureus* mixed with *Tithonia diversifolia* (T2) (Holguín *et al.* 2018). a) Dry matter consumption; b) weight gain.

The values of weight gain in the evaluated period, accumulated by treatment, denote an increase between the initial weight and the final weight of 3.52 ± 1.39 kg/animal for the T2 treatment and a weight loss for the T1 (Holguín *et al.* 2018). The same positive response to daily weight gain (DWG) was obtained in the 61 days evaluated for T2 (0.05 ± 0.02 g). These values were very similar to those reported by Medina & Sánchez (2006), with values between 0.044 and 0.051 kg/animal/day, with diets supplemented with *Leucaena* and multi-nutritional blocks, respectively.

Carcass yield and characteristics. In table 3 it is possible to see the quantitative values of the variables to determine the characteristics of the carcass, where statistical differences between treatments are observed for the weight of the hot carcass, weight of the cold carcass, length of the carcass, and perimeter of the leg; breast depth and carcass yield did not show statistical differences.

These data characterize the quality of the carcass, this concept is defined as the set of quantitative and qualitative characteristics,

Table 3. Characteristics of the furry sheep carcass fed with silages of *Cenchrus purpureus* mixed with *Tithonia diversifolia*.

Carcass characteristics	T1 <i>Cenchrus purpureus</i> (100 %)	T2 <i>Cenchrus purpureus</i> / <i>Tithonia diversifolia</i> (67 % / 33 %)
Weight of the hot carcass (HC) Kg	6.8 ± 0.44 a	9.4 ± 0.44 b
Weight of the cold carcass (CC) Kg	6.6 ± 0.41 a	9.35 ± 0.44 b
Canal length (CL) cm	60 ± 0.77 a	67.3 ± 0.96 b
Leg length (LL) cm	31 ± 1.28 a	31.4 ± 1.05 a
Perimeter of the leg (LP) cm	25 ± 0.74 a	29.8 ± 1.24 b
Chest depth (CD) cm	26 ± 0.76 a	27.6 ± 0.73 a
Carcass yield %	36 ± 3.6 a	36.7 ± 0.58 a

Values with different letters (a, b) have significant statistical differences ($p < 0.05$). Mean \pm standard deviation.

whose relative importance gives the carcass a maximum acceptance and a higher price compared to consumers or market demand. Thus, the morphological characteristics of the experimental animals, belonging to each group, show similarities to the values obtained by García Macías *et al.* (1998) as the variables of length of the carcass (52.64 ± 1.59 cm) and chest depth (24.54 ± 0.79 cm).

Concerning the variables of the weight of the hot carcass and weight of the cold carcass, the average values found in this study are close, although slightly lower than the results found by García Macías *et al.* (1998) 10.46 ± 0.71 and 10.46 ± 0.8 respectively; by Frías *et al.* (2011) 13.5 ± 0.47 and 12.94 ± 0.45 ; Campo *et al.* (2008) report higher values for the carcass yield 50.3 ± 0.57 , the foregoing is possibly explained because the experimental animals of this study did not reach higher weights during the project phase.

Bromatology and quality of meat. In table 4 it is possible to see the results of the chemical analysis of meat samples from the *Longissimus dorsi* muscle of the animals of the experimental groups of this study.

Campo *et al.* (2008) reported values of humidity percentage of 76.4 ± 0.43 %; which are like those found in this study for the group fed the silo of mixed *Tithonia diversifolia*, the values reported

in this study for the control group were slightly higher than those found by these researchers; there is statistical significance for this variable between the two experimental groups.

In this work, higher values were found for the percentage of ether extract for T1, however, slightly higher than those of T2, to those reported in Aragonese, Churra, and Spanish merino sheep 12 ± 2.62 %, 13.08 ± 3.40 %, and 12.68 ± 2.58 % respectively (Campo *et al.* 2008), statistical significance was found for this variable between the two study groups. It must be considered that the fat content of sheep meat is very variable, finding values ranging from 3 to 30 % (Varela Moreiras *et al.* 2009), a situation that depends on factors such as age, animal sex, feeding, and area of the carcass where the meat sample is taken.

Additionally, it is known that sheep meat has between 20-25 % protein, being a molecule of high biological value for human consumption, since almost 40 % of its amino acids are essential (Valero Gaspar *et al.* 2018), a condition that decreases with the age of the animal (Varela Moreiras *et al.* 2009). In this experiment, significant differences were found between the two groups studied, observing values like those found by García Macías *et al.* (1998) in the *Longissimus dorsi* muscle of castrated lambs.

Table 4. Bromatology of the meat of furry sheep fed with silages of *Cenchrus purpureus* mixed with *Tithonia diversifolia*.

Variable	T1 <i>Cenchrus purpureus</i> (100 %)	T2 <i>Cenchrus purpureus</i> / <i>Tithonia diversifolia</i> (67 % / 33 %)
Moisture %	81.76 ± 0.19 b	76.44 ± 0.19 a
Dry matter %	18.24 ± 0.19 a	23.56 ± 0.19 b
Ash %	4.44 ± 0.08 b	3.54 ± 0.08 a
Crude Protein %	14.98 ± 0.19 a	18.84 ± 0.19 b
Ether extract %	15.2 ± 0.39 b	6.1 ± 0.39 a
Crude Fibre %	1.58 ± 0.08 b	1.12 ± 0.08 a
Calcium %	0.33 ± 0.01 b	0.15 ± 0.01 a
Magnesium %	0.13 ± 0.00 b	0.11 ± 0.00 a
Sodium mg/Kg	754.78 ± 13.62 a	744.64 ± 13.62 a
Potassium %	0.76 ± 0.01 a	0.93 ± 0.01 b
Iron mg/Kg	284.24 ± 0.63 b	166.94 ± 0.63 a
Copper mg/Kg	4.42 ± 0.08 b	3.64 ± 0.08 a
Zinc mg/Kg	81.1 ± 0.31 b	62.1 ± 0.31 a
Phosphorus %	0.61 ± 0.00 b	0.43 ± 0.00 a
Sulfur %	0.03 ± 0.01 a	0.04 ± 0.01 a
Boron mg/Kg	<0.04	<0.04
Manganese mg/Kg	<0.3	<0.3

Values with different letters have significant statistical differences ($p < 0.05$). Mean ± standard deviation.

On the other hand, significant differences were found between the groups studied for ash percentage values, which are lower than those reported by Rahman *et al.* (2012) in goat meat, who also state that the age of the animal to which the slaughter is made has important effects on the physicochemical characteristics of the meat and in particular on the ash content. It is important to note that, when it comes to the nutritional quality of meat, it is not common to consider the mineral composition of meat, however, this is an aspect that is important in human nutrition and its need for nutrients.

The meat of sheep is an excellent natural source of iron and zinc of high bioavailability, being the indispensable iron for the formation of red globules and the zinc important for the good operation of the immunological system (Galán *et al.* 2013). Sheep meat also provides potassium and phosphorus. Being one of the meats with the lowest sodium content with 970 mg/1Kg (NRC, 2006).

Color of the meat. The meat is composed of fractions of fat and muscle, the concentration of myoglobin and its structure influence the amount of reflected light, which is translated into the color of the meat (Cañeque & Sañudo, 2005). The color of the meat changes in response both to the amount of myoglobin it contains and to the chemical changes in the myoglobin itself (Larraín *et al.* 2008), thus, the greater the amount of myoglobin in the meat, the darker the observed color. Older animals contain more muscle myoglobin and, therefore, have darker flesh than young animals. The muscular pH directly affects the color of the meat; at a high pH, the muscle has a closed structure and, therefore, it seems dark and the meat tends to be hard (Sebsibe, 2008).

The color of the raw meat is perceived as a visual characteristic, being one of the main factors that determine the productive value for the commercialization of this product, since the consumer relates the color with the sensory qualities of the meat; likewise, the color of the fat is an important aspect for the consumer, it is influenced by the chemical composition of the fatty acids that make up the subcutaneous and intramuscular fatty deposits (O'Sullivan *et al.* 2003), since the meat can also be discolored before reaching the point of sale if too much drying occurs, for its marketing it is preferred that the carcasses have at least some fat (subcutaneous fat) evenly distributed over the carcass since this aid to maintain the quality and attractive appearance by preventing the meat from drying out (Sebsibe, 2008).

L* = Lightness

a* = Red/green coordinates (+a indicates red, -a indicates green)

b* = Yellow/blue coordinates (+b indicates yellow, -b indicates blue)

ΔL^* = Difference between light and dark (+= brighter, -= darker)

Δa^* = Difference between red and green (+ = more red, -= more green)

Δb^* = Difference between yellow and blue (+ = more yellow, -= more blue)

ΔE^* = Total color difference

As with the chemical characteristics of the meat, factors such as the species, the age of the animal, the breed, sex, and type of feeding, determine intrinsically the pigment content of the meat of the animal, the pH, and color of the meat, affecting the final value of the same, also conditions before and after the benefit of the animal, such as stress, temperature, humidity, storage time and marketing conditions among others (Cañeque & Sañudo, 2005).

The meat from the experimental groups exhibits statistical significance for the colorimetry variable; it is observed that the control group T1, exhibits darker meat (Table 5), coinciding with the highest pH values observed in table 6; less red and more yellow, compared to T2. Regarding the color difference, statistical significances are also found between both groups, it is corroborated

that the T1 exhibits values of lower luminosity (Table 5), less red and more yellow. It is known that the chromatic coordinates a^* and b^* of the meat decrease during the storage period, translated into the dependence between these two colors coordinates, which shows that the loss of redness and the increase of the darkening of the product are the results of the formation of metamyoglobin, which finally causes the reduction of the value of b^* (Esmer *et al.* 2011; Rosenfold & Wiklund, 2011).

In table 6 the differences found related to the pH of the meat measured 36 hours after slaughter are shown. Bianchi *et al.* (2006) indicated the relationship of pH with the degree of stress that the animal suffers before and during slaughter. The results in this work show a pH of 5.49 for T2, which is within the optimum ranges

Table 5. Colorimetry of the meat of furry sheep fed with silages of *Cenchrus purpureus* mixed with *Tithonia diversifolia*.

Color of the meat	T1 <i>Cenchrus purpureus</i> (100 %)	T2 <i>Cenchrus purpureus</i> / <i>Tithonia diversifolia</i> (67 % / 33 %)
L	40.56 ± 0.77 b	35.04 ± 0.77 a
a	14.49 ± 0.17 a	15.3 ± 0.17 b
b	4.29 ± 0.12 b	3.49 ± 0.12 a
Delta L	-54.04 ± 0.77 b	-48.52 ± 0.77 a
Delta a +	14.98 ± 0.17 a	15.78 ± 0.17 b
Delta b +	1.71 ± 0.12 b	0.91 ± 0.12 a
Delta E	50.83 ± 0.75 a	56.32 ± 0.75 b

Values with different letters have significant statistical differences ($p < 0.05$). Mean ± standard deviation.

Table 6. pH measurement of furry sheep meat fed with silages of *Cenchrus purpureus* mixed with *Tithonia diversifolia*.

	T1 <i>Cenchrus purpureus</i> (100 %)	T2 <i>Cenchrus purpureus</i> / <i>Tithonia diversifolia</i> (67 % / 33 %)
pH	6.15 ± 0.1 a	5.49 ± 0.1 b

Values with different letter have significant statistical difference ($p < 0.05$). Mean ± standard deviation.

since it indicates adequate physicochemical characteristics, a good commercial life, and the presence of this pH value being an inhibitor of the growth of microorganisms. Values very similar to those found in this study for T2 were expressed by Rodrigues *et al.* (2008) in lambs Santa Ines breed fed in the final stage with citrus pulp, similarly, Zhang *et al.* (2005) reported similar pH data. Opposed to the evidence in T1, where pH values of 6.15 are observed, which are related to conditions of stress or physical exertion on the part of the animal, in this case, DFD meats are produced (dark, firm and hard) characterized by have a high capacity for water retention

and favoring bacterial proliferation, the technological properties of which are altered; this can be explained due to the stress to which the animals of the control group were subjected when fed a fibrous diet and nutritionally poorer.

According to the results obtained, it is concluded that sheep pelibuey breed are animals with very good meat production which have optimal carcass for commercialization. Additionally, the characteristics of meat quality and carcass yield are within the normal ranges for lean meat.

The supplementation of sheep with silages in a mixture with *Tithonia diversifolia* improves weight gain, which is reflected in the improvement of the characteristics of the carcass, increasing the zootechnical response of animal production. On the other hand, it was observed that in sheep-fed silage mixed with *Tithonia diversifolia*, the physicochemical characteristics of the meat are improved. It is suggested to carry out more studies that contribute to the understanding and analysis of alternative plant species for the nutrition of ruminants.

The shortage of food in regions of dry tropics due to the climatic seasonality, generates great preoccupation by the low supply of forage of good quality for the feeding of the livestock productions, more specifically of ruminants, bringing like consequence a diminution of the productive parameters.

In areas of dry tropics, during strong periods of drought, the inclusion of concentrated foods is considered a food alternative, however, most of the raw materials for its production are imported, which increases the final cost of the product. Therefore it is necessary to look for strategies to overcome the situation described above, so it is recommended to deepen the knowledge of the plant species *Tithonia diversifolia* as a sustainable alternative for its nutritional supplementation, because thanks to its agronomic and chemical characteristics, this species has shown that in addition to being accepted by different animal species, it contributes to the improvement and increase of the zootechnical response of ruminant animals.

Acknowledgments. To the Universidad Nacional de Colombia, Palmira, for providing the spaces for the development of this experiment; CIAT International Center for Tropical Agriculture for allowing the use of equipment and laboratory analysis and the Central Office for Research and Scientific Development of the University of Tolima for the financing of this study. **Conflict of interest:** The manuscript was prepared and reviewed with the participation of all the authors, who declare that there is no conflict of interest that jeopardizes the validity of the results presented. **Funding:** The manuscript is result of the research Project “Rendimiento en canal y producción de gas metano en ovinos de pelo alimentados con ensilajes de *Penisetum purpureum* en mezcla con *Tithonia diversifolia*”, funding by Oficina Central de Investigaciones of the Universidad del Tolima. **Authors contribution:** Project administration by Vilma A. Holguín (q.e.p.d.) and Jairo Mora-Delgado. Investigation and writing review by Maria Alexandra Huertas. Methodology by Vilma A. Holguín and Maria Alexandra Huertas. Conceptualization and supervision by Vilma A. Holguín. Formal analysis by Jairo Mora-Delgado.

REFERENCES







- AGUILAR-MARTÍNEZ, C.U.; BERRUECOS-VILLALOBOS, J.M.; ESPINOZA-GUTIÉRREZ, B.; SEGURA-CORREA, J.C.; VALENCIA-MÉNDEZ, J.; ROLDÁN-ROLDÁN, A. 2017. Origen, historia y situación actual de la oveja pelibuey en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 20(3):429-439.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. Washington, D.C.
- BIANCHI, G.; GARIBOTTO, G.; FEED, O.; BENTANCUR, O.; FRANCO, J. 2006. Efecto del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne de corderos Corriedale puros y cruza. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 38(2):161-165. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2006000200010>
- CAMPO, M.M.; OLLETA, J.L.; SAÑUDO, C. 2008. Características de la carne de cordero con especial atención al Ternasco de Aragón. *Agencia aragonesa de seguridad alimentaria*. 50p.
- CAÑEQUE, M.V.; SAÑUDO, A.C. 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. *INIA*. 448p.
- CASTELLARO, G.; ORELLANA, C.; ESCANILLA, J.P. 2015. *Manual básico de nutrición y alimentación de ganado ovino*. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 56p.
- CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS SOSTENIBLES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA - CIPAV. 2004. *Sistemas Agroforestales, banco de forraje de leñosas, árboles y arbustos*. In: *Sistemas silvopastoriles*. p.32-33.
- CLAVERO, T.; MULLER, A.; RAZZ, R. 1995. Comportamiento de ovinos suplementados con *Leucaena leucocephala*. *Revista Argentina de Producción Animal*. 15:413-414.
- ESMER, O.K.; IRKIN, R.; DEGIRMENCIOGLU, N.; DEGIRMENCIOGLU, A. 2011. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat. *Meat science*. 88(2):221-226. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.021>
- ESPINOZA, F.; ARAQUE, C.; LEÓN, L.; QUINTANA, H.; PERDOMO, E. 2001. Efecto del banco de proteína sobre la utilización del pasto estrella (*Cynodon lemfuensis*) en pastoreo con ovinos. *Zootecnia Tropical*. 19(3):307-318.
- FRÍAS, J.C.; ARANDA, E.M.; RAMOS, J.A.; VÁZQUEZ, C.; DÍAZ, P. 2011. Calidad y rendimiento en canal de corderos en pastoreo suplementados con caña de azúcar fermentada. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 15(3).
- GALÁN, M.G.; GONZÁLEZ, R.J.; DRAGO, S.R. 2013. Perfil nutricional y dializabilidad de minerales de alimentos de interés social. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 17(1):3-9. <https://doi.org/10.14306/renhyd.17.1.2>

13. GALINDO, J.; GONZÁLEZ, N.; MARRERO, Y.; SOSA, A.; RUIZ, T.; FEBLES, G.; TORRES, V.; ALDANA, A.; ACHANG, G.; MOREIRA, O.; SARDUY, L.; NODA, A. 2014. Efecto del follaje de plantas tropicales en el control de la producción de metano y la población de protozoos ruminales in vitro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 48(4):359-364.
14. HOLDRIDGE, L.R. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 216p.
15. HOLGUÍN, V.; 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>
16. LARRAÍN, R.E.; SCHAEFER, D.M.; REED, J.D. 2008. Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International*. 41(4):380-385. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.01.002>
17. LEÓN, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LEÓN, J. 2006. Color measurement in L* a* b* units from RGB digital images. *Food research international*. 39(10):1084-1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
18. GARCÍA MACÍAS, J.A.; NUÑEZ GONZÁLEZ, F.A.; RODRÍGUEZ ALMEIDA, F.A.; PRIETO, C.; MOLIN DOMÍNGUEZ, N.I. 1998. Calidad de la canal y de la carne de borregos Pelibuey castrados. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 36(3):225-232.
19. MAHECHA, L.; ROSALES, M. 2005. Valor nutricional del follaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*(Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. *Livestock Research for Rural Development*. 17(9):100.
20. MEDINA, R.; SÁNCHEZ, A. 2006. Efecto de la suplementación con follaje de *Leucaena leucocephala* sobre la ganancia de peso de ovinos desparasitados y no desparasitados contra strongílidos digestivos. *Zootecnia Tropical*. 24(1):55-68.
21. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. 2006. *Mineral Tolerance of Animals*. Segunda edición. The National Academies Press. 510p. <https://doi.org/10.17226/11309>
22. NIELSEN, S. 1994. *Introduction to the chemical analysis of foods*. ed. Jones and Bartlett Publishers. U.S.A. 530p.
23. O'SULLIVAN, M.G.; BYRNE, D.V.; MARTENS, H.; GIDSKEHAUG, L.H.; ANDERSEN, H.J.; MARTENS, M. 2003. Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis. *Meat science*. 65(2):909-918. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00298-X)
24. RAHMAN, A.; REHMAN, M.; GADAH, J.A.; SAMO, M.T. 2012. Studies on the evaluation of moisture and ash content in Kamori, Pateri and Tapri goat meat. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*. 6(1):62-68.
25. RÍOS, C.I. 2002. Usos, manejo y producción de Botón de Oro, *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. In: Ospina, S.; Murgueitio, E. (Eds.). *Tres especies vegetales promisorias: nacedero (*Trichanthera gigantea*) (H. & B) Nees.), botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray) y bore (*Alocasia macrorrhiza* (Linneo) Schott)*. CIPAV, Cali. Colombia. p.211-311.
26. RODRIGUES, G.H.; SUNSIN, I.; VAZ PIRES, A.; QUIRINO MENDES, C.; SHIBATA URANO, F.; CONTRERAS CASTILLO, C.J. 2008. Polpa citrica para cordeiros em confinamento: características de carcaca e qualidade da carne. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 37(10):25-27. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001000022>
27. ROSENVOLD, K.; WIKLUND, E. 2011. Retail colour display life of chilled lamb as affected by processing conditions and storage temperature. *Meat Science*. 88(3):354-360. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.006>
28. SEBSIBE, A. 2008. Sheep and goat meat characteristics and quality. In: Yami, A.; Merkel, R.C. *Sheep and Goat Production Handbook for Ethiopia*. Ethiopian Sheep and Goats Productivity Improvement Program (ESGPIP), Addis Ababa, Ethiopia. p.323-328.
29. ULUKAN, H. 2011. Responses of cultivated plants and some preventive measures against climate change. *International Journal of Agriculture & Biology*. 13:292-296.
30. VALERO GASPAS, T.; RODRÍGUEZ ALONSO, P.; RUIZ MORENO, E.; ÁVILA TORRES, J.M. VARELA MOREIRAS, G. 2018. La alimentación española. Características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Fundación española de la nutrición. (España). p.654.
31. VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal Association of Official Analytical Chemists*. 50(1):50-55. <https://doi.org/10.1093/jaoac/50.1.50>
32. VARGAS VELÁZQUEZ, V.T.; PÉREZ HERNÁNDEZ, P.; LÓPEZ ORTIZ, S.; CASTILLO GALLEGOS, E.; CRUZ LAZO, C.; JARILLO RODRÍGUEZ, J. 2022. Producción y calidad nutritiva de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Grey en tres épocas del año y su efecto en la preferencia por

- ovinos Pelibuey. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 13(1):5906. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5906>
33. VARELA MOREIRAS, G.; AVILA TORRES, J.M.; CUADRADO VIVES, C.: DEL POZO DE LA CALLE, S.; RUIZ MORENO, E.; MOREIRAS TUNY, O. 2009. Evaluación de patrones de consumo alimentario y factores relacionados en grupo de población emergentes: Inmigrantes. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Medio Rural y Marino. Madrid. p.102.
34. ZHANG, S.X.; FAROUK, M.M.; YOUNG, O.A.; WIELICZKO, K.J.; PODMORE, C. 2005. Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat Science*. 69(4):765-772. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.009>

Evaluación de la condición corporal en caballos deportivos en una academia ecuestre de Cundinamarca, Colombia

Evaluation of body condition in sport horses in an equestrian academy in Cundinamarca, Colombia

Juan C. Velásquez-Mosquera^{1*} ; Viviana Parra-Ruiz² ; Juanita Bayona-Vélez² ; Paula N. Cavanzo-Farfán² ; Daniel A. Bautista-Cepeda² ; Alexander Navas-Panadero¹ 

¹Universidad de la Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Bogotá, Colombia; e-mail: jcvelasquez@unisalle.edu.co, anavas@unisalle.edu.co

²Universidad de la Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Semillero SIMAT. Bogotá, Colombia; e-mail: vparra15@unisalle.edu.co, jbayona49@unisalle.edu.co, pcavanzo70@unisalle.edu.co, dbautista91@unisalle.edu.co

*autor de correspondencia: jcvelasquez@unisalle.edu.co

Cómo citar: Velásquez-Mosquera, J.C.; Parra-Ruiz, V.; Bayona-Vélez, J.; Cavanzo-Farfán, P.N.; Bautista-Cepeda, D.A.; Navas-Panadero, A. 2023. Evaluación de la condición corporal en caballos deportivos en una academia ecuestre de Cundinamarca, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2437. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2437>

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

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

Recibido: mayo 5 de 2023

Aceptado: octubre 25 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Existen varias metodologías para determinar la condición corporal del caballo deportivo, siendo unas más objetivas que otras; sin embargo, la escala de condición corporal es la más usada para estimar las reservas corporales de animales en actividad atlética. El objetivo del estudio fue estimar, por métodos no invasivos, el espesor de grasa subcutánea y desarrollo muscular de caballos deportivos, de una academia de Cundinamarca y calcular algunos índices que definen la composición corporal. Se escogieron 29 caballos adultos (9 hembras, 20 machos), de cuatro tipos raciales; caballo deporte colombiano, criollo, polo argentino, Pura sangre inglés. Para evaluar la grasa subcutánea se usó el puntaje de condición corporal (PCC) escala Henneke, el ultrasonido en tiempo real UTR, midiendo espesor de grasa dorsal y de cadera. La musculatura se determinó usando UTR a nivel dorsal, midiendo el ojo del lomo y el glúteo medio. Se tomaron pesos y medidas morfométricas: altura de cruz, longitud corporal, perímetro torácico. Con estas medidas corporales o ecográficas se calcularon índices de desempeño o composición corporal: índice corporal (IC), índice de carga al paso-1 y al trote-2 (IC1 y IC2), % de grasa corporal (%GC), Índice de masa corporal (IMC), relación perímetro torácico–altura cruz (PT:AC), índice muscular (IM) e índice musculoesquelético (IME). Los índices de carga y de composición corporal indicaron diferencias entre tipos raciales ($p < 0,05$). Entre índices de engrasamiento se presentaron

correlaciones altas con PCC (EGD 0,78 y IMC 0,99). Algunos índices (IC1, IC2) serían indicadores indirectos de la relación fin-bienestar en los animales.

Palabras clave: Adiposidad; Equino; *Equus caballus*; Escala Henneke; Ultrasonido.

ABSTRACT

There are several methodologies to determine the body condition of the sport horse, some being more objective than others, however the body condition score scale is the most used to estimate the body reserves of animals in athletic activity. The aim of the research was to estimate by non-invasive methods the thickness of subcutaneous fat and muscle development of horses from an equestrian school; and to calculate indexes that define the horse's body composition. 29 adult horses (9 females, 20 males) of four racial types were selected; Colombian sport horse, criollo, Argentine polo and English Thoroughbred. To assess subcutaneous fat, Henneke scale body condition score (BCS) was used, along with real-time ultrasound RTU measuring the back fat thickness (BFT) and croup fat thickness (CFT). Musculature was measured using UTR at the T17-T18 level, measuring the Ribeye area and the thickness of the *gluteus medius*. Additionally, weight (BW) and morphometric measurements were taken: wither height (WH), body-length

(BL), girth circumference (GC). From these body or ultrasound measurements some performance indexes were calculated and/or body composition: body index (BI), load index at step and trot (LIS and LIT), % body fat (%BF), Body mass index (BMI), girth circumference ratio-height (GC: WH, muscle index (MI) and musculoskeletal index (MEI). Load indexes and body composition indicated differences between racial types ($p < 0.05$). Between indexes that estimate fatness, there were significant correlations with BCS BFT 0,78 and BMI 0,99). Some indexes (LIS, LIT) would be indirect indicators of the aptitude-welfare relationship in animals.

Keywords: Adiposity; Equine; *Equus caballus*; Henneke scale; Ultrasound.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la actividad de equinos deportivos para fines de salto y adiestramiento está establecida desde hace más de medio siglo, siguiendo los lineamientos de la federación ecuestre internacional (Fedecuestre, 2018). En todas las etapas de manejo de esta actividad, la alimentación y el entrenamiento deben ser compatibles con el buen manejo y la condición física del caballo y no debe comprometer su bienestar (Fedecuestre, 2018).

Para evaluación la condición corporal, los propietarios de caballos, manejadores, entrenadores y médicos veterinarios, rutinariamente, usan el método de puntuación de condición corporal (PCC) escala de Henneke, que evalúa depósitos de grasa subcutánea, en seis puntos anatómicos del animal: el cuello, la cruz, la cincha, la costilla/lomo, la cadera y la base de la cola (Henneke *et al.* 1983; Kienzle & Schramme, 2004). Estudios de Carter *et al.* (2009) sugieren que existe pobre comprensión sobre el área de la condición corporal en caballos deportivos y esto se debe a las discrepancias entre razas, actividad atlética y régimen nutricional o los datos existentes son contradictorios y se extrapolan principalmente de investigaciones en diferentes disciplinas deportivas, que no se pueden generalizar para todos los equinos.

A pesar de que las escalas de puntuación de condición corporal en animales son métodos fáciles de implementar, requieren conocimientos anatómicos y experiencia por parte de los evaluadores, por lo que su apreciación puede ser subjetiva.

Múltiples factores pueden influir en la precisión de la determinación individual dentro la escala de puntuación en un animal, incluida, la conformación, la edad de gestación, el sesgo del evaluador, el llenado intestinal y el desarrollo muscular (Carter *et al.* 2009). Idealmente, los sistemas de puntuación PCC discriminan el tejido adiposo subcutáneo independientemente de la masa muscular, pero en la práctica, hasta para un evaluador experimentado, podría ser difícil diferenciar el tejido adiposo del muscular. En caballos con una masa muscular relativamente baja puede haber una subestimación de la masa grasa como en caballos seniles o de edad avanzada. Reportes de Pearson *et al.* (2018) indican que la escala Henneke podría presentar algunas dificultades para diferenciar caballos clasificados

con puntuaciones altas de sobrepeso y en puntuaciones marginales delgadas (3-4). Otro problema con el sistema de Henneke es que no todos los caballos siguen un patrón de adiposidad homogéneo (Henneke *et al.* 1983). Algunos caballos pueden depositar más grasa alrededor del dorso-lomo, pero no tendrán mucha cobertura grasa a nivel de la cadera. Por lo tanto, es posible que la PCC sea 6 en las costillas, pero solo un 5 en la cadera. Para este tipo de situaciones se sugiere el uso de la escala Henneke modificada, en la cual, se estima la escala en cada sitio anatómico y se promedian las puntuaciones de cada parte del cuerpo, para obtener la puntuación total de adiposidad del caballo (Muñoz *et al.* 2021).

Además de la escala de puntuación de la condición corporal existen métodos más objetivos para medir reservas corporales, como son los métodos morfométricos y ultrasonográficos (Carter *et al.* 2009; Morales-Briceño *et al.* 2018). Algunos estudios han demostrado la aplicabilidad clínica de medidas corporales para estimar la adiposidad en caballos (Carter *et al.* 2009; Dugdale *et al.* 2011), con ventajas de las estimaciones morfométricas sobre las puntuaciones de evaluación subjetiva, ya que para las mediciones corporales no se requieren evaluadores capacitados, solo se toman medidas con cintas o reglas métricas, como el perímetro torácico, longitud corporal y la altura del animal (Donaldson *et al.* 2004; Carter *et al.* 2009; Dugdale *et al.* 2011; Jensen *et al.* 2016).

Se han sugerido nuevos índices de estimación de adiposidad en caballos, que siguen métodos morfométricos objetivos, como el índice de masa corporal (IMC), que se calcula con el peso, la altura y el largo corporal del animal (Martin-Gimenez *et al.* 2017). Otro índice que se calcula a partir de medidas morfométricas es la relación perímetro de tórax- alzada (Jensen *et al.* 2016); sin embargo, al utilizar estas metodologías hay que tener en cuenta que las medidas morfométricas son relativas y pueden no reflejar el mismo grado de adiposidad, debido a diferencias en la morfología del tipo de raza, sexo y edad (Brooks *et al.* 2010; Catalano *et al.* 2016).

Otros métodos que se proponen para evaluar la adiposidad en caballos incluyen el uso de ultrasonido en tiempo real (UTR), que mide el espesor de la grasa en la grupa (Gentry *et al.* 2004) y con base en esta medida, se calcula un índice de porcentaje (%) de grasa corporal, utilizando ecuaciones matemáticas (Dugdale *et al.* 2011; Silva & Cadavez, 2012). Además de estimar la grasa corporal usando UTR, la evaluación muscular también es relevante en caballos deportivos, ya que, en este tipo de equinos, el rendimiento atlético depende de su potencia muscular (Payne *et al.* 2005); mediante esta técnica, se puede medir el área muscular, a nivel del lomo y el espesor del glúteo medio. Estas medidas son importantes, ya que los caballos deportivos tienen una mayor masa muscular, que va de 53-57 % en comparación con otros caballos, que es 42 % (Valberg *et al.* 2020). El desarrollo de grupos musculares específicos es reconocido en ciertos tipos de disciplinas deportivas equinas, como el salto y el adiestramiento (Payne *et al.* 2005). Algunos índices musculares usados en especies animales de producción se calculan a partir de medidas ultrasonográficas de músculos específicos, como el *longissimus dorsi*, como el índice muscular, que se calcula relacionando el área dorsal del lomo con el peso corporal

(Zimerman *et al.* 2022) o el índice musculoesquelético, que se utiliza en humanos y mide el área dorsal y la relaciona con la alzada (Aziz *et al.* 2022). Ambos índices se podrían adaptar a la especie equina, para conocer el patrón muscular de un animal.

Con relación a la importancia de evaluar el componente muscular del equino atleta, se relaciona con la pérdida de masa muscular esquelética, debido a la edad y manejo nutricional que compromete el rendimiento y el bienestar de caballos deportivos y, por lo tanto, se debería hacer un seguimiento rutinario de la composición corporal del caballo (Herbst *et al.* 2022). Una alta proporción de caballos ≥ 15 años se pueden ver afectados en su rendimiento por una disminución de la masa muscular (Morales-Briceño *et al.* 2018; Valberg *et al.* 2020).

A pesar de que se cuenta con conocimiento sobre la condición corporal en equinos, la aplicabilidad de estos métodos debería estar en relación con la conformación, el rendimiento, la salud y el bienestar del équido o caballo (Harker *et al.* 2011). Muchos índices morfológicos y algunos de composición corporal se utilizan en estudios interdisciplinarios de investigación de caballos de diversas razas, en varios países del mundo, mostrando sus aplicaciones: clasificación racial, conformación y bienestar (McManus *et al.* 2005; Gómez *et al.* 2012; Rezende *et al.* 2015; Kristjansson *et al.* 2016; Gunnarsson *et al.* 2017; Padilha *et al.* 2017; Bukhari *et al.* 2021).

Recientemente, se propone que los índices de desempeño se deberían calcular, junto con índices de composición corporal, ya que, por ejemplo, los índices de capacidad de carga del equino, que se calculan a partir del perímetro torácico y la alzada, deben tener en cuenta el desarrollo muscular y nivel de adiposidad del caballo. El índice de carga al paso indica el peso en kilogramos que el animal puede resistir sin tensión excesiva en el dorso; se considera que un peso soportado al paso adecuado no debe superar el 40 % de su peso corporal, incluyendo el jinete y la silla (McManus *et al.* 2005; Gunnarsson *et al.* 2017; Bukhari *et al.* 2021).

El otro índice de carga que se estima es el índice de carga al trote (Bukhari *et al.* 2021). Estudios en Japón, de Bukhari *et al.* (2021), sugieren que la carga máxima permitida para caballos deportivos al trote no debería superar el 33 % del peso corporal del caballo. Powell *et al.* (2008) y Gunnarsson *et al.* (2017) encontraron que un 30 % de peso del caballo sería el límite de carga tolerable para caballos de silla, sin que les cause dolor.

En la práctica no se conoce cuál debería ser la composición corporal óptima en caballos deportivos adultos; Jansson *et al.* (2021) reportan que el aumento del peso corporal y el contenido de grasa corporal en los caballos deportivos reduce la aptitud fisiológica, rendimiento y altera la simetría locomotriz. El uso de métodos objetivos no invasivos junto con índices de desempeño funcional mejora la comprensión de la condición corporal en caballos deportivos, permitiendo la clasificación precisa de su estado muscular y adiposo, para aptitudes deportivas específicas (Dugdale *et al.* 2011).

El uso de los métodos alternativos de estimación de la condición corporal en escuelas ecuestres en Colombia es escaso. Teniendo en

cuenta los antecedentes, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la condición corporal de un grupo de caballos deportivos, usando varias metodologías no invasivas y determinar su potencial aplicabilidad en una academia ecuestre de Cundinamarca, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los procedimientos de este estudio fueron aprobados por el Comité de Ética en Uso Animal (CICUAL) de la Universidad de la Salle Bogotá. Fueron seleccionados 29 caballos (*Equus caballus*) deportivos adultos, incluyendo castrados y yeguas, entre los 6 y 18 años de edad, de los tipos raciales criollo colombiano (CR), criollo deportivo colombiano (CDC), polo argentino (PA) y Pura Sangre Inglés (PSI); todos presentaron buen estado de salud y alojados en una academia ecuestre deportiva en Chía, Cundinamarca, con coordenadas geográficas N 4°51'7,48", O 74°1'32,22". Todos los caballos se encontraban en alguna actividad ecuestre (silla recreativa, adiestramiento y salto), se manejaron en estabulación, fueron alojados en establos individuales con camas con base de paja, con suministro de 2 raciones diarias de 2 kilos de concentrado comercial del 14 % de proteína, entre 7 y 8 kilos de heno de avena y agua a voluntad.

Se realizó un estudio transversal; los animales en actividad atlética fueron medidos en una jornada de un día, en una escuela ecuestre en Chía, cada animal fue trasladado del establo al brete por sus manejadores. Antes de ser medidos fueron evaluados usando la prueba de bienestar animal, que utiliza la escala facial de grado de tensión Grimace (0-2). Todos los caballos presentaron puntuaciones de 0 o 1, lo que indica la habituación a un manejo rutinario y que no les causó alteración de bienestar (Czycholl *et al.* 2018).

Peso y condición corporal. Los equinos fueron pesados en una báscula mecánica de barras trumax XTEEL-W II. Además, cada animal fue evaluado usando la escala de condición corporal, ejecutada por un técnico entrenado, usando la metodología de Henneke modificada, en la cual, se asigna puntaje de manera visual y táctil, en cada sitio anatómico (cuello, cruz, cincha, costillar/lomo y cadera, base de la cola), para luego promediar un puntaje total del caballo (Muñoz *et al.* 2021).

Medidas morfométricas. Tres medidas corporales fueron tomadas a cada animal en estación con cintas y reglas métricas, según metodología descrita por McManus *et al.* (2005): altura de la cruz (AC), longitud corporal (LC) y perímetro torácico (PT).

Medidas ecográficas y de composición corporal. Se midió el espesor de grasa dorsal (EGD), a nivel del espacio intervertebral T-17 y T-18, usando traductor y almohadilla de acople perpendicular a la columna vertebral y la grasa de la cadera, se escaneo la zona entre la tuberosidad pélvica de íleon a isquion, paralelo a la columna vertebral. La evaluación muscular incluyó la estimación del área dorsal de lomo (AOL) en cm^2 del músculo *longissimus* dorsi y se hizo a nivel del espacio T17-T18, en la misma ubicación de la medición del EGD. En la cadera se midió el espesor de glúteo medio (EGM).

Las imágenes ecográficas fueron tomadas con ecógrafo Piomedical Aquilavet, con sonda de 18 cm y 3,5 MHZ de frecuencia e interpretadas con software Optical data transfer (ODT).

Índices de composición corporal. Se evaluó la grasa y la musculatura con base en 6 índices: IMC, PT:A, %GC, %MLG, IM e IME, así poder tener un referente de la condición corporal del caballo atleta.

Índice de masa corporal IMC: la fórmula clásica de cálculo de IMC incluye solo el peso y la alzada del animal (Donaldson *et al.* 2004; Carter *et al.* 2009); en este estudio, se usó la fórmula sugerida por Martin-Gimenez *et al.* (2017), que incluye, además de las medidas de peso y de alzada, la longitud corporal. Estas medidas fueron tomadas con cinta y regla métricas respectivamente.

Índice de masa corporal= peso (kg)/[LC (m) x Altura (m)].

Relación perímetro torácico alzada PT:A: Para este índice se mide la alzada con regla métrica y el perímetro torácico alrededor de la cincha con cinta métrica (Jensen *et al.* 2016).

Porcentaje de grasa corporal %GC: Se estimó siguiendo la ecuación matemática que incluye la medida ecográfica de EGC (Dugdale *et al.* 2011), %GC = 2,47 + [5,47 (espesor grasa de cadera EGC)].

Masa grasa. MG=Peso x %GC

Masa libre de grasa: MLG Corresponde al peso corporal menos la estimación del % de su grasa. MLG=PC-MG.

% Masa libre de grasa. Se estimó según la masa libre de grasa con relación al peso.

Índice muscular: IM= AOL/peso corporal x 100, este índice relaciona el área muscular según el peso del animal. Se adaptó la fórmula sugerida por Zimerman *et al.* (2022), usada en bovinos.

Índice musculoesquelético: IME= AOL /alzada², adaptado de Aziz *et al.* (2022), en humanos y se estimó según fórmula IME=AOL/A²; este índice permite evaluar el desarrollo muscular a nivel dorsal con relación a la alzada.

Índices morfométricos funcionales

Índice de carga al paso: IC1=(PT)² x 56)/AC (kg) (McManus *et al.* 2005; Gunnarsson *et al.* 2017; Bukhari *et al.* 2021).

Índice de carga al trote/galope: IC2= (PT)² x 95)/AC (kg) (McManus *et al.* 2005; Powell *et al.* 2008).

Análisis estadístico. Se utilizó un diseño al azar y se realizó estadística descriptiva, análisis de varianza, prueba de Tukey para tipos raciales y análisis de correlación, de Pearson *et al.* (2018); el análisis de los datos se realizó mediante el programa Infostat®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se observan los promedios de medidas corporales e índices funcionales y de composición corporal, para cuatro tipos raciales de caballos deportivos, de una academia ecuestre (CR, CDC, PA, PSI). Se observaron diferencias en la mayoría de las medidas e índices. Solo la medida de espesor de grasa dorsal y el índice muscular coincidieron y no presentaron diferencias.

Correlaciones. El análisis de correlaciones de Pearson *et al.* (2018) evidenció asociación entre las medidas corporales e índices. Se establecieron correlaciones entre las medidas volumétricas con peso y las medidas ecográficas de grasa y músculo en caballos deportivos (Tabla 2). Algunos de los coeficientes de correlación más fuertes se hallaron entre PCC y otras variables; estos fueron de 0,99, 0,95, y 0,94 (p<0,01), para índice de masa corporal, perímetro torácico y espesor del glúteo medio, respectivamente.

Los pesos para los tipos raciales de los caballos oscilaron entre 350 a 500 kg. Los caballos del tipo racial CR tuvieron pesos promedio (343±64 kg), similar a los reportados por Silva *et al.* (2016), para caballo criollo en Brasil y por Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020), para caballo criollo colombiano. El peso para caballos deportivos PA (435,62±36 kg) y PSI (432,20±48,29 kg) estuvieron acordes con reportes mencionados por Martin-Gimenez *et al.* (2017).

Respecto a la alzada, se encontraron valores medios en CR ligeramente superiores a los reportados por Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020), indicando que, para actividades deportivas, se seleccionan caballos criollos por encima del promedio de alzada del típico caballo de exposición de paso, trocha y trote. Se encontraron diferencias en la alzada (p < 0,0001); el CR por su alzada se caracteriza como un caballo de tamaño medio (eumétrico) y los tipos raciales CDC, PA y PSI, con alzadas mayores a 1,56 m, se clasificarían como hipermétricos. La alzada de caballos deportivos de las razas PSI y PA son una consecuencia de la selección racial de extremidades relativamente largas, que favorecen la velocidad (McManus *et al.* 2005) e influye en la calidad de su marcha y predisposiciones atléticas (Komosa & Purzyc, 2009). Los valores medios de AC de caballos PA y PSI fueron similares a los reportados por Martin-Gimenez *et al.* (2017), en caballos deportivos. Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020) encontraron valores medios de LC (154cm), mayores a los encontrados en esta muestra y se evidenció en CR un valor promedio de PT menor a los encontrados en el presente estudio, lo que indica la variabilidad que existen en las proporciones y el morfotipo del caballo criollo colombiano. Estudios de Martin-Gimenez *et al.* (2017), en caballos deportivos, reportaron LC similares a los encontrados para los tipos CDC y PSI. Los resultados del estudio indicaron que los caballos CR y PSI tuvieron un perímetro de tórax más estrecho que los encontrados para CDC y PA (Tabla 1). Martin-Gimenez *et al.* (2017) reportaron valores promedio de PT superiores para caballos deportivos.

Tabla 1. Medidas morfométricas, de condición corporal e índices funcionales en caballos deportivos en una academia ecuestre en Cundinamarca, Colombia.

Variable/Índice	Abrev.	CR (n=12)	CDC (n=4)	PA (n=8)	PSI (n=5)	p-valor
		Media y DS				
Edad	E años	12±2,41	17±2,70	7,37±2,77	9,6±3,78	>,0001**
Peso corporal	PC kg	343±64a	498±43b	435,62±36b	432,20±48,29b	<,0001**
Altura cruz	AC cm	144,04±8,16a	163,00±6,32b	156,62±4,47b	159,10±5,68b	<,0001**
Longitud corporal	LC cm	146,25±8,40a	160,25±8,99b	152,75±5,44ab	156,60±3,28ab	0,0068**
Perímetro torácico	PT cm	164,75±10,76a	186,50±8,10b	179,37±5,09ab	170,40±14,08a	0,0021**
Puntaje de condición corporal Henneke	PCC	5,41±0,51a	4,75±0,50a	4,50±0,92a	460±0,89a	0,0392*
Relación Perímetro tórax: altura	PT:A	1,14±0,02ab	1,15±0,01b	1,14±0,02b	1,07±0,10a	0,0312*
Espesor grasa dorsal por Ultrasonido	EGD mm	1,9±0,72a	2,2±0,89a	1,93±0,78a	1,54±0,60a	0,6188
Espesor grasa cadera por ultrasonido	EGC mm	1,66±0,51a	3±1,6b	2,47±0,50ab	1,98±0,49ab	0,0159*
Área de ojo de lomo por ultrasonido	AOL cm ²	36,46±5,50a	49,97±7,52b	52,17±7,70b	52,78±10,98b	0,0002**
Espesor de glúteo medio por ultrasonido	EGM mm	56,34±9,84a	71,67±10,46ab	73,50±5,77b	59,7±13,98ab	0,0030**
% Grasa corporal	PGC %	3,38±0,27a	4,11±0,87b	3,82±0,87ab	3,55±0,26ab	0,0159*
Índice de masa corporal	IMC kg/m ²	162±0,001a	191±0,007b	182±0,009b	173±0,01ab	0,0008**
Masa grasa	MG kg	11,59±2,11a	20,56±5,12c	16,72±2,57bc	15,30±1,63ab	<0,0001**
Masa libre grasa	MLG kg	332,31±62,31a	477,93±41,48b	418,89±34,25b	416,89±17,11b	0,0001**
% Masa libre grasa	MLG %	96,61±0,27b	95,89±0,87a	96,17±0,27ab	96,44±0,26ab	0,0161*
Índice muscular	IMU cm ² /kg	10,69±1,09a	10,12±2,05a	11,95±1,80a	11,94±1,17a	0,0997*
Índice músculo-esquelético	IME cm ² /m ²	36,46±5,50a	49,97±7,52b	52,17±7,70b	52,78±10,98b	0,0002**
Índice de carga al paso	IC1 kg	179,074±13,35ab	202,76±10,74b	195,24±8,41ab	174,62±28,68a	0,0163*
Índice de carga al trote	IC2 kg	105,56±7,87ab	119,52±6,34b	115,09±4,95ab	102,93±16,90a	0,0163*
% Peso soportado al paso	PSP %	40,87±8,18b	44,97±2,45a	44,97±2,45ab	40,87±8,18a	0,0002**
% Peso soportado al trote	PST %	24,09±4,82b	26,51±1,44a	26,51±1,44ab	24,09±4,82a	0,0002**

Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferente, promedios de cada tipo racial con diferente letra en subíndice dentro de una fila difieren ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$).

Se encontraron valores promedio de PCC similares a los reportados por la literatura. Pagan *et al.* (2009) reportaron puntajes intermedios de condición corporal en caballos deportivos de salto, que oscilaban entre 5,5 y 6,5 y, en caballos de polo, de 5. De hecho, se han reportado rangos óptimos de PCC para diferentes deportes ecuestres, que van de 4 a 7, según el sistema de calificación de PCC de Henneke (Lawrence *et al.* 1992; Garlinghouse & Burrill, 1999; Pagan *et al.* 2009; Harker *et al.* 2011). El PCC para caballo criollo fue ligeramente superior a los reportes de Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020), para caballos criollo de exposición, siendo el puntaje de condición corporal condicionado por la actividad física y el régimen nutricional.

Recientemente, la relación PT:A se sugiere como una medida alternativa al método Henneke para evaluar adiposidad general

en caballos (Carter *et al.* 2009; Jensen *et al.* 2016). La medición del perímetro torácico del caballo supone que un aumento de la circunferencia, a nivel de la cincha, se debe, principalmente, a un aumento de la grasa regional depositada en esta zona. En el estudio se encontraron valores promedio PT:A de 1,14, en los tipos raciales CR, CDC y PA y de 1,07, en PSI (Tabla 1); estos valores consideran un nivel de adiposidad escaso de los caballos deportivos. Existen reportes con valores promedio mayores en caballos con otros regímenes nutricionales. Martin-Gimenez *et al.* (2017) reportaron valores promedio de 1,21 y Jensen *et al.* (2016), valores promedio de 1,27, en caballos de Islandia. Otras diferencias podrían ser, probablemente, atribuidas también a la morfología y al fin de los caballos, en especial, en caballos PSI, que son de vientre estrecho (Dugdale *et al.* 2011).

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre medidas corporales e índices morfométricas, de condición corporal e índices funcionales en caballos deportivos en una academia ecuestre en Cundinamarca, Colombia.

Variable	PC	A	LC	PT	PCC	PT:AC	EGD	EGC	AOL	EGM	IMC	IMU	IME	IC1	IC2
PC kg		0	ns	ns	0,5**	0,75**	0,41*	ns	ns	ns	ns	0,7**	ns	ns	ns
A cm	0,94**		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,91**	ns	ns	ns
LC cm	0,83**	0,82**		ns	ns	0,39*	0,75**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
PT cm	0,83**	0,77**	0,65**		0,95**	ns	0,74**	ns	ns	ns	ns	0,83**	ns	ns	ns
PCC	ns	ns	ns	ns		ns	0,78**	ns	ns	0,94**	0,99**	0,5**	ns	0,44*	0,44*
PT:AC	ns	ns	ns	0,43*	ns		ns	0,89**	0,57**	ns	0,47*	0,65**	0,57**	ns	ns
EGD mm	ns	-0,21	ns	ns	0,78**	ns		ns	ns	0,5*	0,47*	0,51**	ns	0,9**	0,9**
EGC mm	0,43*	0,45*	0,36*	0,4*	ns	ns	ns		0,56**	0,43*	ns	ns	0,56**	ns	ns
AOL cm²	0,72**	0,73**	0,47*	0,6*	ns	ns	ns	ns		0,62**	0,71**	ns	1	0,41*	0,41*
EGM mm	0,62**	0,58**	ns	0,73**	ns	ns	ns	ns	0,62**		ns	ns	ns	ns	ns
IMC kg/m²	0,88*	0,72**	0,49*	0,76**	ns	ns	ns	ns	0,71**	0,68**		0,86**	ns	ns	ns
IMU cm²/kg	ns	0,02	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,63**	ns	ns		ns	0,72**	0,72**
IME cm²/m	0,72**	0,73**	0,47*	0,6**	ns	ns	ns	ns	1	0,62**	0,71**	0,63**		ns	ns
IC1 kg	0,61**	0,47**	0,43*	0,93**	ns	0,73**	ns	ns	0,41**	0,67**	0,64**	ns	0,41*		ns
IC2 kg	0,61**	0,47**	0,43*	0,93**	ns	0,73**	ns	ns	0,41**	0,67**	0,64**	ns	0,41*	1**	

*P < 0,05, **P < 0,01, ns: no significativo. Peso corporal (PC), Altura a la Cruz (AC), Longitud Corporal (LC), Perímetro Torácico (PT), Puntaje condición corporal (PCC), Relación perímetro tórax:altura cruz (PT:AC), Espesor grasa dorsal (EGD), Espesor grasa cadera (EGC), Área ojo del lomo (AOL), Espesor de glúteo medio (EGM), Índice de masa corporal (IMC), Índice muscular (IMU), Índice musculo-esquelético (IME), Índice de capacidad de carga al trote/galope (IC1) y al paso (IC2).

El uso del IMC para evaluar la obesidad en caballos se ha sugerido desde hace varios años. Este índice, representan más de una dimensión física, que ajusta el peso corporal, según la altura a la cruz y la longitud del cuerpo. El ideal, según Martin-Gimenez *et al* (2017), para caballos de silla, representa alrededor de 200 y se asemejan a los valores en humanos, comúnmente utilizados y aceptados. El IMC para caballos deportivos osciló entre 160 y 191 kg/m² promediando 170, siendo ligeramente inferior al rango considerado ideal, para caballos de otros fines. En caballos deportivos este valor promedio se consideraría aceptable; solo dos caballos evaluados tuvieron IMC de 200, con PCC de 5 y 6, respectivamente. El IMC en caballo criollo fue de 162, ligeramente inferior al reportado por Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020), de 171, para caballos con PCC de 5.

EGD, EGC y % GC. La técnica de ultrasonido en tiempo real (UTR) es capaz de medir variaciones de la adiposidad de los équidos (Silva *et al.* 2016). Los valores de EGD fueron similares a reportes de Velásquez Mosquera *et al.* (2016), en caballos deportivos de una academia ecuestre de la policía. Los valores de EGC fueron inferiores a los reportados por Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020), en caballo criollo colombiano. Los valores medios de EGD fluctuaron entre 1-3 mm y de EGC oscilaron entre 1,6-3 mm, siendo considerados depósitos grasos de nivel escaso, para los tipos raciales evaluados. Algunos reportes de estudios ecográficos de grasa subcutánea en caballos consideran una limitación en la precisión de la medición de animales con poca grasa de depósito, ya que las

imágenes UTR requieren una correcta interpretación y, a veces, los límites entre los tejidos no son fáciles de interpretar (Silva *et al.* 2016).

El porcentaje de grasa corporal que se estima usando la medida de espesor de grasa de la cadera osciló entre 3,3-4,11 %, siendo inferior a los reportados por Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020), cercana a 5 %, en caballos de raza criolla colombiana.

Masa libre de grasa MLG. Padilha *et al.* (2017), en caballos deportivos de Brasil, reportaron masa libre grasa de 470 kg, que equivale a 95 % de peso libre grasa, similar al biotipo de animal magro encontrado en este estudio.

Las medidas de AOL en PA y PSI fueron similares a las reportadas por Velásquez Mosquera *et al.* (2016), en caballos deportivos. El EGM promedio en CDC, PA, PSI fueron similares a los reportados en caballos deportivos por Valette *et al.* (1999) y Velásquez Mosquera *et al.* (2016) e inferior a reportes de Lindner *et al.* (2010), en caballos deportivos y en caballo criollo de paso, por Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020); estas diferencias serían atribuibles al biotipo, actividad atlética y régimen nutricional. Además, se debe considerar la medición de la profundidad del músculo glúteo, que depende de la ubicación de donde se tome, debido a la forma de la fascia que se divide el músculo en dos compartimentos (Valette *et al.* 1999).

El IME se adaptó y se estimó, según fórmula usada por Aziz *et al.* (2022), en humanos; este índice permitiría evaluar el desarrollo muscular a nivel dorsal con relación a la alzada. El tipo racial PA y PSI tuvieron los mayores índices, siendo similares (52), seguido por CDC (49) y CR (36). Esto indicaría que, en promedio, los caballos estudiados de los tipos PA y PSI, proporcionalmente, tendrían mayor capacidad de sustento a nivel del lomo, por su mayor área y desarrollo que los otros tipos raciales (CR y CDC).

El IMU es otro índice que se utiliza en bovinos para definir biotipos de mayor expresión muscular, que se podría adaptar en caballos, ya que ayudaría a estimar el desarrollo de la masa muscular en el lomo, según el peso del animal. Los tipos raciales PA y PSI tuvieron los índices más altos 11,95 y 11,94, respectivamente, en comparación a CR y CDC, con valores promedio de 10,69 y 10,12, respectivamente; esto se podría explicar por la pérdida de masa muscular en animales en función de la edad. El promedio de edad de los caballos estudiados PA fue 7,4 años; de 9,6 años, para PSI; de 12 años, para CR y 17 años, para CDC.

Los índices IME e IMU serían indicadores más precisos de estimación magra, de acuerdo con la edad del caballo, contrario al IMC, que serviría más para estimación grasa. Estos índices serían útiles para complementar y ayudar a definir el peso máximo tolerable o la capacidad de carga estimada, que se calcula a través del índice de capacidad de carga, usando el perímetro torácico y la alzada del animal. Esta teoría estaría soportada en estudios de Powell *et al.* (2008), quienes sugieren que los caballos con lomos más amplios sintieron menos dolor en pruebas de peso cuando transportaban cargas más pesadas, que caballos con lomos más estrechos.

Varios estudios demostraron que un peso excesivo del jinete y la silla puede tener un efecto negativo sobre los parámetros biomecánicos, fisiológicos, bioquímicos y de comportamiento de los caballos, durante el ejercicio (Matsuura *et al.* 2012; Gunnarsson *et al.* 2017), teniendo una relación directa con la salud y el bienestar animal. Sería necesario estimar el índice de carga al paso (IC1) y al trote (IC2), en caballos deportivos. Los índices de carga definen el peso en kg que podría soportar un caballo y con base en este, se podría calcular el % de peso soportado por el caballo.

El % de peso soportado al paso (PSP) fue mayor para caballos CDC y PA (44 %), que para CR y PSI (40 %). El % de peso soportado al trote (PST) siguió la misma tendencia que el PSP, arrojando una capacidad de carga estimada de los tipos raciales de caballos CDC y PA (26 %), para soportar mayor peso que los CR y PSI (24 %), que siendo dos tipos de caballos de conformación diferente arrojan proporciones similares. Entendiendo las diferencias de edad y de conformación muscular del músculo gran dorsal de los caballos, los tipos raciales que tuvieron mayores índices de IME, relativamente, podría cargar un poco más de peso, valor que podría servir de índice complementario para definir y flexibilizar el % de peso máximo soportado por los caballos.

Se encontró un peso de carga al paso IC1, que osciló entre 179-202 kg, para caballos deportivos con peso >430 kg; el peso promedio del IC2 osciló entre 102-119 kg. Ambos índices tuvieron valores

medios inferiores en comparación con los encontrados por Schade *et al.* (2015), en caballos de un escuadrón de policía montada (IC1 210,51±13,97 e IC2 de 124,09±8,23 kg, respectivamente) y a los reportados por Padilha *et al.* (2017). Estudios de Bukhari *et al.* (2021), en caballos japoneses, sugieren que la carga máxima permitida para los caballos al paso (peso corporal 339,9 kg) debería ser inferior a 100 kg, que es, aproximadamente, 29 % del peso corporal de un caballo adulto. Estos mismos autores sugieren que la carga máxima permitida para caballos de carreras al trote no debería superar el 33 % del peso corporal del caballo. Los resultados de % PST al trote, oscilando entre 24-26 % (Tabla 1), estarían de acuerdo con los reportes de Powell *et al.* (2008) y Bukhari *et al.* (2021), que indican no superar el 30 % del peso vivo del animal.

Los índices de carga por sí solo no serían indicadores absolutos para determinar la carga máxima de los caballos, habría que tener en cuenta la edad y la conformación musculoesquelética de los caballos. Es ahí donde el estudio de la composición corporal sería útil y complementario, para garantizar un manejo adecuado del bienestar animal del caballo deportivo.

En la tabla 2, se presentan las correlaciones entre medidas corporales, índices funcionales e índices de composición corporal, en caballos deportivos de cuatro tipos raciales.

El peso presentó una correlación alta y significativa con el A, IMC, AOL e IME, respectivamente ($r=0,94$, $p<0,01$; $r=0,88$ $p<0,01$; $r=0,72$ $p<0,01$; $r=0,72$ $p<0,01$). El PCC se correlacionó con los estimadores de adiposidad EGD ($r=0,78$) e IMC ($r=0,99$), resultados que coinciden con reportes de Donaldson *et al.* (2004), quienes encontraron un coeficiente de correlación significativo ($r=0,60$), entre PCC y el IMC. No se encontraron correlaciones significativas con otros métodos estimadores de engrasamiento PT:A ($r=0,31$, $p=0,10$), EGC ($r=-0,28$, $p=0,13$); este difiere de reportes de Silva *et al.* (2016), quienes encontraron correlaciones entre PCC y EGC altas y positivas ($r=0,74$). Carter *et al.* (2009) y Jensen *et al.* (2016) reportaron correlación de PT:A con PCC en caballos deportivos de mayor magnitud a las encontradas en este estudio ($r=0,64$, $p<0,01$), razón que se pudo deber a las razas incluidas en la muestra de caballos deportivos, con morfotipos diferentes.

Se observaron algunas discrepancias en los grados de correlaciones de los métodos para estimar adiposidad evaluados con algunos reportes de literatura para la estimación de grasa subcutánea, lo que podría indicar diferencias anatómicas de cada tipo racial, a los sitios de estimación de grasa particulares de cada método, que estima la deposición de grasa regional diferencial, según la región de anatómica evaluada. Esto ratifica lo reportado por Carter *et al.* (2009), quienes demostraron que los patrones de deposición de grasa pueden ser diferentes, dependiendo de la localización anatómica, actividad física y predisposición genética del animal. En tal sentido, estudios de condición corporal en caballo criollo, de Zuluaga Cabrera & Correa Valencia (2020), sugieren que la estimación de grasa corporal debe implicar un conjunto de medidas tomadas con métodos no invasivos, para obtener la mayor cantidad de datos relacionados con el depósito de tejido adiposo.

Con relación al estimador de desarrollo muscular AOL, medido por UTR, se correlacionó significativamente con PC (0,72 $p < 0.0001$), A (0,73 $p < 0.0001$), LC (0,47 $p = 0.0093$), PT (0,60 $p = 0.0005$), EGM (0,62 $p = 0.0003$) y IMC (0,71 $p < 0.0001$). En los caballos deportivos evaluados, las medidas morfométricas de volumen (alzada, longitud corporal y perímetro torácico), las medidas del músculo glúteo medio y los índices musculares se relacionaron con el área muscular dorsal de los animales. En tal sentido, Powell *et al.* (2008) sugieren incluir la evaluación del área muscular equina para ajustar la capacidad de carga, ya que, según sus hallazgos, animales con un lomo más ancho, pueden tolerar cargas más pesadas que caballos con lomos más estrechos, siendo similar en peso; por esta razón, las variaciones individuales en la proporción muscular podrían influir en el bienestar animal y la capacidad de carga del peso soportado de los caballos deportivos.

En conclusión, al evaluar la condición corporal de caballos deportivos en una academia ecuestre de Cundinamarca, se presentaron diferencias en la estimación de grasa relacionadas con la morfología, propia de cada raza de caballo deportivo. Las metodologías no invasivas para estimar la grasa de cobertura permitieron conocer diferencias en patrones de adiposidad en zonas anatómicas del animal; sin embargo, las metodologías usadas por sí solas no evidenciarían de manera absoluta el contenido de grasa corporal, solo reflejan la estimación local de grasa subcutánea, dependiendo del lugar de medición. En cuanto a la evaluación muscular de caballos deportivos sería importante para definir mejor valores máximos de peso de carga, que podrían soportar para la actividad atlética. La combinación de los índices de carga IC1 e IC2 con índices de composición corporal adiposa y muscular se puede aplicar para una clasificación funcional del caballo deportivo más precisa y, además, que garanticen un adecuado bienestar animal.

Agradecimientos. Los autores agradecen al propietario de la academia ecuestre por la colaboración para realizar el estudio y a la Universidad de la Salle, por el aval investigativo. Contribución de los autores: Juan C. Velásquez-Mosquera: conceptualización, análisis formal, adquisición y manejo de los recursos, desarrollo de la investigación, metodología, administración y supervisión del proyecto, procesamiento de los datos, escritura, revisión y edición del documento. Viviana Parra-Ruiz: adquisición y manejo de los recursos, y desarrollo de la investigación. Juanita Bayona-Vélez: adquisición y manejo de los recursos, desarrollo de la investigación, procesamiento de los datos, escritura, revisión y edición del documento. Paula N. Cavanzo-Farfán y Daniel A. Bautista-Cepeda: adquisición y manejo de los recursos, desarrollo de la investigación. Alexander Navas-Panadero: análisis formal y metodología.

REFERENCIAS

1. AZIZ, M.H.; VAN DONGEN, J.C.; SAIDA, L.; SUKER, M.; VAN VUGT JEROEN, L.A.; VAN PUTTEN, Y.; SIDERAS, K.; GROEN, J.V.; MIEOG J.S.D.; LUCASSEN, C.J.; DROOP, A.; MAUFF, K.; SHAHBAZI, F.S.; GROOT, K.B.; MUSTAFA, D.A.M.; VAN EIJCK, C.J. 2022. High systemic immune inflammation index is associated with low skeletal muscle quantity in resectable pancreatic ductal adenocarcinoma. *Frontiers in Oncology*. 28(12):827755. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.827755>
2. BROOKS, S.A.; MAKVANDI-NEJAD, S.; CHU, E.; ALLEN, J.J.; STREETER, C.; GU, E.; MCCLEERY, B.; MURPHY, B.A.; BELLONE, R.; SUTTER, N.B. 2010. Morphological variation in the horse: defining complex traits of body size and shape. *Animal Genetics*. 41(2):59-65. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02127.x>
3. BUKHARI, S.S.U.H.; MCELLIGOTT, A.G.; PARKES, R.S.V. 2021. Quantifying the Impact of Mounted Load Carrying on Equids: A Review. *Animals*. 11(5):1333. <https://doi.org/10.3390/ani11051333>
4. CARTER, R.A.; GEOR, R.J.; STANIAR, W.B.; CUBITT, T.A.; HARRIS, P.A. 2009. Apparent adiposity assessed by standardised scoring system and morphometric measurements in horses and ponies. *The Veterinary Journal*. 179(2):204-210. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.02.029>
5. CATALANO, D.N.; COLEMAN, R.J.; HATHAWAY, M.R.; MCCUE, M.E.; RENDAHL, A.K.; MARTINSON, K.L. 2016. Estimation of actual and ideal body weight using morphometric measurements and owner guessed bodyweight of adult draft and warmblood horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 39:38-43. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.09.002>
6. CZYCHOLL, I.; BÜTTNER, K.; KLINGBEIL, P.; KRIETER, J. 2018. An indication of reliability of the two-level approach of the AWIN welfare assessment protocol for horses. *Animals*. 8(1):7. <https://doi.org/10.3390/ani8010007>
7. DONALDSON, M.T.; MCFARLANE, D.; JORGENSEN, A.J.; BEECH, J. 2004. Correlation between plasma α -melanocyte-stimulating hormone concentration and body mass index in healthy horses. *American Journal of Veterinary Research*. 65(11):1469-1473. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2004.65.1469>
8. DUGDALE, A.H.A.; CURTIS, G.C.; HARRIS, P.A.; ARGO, C.M. 2011. Assessment of body fat in the pony: Part I. Relationships between the anatomical distribution of adipose tissue, body composition and body condition. *Equine Veterinary Journal*. 43(5):552-61. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00330.x>
9. FEDERACIÓN ECUESTRE DE COLOMBIA, FEDECUESTRE. 2018. Reglamento de adiestramiento. Actualizado julio 2018. Federación Ecuestre de Colombia. 98p. Disponible desde Internet en: https://fedecuestre.com/wp-content/uploads/2021/05/112-18-ANEXO-REFORMA-REGLAMENTO_ADIESTRAMIENTO_update-2018-12oct2018DEF.pdf

10. GARLINGHOUSE, S.E.; BURRILL, M.J. 1999. Relationship of body condition score to completion rate during 160 km endurance races. *Equine Veterinary Journal Supplement*. 30:591-595. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05290.x>
11. GENTRY, L.R.; THOMPSON, D.L.; GENTRY, G.T.; DEL VECCHIO, R.P.; DAVIS, K.A.; DEL VECCHIO, P.M. 2004. The relationship between body condition score and ultrasonic fat measurements in mares of high versus low body condition. *Journal of Equine Veterinary Science*. 24(5):198-203. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2004.04.009>
12. GÓMEZ, M.D.; AZOR, P.J.; ALONSO, M.E.; JORDANA, J.; VALERA, M. 2012. Morphological and genetic characterization of Spanish heavy horse breeds: Implications for their conservation. *Livestock Science*. 144(1-2):57-66. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.10.013>
13. GUNNARSSON, V.; STEFÁNSDÓTTIR, G.J.; JANSSON, A.; ROEPSTORFF, L. 2017. The effect of rider weight and additional weight in Icelandic horses in tölt: Part II. Stride parameters responses. *Animal*. 11(9):1567-1572. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000568>
14. HARKER, I.J.; HARRIS, P.A.; BARFOOT, C.F. 2011. The body condition score of leisure horses competing at an unaffiliated championship in the UK. *J Journal of Equine Veterinary Science*. 31:253-254. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2011.03.058>
15. HENNEKE, D.R.; POTTER, G.D.; KREIDER, J.L.; YEATES, B.F. 1983. Relationship between condition score, physical measurements and body fat percentage in mares. *Journal of Equine Veterinary*. 15(4):371-372. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1983.tb01826.x>
16. HERBST, A.C.; JOHNSON, M.G.; GAMMONS, H.; REEDY, S.E.; URSCHEL, K.L.; HARRIS, P.A.; ADAMS, A.A. 2022. Development and evaluation of a muscle atrophy scoring system (MASS) for Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 110:103771. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2021.103771>
17. JENSEN, R.B.; DANIELSEN, S.H.; TAUSON, A.H. 2016. Body condition score, morphometric measurements and estimation of body weight in mature Icelandic horses in Denmark. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 58(1):59. <https://doi.org/10.1186/s13028-016-0240-5>
18. JANSSON, A.; GUNNARSSON, V.; RINGMARK, S.; RAGNARSSON, S.; SÖDERROOS, D.; ÁSGEIRSSON, E.; JÓHANNSDÓTTIR, T.R.; LIEDBERG, C.; STEFÁNSDÓTTIR, G.J. 2021. Increased body fat content in horses alters metabolic and physiological exercise response, decreases performance, and increases locomotion asymmetry. *Physiological Reports*. 9(11):e14824 <https://doi.org/10.14814/phy2.14824>
19. KIENZLE, E.; SCHRAMME, S.C. 2004. Body condition scoring and prediction of body weight in adult warm blooded horses. *Pferdeheilkunde Equine Medicine*. 20(6):517-524. <https://doi.org/10.21836/pem20040604>
20. KOMOSA, M.; PURZYC, H. 2009. Konik and Hucul horses: A comparative study of exterior measurements. *Journal of Animal Science*. 87(7):2245-2254. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1501>
21. KRISTJANSSON, T.; BJORNSDOTTIR, S.; ALBERTSDÓTTIR, E.; SIGURDSSON, A.; POURCELOT, P.; CREVIER-DENOIX, N.; ARNASON, T. 2016. Association of conformation and riding ability in Icelandic horses. *Livestock Science*. 189:91-101. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.05.010>
22. LAWRENCE, L.; JACKSON, S.; KLINE, K.; MOSER, L.; POWELL, D.; BIEL M. 1992. Observations on body weight and condition of horses in a 150-mile endurance ride. *Journal of Equine Veterinary Science*. 12(5):320-324. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(06\)81345-6](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(06)81345-6)
23. LINDNER, A.; SIGNORINI, R.; VASSALLO, J.; TOMATIS, F.; FLORES, F.; GAGLIANO M.; TARRAGONA, E. 2010. Reproducibility and repeatability of equine muscle thickness measurements with ultrasound. *Journal of Equine Veterinary Science*. 30(11):635-640. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2010.10.007>
24. MARTIN-GIMENEZ, T.; AGUIRRE-PASCASIO, C.N.; DE BLAS, I. 2017. Development of an index based on ultrasonographic measurements for the objective appraisal of body condition in Andalusian horses. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 15(4). <https://doi.org/10.5424/sjar/2017154-11732>
25. MATSUURA, A.; IRIMAJIRI, M.; MATSUZAKI, K.; HIRAGURI, Y.; NAKANOWATARI, T.; YAMAZAKI, A.; HODATE, K. 2012. Method for estimating maximum permissible load weight for Japanese native horses using accelerometer-based gait analysis. *Animal Science Journal*. 84(1):75-81. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2012.01041.x>
26. MCMANUS, C.; FALCAO, R.; SPRITZE, A.; COSTA, D.; LOUVANDINI, H.; DIAS, L.; TEIXEIRA, R.; REZENDE, M.; GARCIA, J. 2005. Caracterização Morfológica de Equinos da Raça Campeiro. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34(5):1553-1562. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000500015>
27. MORALES-BRICEÑO, A.; MÉNDEZ-SÁNCHEZ, A.; MÉNDEZ ANGULO, J.; PÉREZ ARÉVALO, J.;

- ESPINAL, A.; VÁZQUEZ, A.; JULIÀ, O. 2018. What's new in cresty neck horses? diagnosis in mature and aged equids. *The International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*. 16(2):226-233.
28. MUÑOZ, L.; BRIONES, M.; SAAVEDRA, M.J. 2021. Relationship between the body condition index and the modified Henneke body condition score in Chilean horses. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*. 37(1):74-80. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS37-8RBLM30008>
29. PADILHA, F.G.F.; ANDRADE, A.M.; FONSECA, A.B.M.; GODOI, F.N.; ALMEIDA, F.Q.; FERREIRA, A.M.R. 2017. Morphometric measurements and animal-performance indices in a study of racial forms of Brazilian Sport Horses undergoing training for eventing. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 46(1):25-32. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000100005>
30. PAGAN, J.D.; MARTIN, O.A.; CROWLEY, N.L. 2009. Relationship between body condition and metabolic parameters in sport horses, pony hunters and polo ponies. *Journal of Equine Veterinary Science*. 29(5):418-420. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2009.04.117>
31. PAYNE, R.C.; HUTCHINSON, J.R.; ROBILIARD, J.J.; SMITH, N.C.; WILSON, A.M. 2005. Functional specialisation of pelvic limb anatomy in horses (*Equus caballus*). *Journal of Anatomy*. 206(6):557-574. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2005.00420.x>
32. PEARSON, W.; WOOD, K.; STANLEY, S.; MACNICOL, J. 2018. Exploring relationships between body condition score, body fat, activity level and inflammatory biomarkers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 102(4):1062-1068. <https://doi.org/10.1111/jpn.12893>
33. POWELL, D.; BENNETT-WIMBUSH, K.; PEEPLES, A.; DUTHIE, M. 2008. Evaluation of indicators of weight-carrying ability of light riding horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 28(1):28-33. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2007.11.008>
34. REZENDE, M.P.G.; ABREU, U.G.P.; SOUZA, J.C.; SANTOS, S.A.; RAMIRES, G.G.; SITORSKI, L.G. 2015. Morfologia corporal de equinos Quarto de Milha puros e mestiços utilizados no Laço Comprido no Mato Grosso do Sul. *Archivos de Zootecnia*. 64(246):183-185.
35. SCHADE, M.F.S.; MENEGATTI, J.; SCHADE, J.; SOUZA JÚNIOR V.A.; FONTEQUE, J.H. 2015. Avaliação morfométrica de equinos do Esquadrão de Polícia Montada dos municípios de Lages, Joinville e Florianópolis-SC. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 67:1335-134. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8403>
36. SILVA, S.R.; CADAVEZ, V.P. 2012. Real-time ultrasound (RTU) imaging methods for quality control of meats. In: *Computer vision technology in the food and beverage industries*; Sun DW (ed.). Woodhead Publishing. Cambridge. p.277-329. <https://doi.org/10.1533/9780857095770.3.277>
37. SILVA, S.R.; PAYAN-CARREIRA, R.; QUARESMA, M.; GUEDES, C.M.; SANTOS, A.S. 2016. Relationships between body condition score and ultrasound skin-associated subcutaneous fat depth in equids. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 58(1):62. <https://doi.org/10.1186/s13028-016-0243-2>
38. VALBERG, S.J.; BORER MATSUI, A.K.; FIRSHMAN, A.M.; BOOKBINDER, L.; KATZMAN, S.A.; FINNO, C.J. 2020. 3 Dimensional photonic scans for measuring body volume and muscle mass in the standing horse. *Plos One*. 15(2):e0229656. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229656>
39. VALETTE, J.P.; BARREY, E.; JOUGLIN, M.; COUROUCE, A.; AUVINET, B.; FLAUX, B. 1999. Standardisation of muscular biopsy of gluteus medius in French trotters. *Equine Veterinary Journal*. 31(30):342-344. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05246.x>
40. VELÁSQUEZ MOSQUERA, J.C.; MENDOZA SÁNCHEZ, G.; CORRALES ÁLVAREZ, J.D.; PARRA PINEDA, M.A.; MEDINA RODRÍGUEZ, A.C.; IZQUIERDO SÁNCHEZ, C.D.; GONZALES ACOSTA, J.P. 2016. Asociación de medidas morfométricas con grasa en el anca en caballos de salto en una escuela ecuestre de Bogotá. *Revista de Medicina Veterinaria*. (32):67-77. <http://dx.doi.org/10.19052/mv.3856>
41. ZIMERMAN, M.; BOTTEGAL, D.; FERRARIO, J.; ORTEGA MASAGUE, M.F.; HOLGADO, F.; MARTÍNEZ, S.; FERNÁNDEZ SALOM, M.J.; TABOADA, N.; ROYO, V.; MOLINA, Á.; LOPEZ, A.; HERNÁNDEZ, O.; NASCA, J. 2022. Comportamiento productivo, calidad de la res y de la carne de novillos Criollo Argentino, Braford y sus cruza F1 engordados a corral. *Información preliminar. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 30(2):91-100. www.doi.org/10.53588/alpa.300203
42. ZULUAGA CABRERA, A.M.; CORREA VALENCIA, N.M.P. 2020. Body fat evaluation in Colombian Paso horses: body condition score and morphometric and ultrasound measurements. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*. 57(4):e171082. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2020.171082>

CFD-response surface methodology to optimize the effective thermal conductivity and homogeneity in tray dryer

CFD acoplada a la metodología de superficie de respuesta para optimizar la conductividad térmica efectiva y la homogeneidad en un secador de bandejas

Hugo Fabian Lobatón-García^{1*} ; Natali López-Mejía¹ ; Wilmer Cruz-Guayacundo² 

¹Universitaria Agustiniana, Bogotá, D.C., Colombia; e-mail: hugo.lobaton@uniagustiniana.edu.co, natali.lopez@uniagustiniana.edu.co.

²Universitaria Agustiniana, Facultad de Ingeniería, Bogotá, D.C., Colombia; email: wilmer.cruz@uniagustiniana.edu.co

*corresponding author: hugo.lobaton@uniagustiniana.edu.co

How to cite: Lobatón-García, H.F.; López-Mejía, N.; Cruz-Guayacundo, W. 2023. CFD-response surface methodology to optimize the effective thermal conductivity and homogeneity in tray dryer. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2241. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2241>

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

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

Received: March 14, 2022

Accepted: July 17, 2023

Edited by: Rita María Ávila G. de Hernández

ABSTRACT

Tray dryers are usually designed with simplistic scaling rules that do not account for all the transport phenomena associated with drying. The use of computational fluid dynamics coupled with response surface methodology can be a powerful tool to evaluate how different tray dryer design parameters affect the drying process. In this work, two tray dryers, one with a lateral air inlet and another with a bottom air inlet, were parameterized for the position of the air inlet, the dryer length, and the distance between the trays. A central composite design was chosen to determine the sample points, and the average turbulence viscosity and effective thermal conductivity as well as the homogeneity index were calculated. With these values, a response surface curve was constructed. The effective thermal conductivity and its homogeneity index were improved (80 % and 11 %, respectively) with an increased distance between trays and an air inlet located in the middle of the inlet face in the best scenario. In addition, the reductions in effective thermal conductivity outcomes were minimal due to the scale-up process in terms of the dryer length.

Keywords: Effective thermal conductivity; Food preservation; Postharvest processes; Preservation techniques; Tray dryer design.

RESUMEN

Los secadores de bandejas se suelen diseñar con reglas de escala simplistas, que no tienen en cuenta todos los fenómenos de transporte, asociados con el secado. El uso de dinámica de fluidos

computacional junto con la metodología de superficie de respuesta puede ser una herramienta poderosa, para evaluar cómo los diferentes parámetros de diseño del secador de bandeja afectan el proceso de secado. En este trabajo se parametrizaron dos secadores de bandeja, uno con entrada de aire lateral y otro con entrada de aire inferior, variando la posición de la entrada de aire, la longitud del secador y la distancia entre las bandejas. Se eligió un diseño compuesto central, para determinar los puntos de muestra y se calcularon la viscosidad de turbulencia promedio y la conductividad térmica efectiva, así como el índice de homogeneidad. Con estos valores se construyó una curva de superficie de respuesta. Se mejoró la conductividad térmica efectiva y su índice de homogeneidad (80 y 11 %, respectivamente), con una mayor distancia entre platos y una entrada de aire, ubicada en el medio de la cara de entrada en el mejor escenario. Además, las reducciones en los resultados de la conductividad térmica efectiva fueron mínimas, debido al proceso de ampliación en términos de la longitud del secador.

Palabras clave: Conductividad térmica efectiva; Conservación de alimentos; Diseño de secador de bandejas; Procesos de poscosecha; Técnicas de conservación.

INTRODUCTION

Colombia has been identified as an agricultural country with a great variety of biological material. This country produces diverse fruits, vegetables, medicinal plants and, recently, nutraceuticals, such as microalgae, for local consumption and export. This activity

is mainly concentrated in rural areas, where the transportation and energy infrastructures in some regions are inadequate, leading to a reduction in crop quality (Subramaniam, 2016). In addition, the struggle to access new and efficient conservation technology limits farmers' options in preserving crop quality. Drying operations, cold chains, and microbial disinfection, among other postharvest processes, are necessary to increase the shelf life of biological materials once they are harvested (Subramaniam, 2016). However, it has been reported that due to nonoptimal equipment designs, the energy consumption of these operations is high, and the quality of the final product is usually compromised (Salami *et al.* 2010). The design of agro-industrial equipment that extends the useful life of biological products as dryer, and cold rooms is typically implemented with empirical correlations or simply based on practical knowledge bases that, though significant, often omit important phenomena. Therefore, these devices are inefficient in both energy use and unit operation performance, which can affect the final quality of the product (Precoppe *et al.* 2015). Air distribution in dryers should be addressed in different ways, to fill the design, optimization and scale up gap.

With the emergence of higher computational efficiencies, it is now possible to use computational fluid dynamics to solve problems involving mass, energy, and momentum transport equations in computer aided design (Parpas *et al.* 2018). Although computational fluid dynamics - CFD has been widely used in the automotive and aerospace industries, its use has been limited in agroindustry. Moreover, coupling CFD with the design of experiments - DOE method that is normally applied for *in vivo* checks can generate complete integration in computer aided design when coupled with *in silico* experiments.

For example, the coupling between response surface methodology - RSM and CFD has recently been used in the optimization of solar heaters (Qader *et al.* 2019), miscible liquid mixers (Mansour *et al.* 2020), and bubble columns (Gholamzadehdevin & Pakzad, 2019). The coupling of CFD with the design of factorial type experiments has also been reported to study the relationships among the configuration of a ring baffle (Samruamphianskun *et al.* 2012), the hydrodynamic phenomena of a reactor and the use of response surfaces in the design of cooling microchannels (Bal *et al.* 2018). Recently, CFD coupled with RSM was used to determine the optimal geometry parameters that maximize the Nusselt number and minimize the friction factor in a double-pipe heat exchanger (Arjmandi *et al.* 2020).

Drying is the main food preservation method used in developing countries (Nema *et al.* 2015), and although there are promising drying technologies (Figiel & Michalska, 2017), nearly 85 % of industrial dryers are convective, with hot air used as a drying medium (tray dryer). This is due to the simple design, low construction cost and capacity of convective dryers to dry products at high volume (Darabi *et al.* 2015). The influences of relative humidity and air velocity on the drying process are key factors in the energy reductions responsible for an estimated 15 to 20 % of industrial energy use (Ndisya *et al.* 2020). Indeed, the improper

distribution of air inside a drying chamber can lead to inefficient and nonuniform drying. Hot air is usually introduced near the first tray and passes over other trays; therefore, some trays have superior air flows compared to others due to pressure losses, resulting in a biological material with a heterogeneous final humidity. In addition, increments in air velocity used to solve this problem lead to higher energy costs (Tzempelikos *et al.* 2012). These issues have been reported in convective dryers in both simulations and experimental validations; however, due to their low manufacturing cost, they are still widely used in developing countries (Esparza E. *et al.* 2019; Precoppe *et al.* 2015; Vargas *et al.* 2018).

Traditional kinetics models do not account for the influence of flow and transport properties, which are based on the geometrical configurations and operating parameters of tray dryers (Chilka & Ranade, 2018). Therefore, 3D models of dryers have been created in CFD and experimentally validated by several researchers. With this powerful tool, it is now possible to check for nonhomogeneous spatial distributions of variables such as turbulence viscosity (μ_t), the turbulent transfer of momentum by eddies giving rise to an internal fluid friction or effective thermal conductivity (k_{eff}), a measure of a material's ability to transfer energy; however, this information has to be linked to the drying kinetics (Subramaniam, 2016) to obtain a more robust model that can predict spatial humidity. Once a completed model has been developed, it is even possible to integrate physical models with multi-objective optimization processes to achieve a complete integration of computer-assisted dryer design (Defraeye, 2014). With a CFD model, local values of turbulence viscosity and effective thermal conductivity can be calculated (Böhner *et al.* 2013; Tzempelikos *et al.* 2012; Vargas *et al.* 2018) and the variations in values can be estimated with a uniformity index. For example, Khatir *et al.* (2013) set a temperature uniformity index for CFD optimization of a commercial bread-baking oven, and Precoppe *et al.* (2015) showed a uniformity index for local velocities in a tray dryer. In this study, a CFD tray dryer model is coupled with a DOE method and surface response methodology to determine optimal geometric parameters (distance between the trays, air inlet position and dryer length) and improve turbulence viscosity, effective thermal conductivity, and uniformity in the dryer.

MATERIALS AND METHODS

Mathematical model and numerical simulation. The momentum and continuous equations were set for the air as follows (ANSYS, 2017):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad \text{equation 1}$$

$$\frac{\partial \rho \vec{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla \cdot P + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho g \quad \text{equation 2}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad \text{equation 3}$$

$$\mu_t = \rho c_u \frac{\kappa^2}{\varepsilon} \quad \text{equation 4}$$

Where, ρ is the density of air (kg/m^3); t is the time (s), \vec{v} is the velocity (m/s); $\bar{\tau}$ is the tensor and μ_t is the turbulent viscosity (Pa s); c_n is the turbulence model constant.

The k- ϵ model was used to model the turbulence (ANSYS, 2017). This model has been proven to be efficient in turbulence modeling for tray dryers (Dasore & Konijeti, 2019; Margaris & Ghiaus, 2006):

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} k) = \nabla \cdot \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) + G + \rho \epsilon \quad \text{equation 5}$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \epsilon) = \nabla \cdot \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) + C_1 \frac{\epsilon}{k} G - C_2 \frac{\epsilon^2}{k} \quad \text{equation 6}$$

The modeled energy equation is:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} C_p T) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) \quad \text{equation 7}$$

Where, (K_{eff}) is the Effective thermal conductivity (W/ m k); C_1 C_2 C_3 is the Turbulence model constant; G is the production of turbulence kinetic energy; T is temperature ($^\circ\text{C}$).

For k- ϵ model the effective thermal conductivity is given by:

$$k_{eff} = K + \frac{C_p \mu_t}{Pr_t} \quad \text{equation 8}$$

Where in this case, is the thermal conductivity (k). The default value of the turbulent Prandtl (Pr_t) (number is 0.85). Equation 8 shows the relationship between turbulent viscosity and thermal effective coefficient. The higher the turbulent viscosity, the higher the thermal effective coefficient.

The model constants have the following default values: $C_{\mu}=0,09$, $C_1=1,44$, $C_2=1.92$ and $\sigma_k=1$ $\sigma_\epsilon=1.3$.

The air thermal properties were, density 1.225 (kg/m^3), cp 1006.43 (J/kg.K), thermal conductivity 0.0242 (W/m.K), viscosity $1.78e^{-5}$ (Kg/m.s)

The boundary conditions were the velocity inlet for the air inlet and the pressure outlet for the air outlet. A no-slip boundary condition was used for all the walls. All models were solved with Fluent-ANSYS software (using second-order upwind methods and a coupled pressure-velocity scheme). The COUPLE algorithm was used alongside a Fluent solver to solve the pressure-velocity coupling equations 1 and 2 (ANSYS, 2017). The numerical model was run until it converged. The simulation strategy was 300 hundred interactions, residuals $1 e^{-3}$ quick algorithm was used to solve turbulent and energy equations.

Prior to the tray dryer parameterization, the model was validated against the local velocities measured for conditions and a tray dryer presented by Tzempelikos *et al.* (2012).

Original tray dryer geometry. The original tray dryer (Figure 1a) consists of a rectangular aluminium chamber with dimensions of 873 mm (length) x 545 mm (width) x 1310 mm (height). The

dryer has an air inlet located at the bottom of the left side face, which has a turbine that is responsible for circulating air from the outside to the inside with a resistance system for heating the air that enters the chamber. The diameter of the duct is 109 mm. Additionally, a camera with an air outlet is located at the upper part of the right lateral face. The cabinet has 10 fixed aluminium trays that are 94.44 mm apart (dimensions of each tray are 581 mm x 500 mm) for a drying area of 2.92 m^2 . Homogeneity problems were previously described in this type of dryer, where different final humidities were obtained at the spatial level for equal drying times (Esparza E. *et al.* 2019).

In addition to the original tray dryer, two additional dryers were parameterized: a dryer with a lateral inlet TDLI (Figure 1b) and a dryer with a bottom inlet TDBI (Figure 1c) The dryers were parameterized with three design variables: the position of the air inlet, the distance between the trays and the dryer length.

Position of the air inlet - Pinlet ranges from 0 (initial position) to 900 mm. Dryer length (L) ranges from 0 (initial position) to 500 mm, and distance between the trays (h) ranges from 100 to 450 mm. These values were chosen as the maximum values due to the construction constraints. It is important to note that when h changes, the number of trays changes automatically to meet the desired h , which will be explained later in detail in this document. Ansys 2017 R1 (Student version) was used to create the geometry and the mesh.

Response variable. The response variables in this work are (μ_t), (K_{eff}) (γ) and its uniformity index γ , (μ_t) and (K_{eff}) (is the average of the turbulence viscosity and effective thermal conductivity of all nodes, which are calculated with equation 4 and with equation 8 for each node.

Esparza E. *et al.* (2019) demonstrated with experiments and simulations that variations in k_{eff} directly affect drying speed. Spatial variations for these variables create nonhomogeneity during the drying process. To quantify these variations, the uniformity index of the effective thermal conductivity is established, which shows the variation of a variable in space, where a value of 1 means maximum uniformity. The uniformity index (ANSYS, 2017) is calculated using the equation below, where ϕ_i is the value of the effective thermal conductivity at a point and A_i is the total volume where the variable is being evaluated. The analysis volume was defined in the space where the trays are located, as shown in figure 1.

$$\gamma = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\left| \phi_i - \frac{k_{eff}}{k_{eff}} \right| \right) \times A_i \right]}{2 \times \left| k_{eff} \right| \times \sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{equation 9}$$

Experimental design and optimization. The dryer was parameterized with three design variables: the position of the air inlet, the distance between the trays and the dryer length. The sample points of these parameters were chosen by using central composite design. Central composite design - CCD is based on 2-level factorial designs augmented with centre and axial points

to fit quadratic models. Regular CCDs have 5 levels for each factor (Arjmandi *et al.* 2020). Table 1 shows the sample points for which the response variable is calculated. Working with this type of experimental design, the sample points not only reduce the number of points required but also increase the accuracy of the response surface. For all sample points, the inlet velocity was fixed to 3 ms^{-1} . With the values calculated with the CFD code, a surface is generated. Genetic aggregation is the default algorithm

used to generate response surfaces. It automates the process of selecting, configuring, and generating the type of response surface best suited for each output parameter (ANSYS, 2017). Finally, the optimization is carried out by setting the objective function based on the generated response curve. In this work, the objective was to maximize the turbulent viscosity, effective thermal conductivity, and its uniformity index.

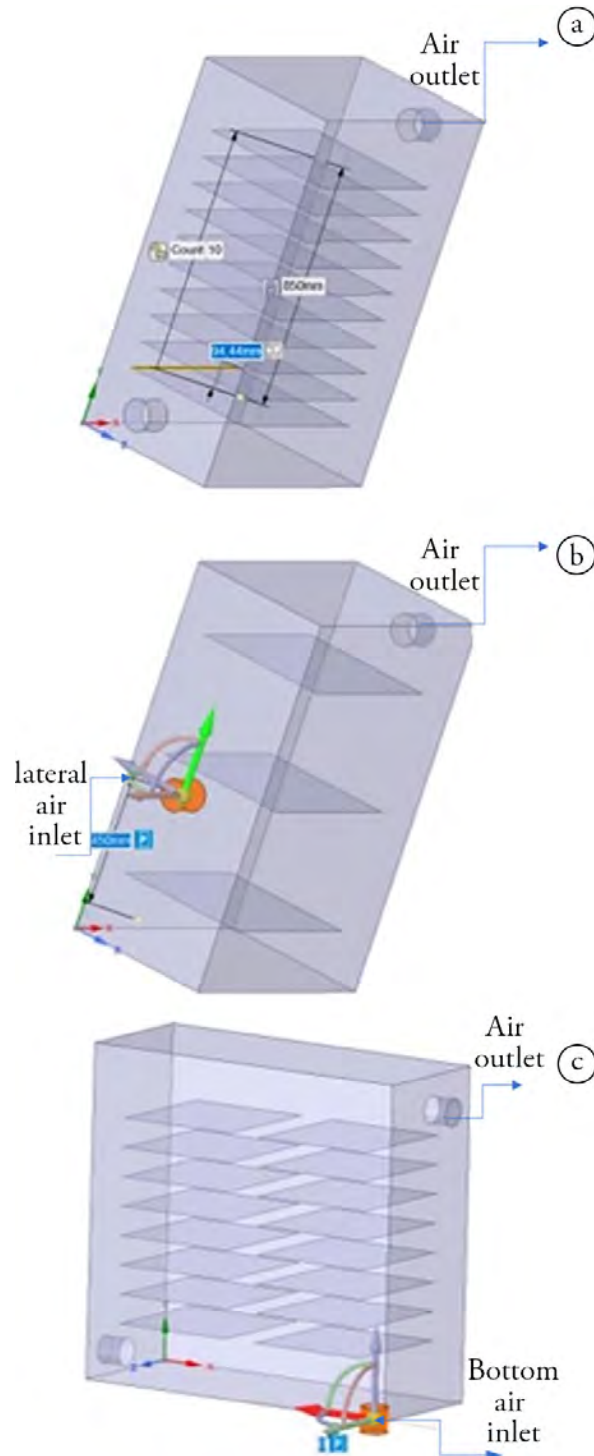


Figure 1. Tray Dryer Modeling (Geometry). a) original tray dryer; b) dryer with a lateral inlet (TDLI); c) dryer with a bottom inlet (TDBI).

Table 1. Experimental design and results for the tray dryer with a lateral air inlet (TDLI).

Sample point	Pinlet (mm)	L (mm)	h (mm)	μ_t (Pa . s)	k_{eff} (W /m k)	γ
1	450	250	275	0.00182	2.13	0.70563
2	0	250	275	0.00151	1.80	0.63979
3	900	250	275	0.00162	1.94	0.67613
4	450	0	275	0.00186	2.22	0.72716
5	450	500	275	0.00182	2.20	0.68487
6	450	250	100	0.00105	1.24	0.67830
7	450	250	450	0.00176	2.07	0.71913
8	84	47	133	0.00136	1.63	0.63116
9	816	47	133	0.00138	1.65	0.69378
10	84	453	133	0.00123	1.46	0.56299
11	816	453	133	0.00113	1.35	0.65516
12	84	47	417	0.00192	2.29	0.71140
13	816	47	417	0.00185	2.21	0.69852
14	84	453	417	0.00184	2.20	0.64878
15	816	453	417	0.00195	2.30	0.67305

K_{eff} : Effective thermal conductivity. Pinlet: Position of the air inlet. L: Dryer length; h: Distance between the trays γ : Uniformity index.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 shows the μ_t , K_{eff} and γ results for all the design points analysed in the TDLI (TDBI also has an experimental design; however, data is not presented). Point 4, 7 and 12 show the best values regarding turbulence (the selected points were those with which the highest values of turbulence, thermal conductivity and uniformity index were simultaneously obtained) and effective thermal conductivity due to the linear relationship between turbulence and effective thermal conductivity (Figure 2a). Likewise, these points show the highest uniformity index values. To better understand the behaviour of turbulence and uniformity, these data are used to construct the response surface. Figure 2b shows the behaviour of effective thermal conductivity and uniformity with respect to h value and length at a fixed value of 450 mm for Pinlet. The effective thermal conductivity values and the uniformity increase with increasing increments in the distance between trays (Figure 2c). However, increased increments in the distance between trays means a smaller number of trays. In addition, these graphs also show that for a constant value of h, the uniformity is reduced, but the effective thermal conductivity is barely affected by the increment in tray dryer length (Figure 3b). These findings are important criteria in the design and scale-up of tray dryers, as shown later in this document.

Figures 4a and 5a show the effective thermal conductivity and uniformity performance related to Pinlet and h for the dryer with a lateral inlet with a constant length of 500 mm. In this case, h also has a strong effect on turbulence. The increments in h enhance

effective thermal conductivity and uniformity. In addition, the lateral inlet at position zero (original position) shows poor uniformity and effective thermal conductivity values (blue zones in the surface graphic). These results imply that the current position of the inlet in the original dryer does not maximize effective thermal conductivity.

For the equipment with the air inlet located at the bottom inlet, the inlet position becomes more relevant in relation to the effective thermal conductivity (Figure 2c). The maximum effective thermal conductivity value is found when the position is in the middle of the bottom wall of the dryer. Conversely, uniformity is negatively affected when the input position is in the middle (Figure 3d). The results of this work show that elements that interrupt flow decrease turbulence and effective thermal conductivity but increase homogeneity. Tzempelikos *et al.* (2012) found reductions in turbulence values due to trays that drastically interrupt the flow.

A turbulent flow around the food matrix improves the mass and heat transfer in the layer that is formed around the food material (Sabarez, 2016). It is important to note that turbulence is an important factor affecting the drying rate during the external heat and mass transfer controlling phases (Sabarez, 2016). Beyhaghi *et al.* (2016) and Lecorvaisier *et al.* (2010) found better diffusivity coefficients in turbulent flows than in laminar flows, showed that the drying time for a turbulent flow was less than that for a laminar flow, and the evaporation rate (or evaporative mass flow rate) was greater for a turbulent flow than a laminar flow.

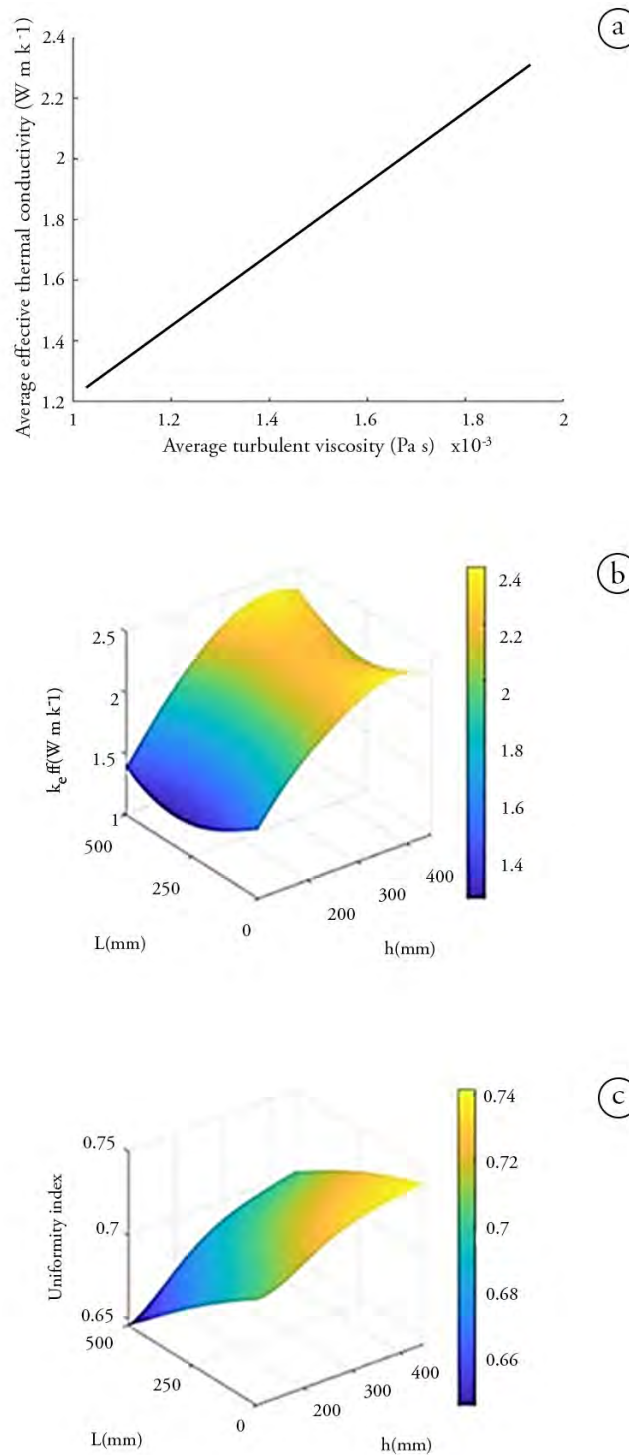


Figure 2. (a) Average turbulent viscosity vs Average effective thermal conductivity. Influence of L and h on effective thermal conductivity (b), and uniformity index (c). The position P_{inlet} is constant (450 mm) for the tray dryer lateral (TDLI).

As stated before, the decrease in turbulence and therefore effective thermal conductivity affects the drying speed, and an uneven distribution of effective thermal conductivity generates different drying speeds between the trays (Esparza E. *et al.* 2019). An increased increment of h creates a smaller number of trays. A value of h between 90 and 100 mm represents 10 trays, while a value

of 400 to 450 mm represents 3 trays. Having more trays implies a greater drying area; however, as this work shows, it also implies a reduction in the values related to turbulence, effective thermal conductivity, and uniformity. A trade-off between effective thermal conductivity, uniformity and drying area must be found.

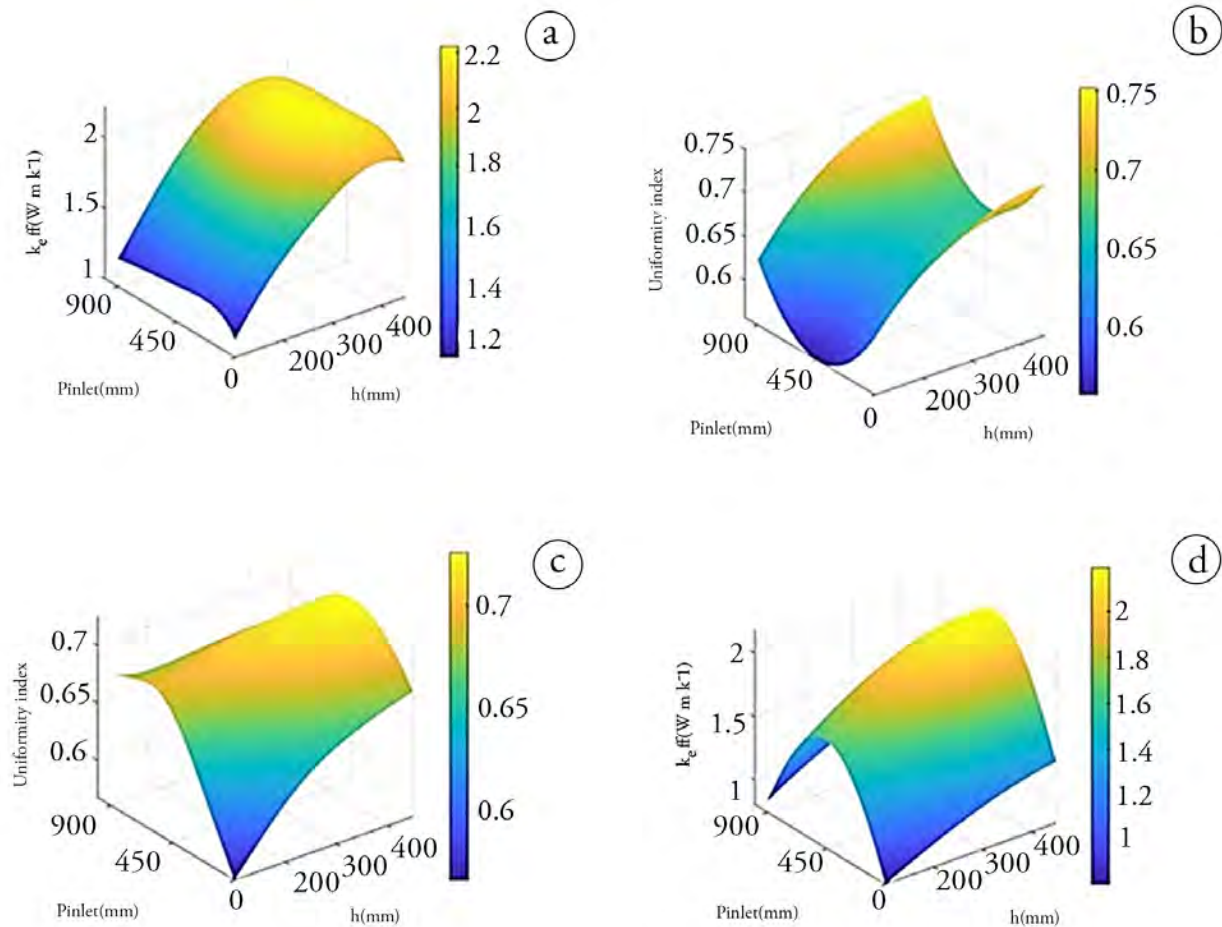


Figure 3. Influence of h and $Pinlet$ on effective thermal conductivity with a constant length of 500 mm: a) tray dryer lateral inlet (TDLI); b) tray dryer bottom inlet (TDBI). Influence of h and $Pinlet$ on uniformity with a constant length of 500 mm: b) tray dryer lateral inlet (TDLI); c) tray dryer bottom inlet (TDBI).

An objective function must be established carefully with specific constraints that a researcher can use to interpret the physical parameters of what constitutes an optimal design (Khatir *et al.* 2013). In this case, a large h means higher turbulence, effective thermal conductivity, and uniformity, but it also means fewer trays and therefore less drying area. However, with the findings related to the scale-up process, a comparison with similar drying areas can be performed. Table 2 shows the comparison of three configurations with respect to the original dryer. A 4-tray dryer with a width of 500 mm shows an 80 % increase in turbulence and effective thermal conductivity. However, it is a larger dryer and has a slightly smaller drying area than the original dryer. With the constraints on the drying area and knowing that increasing the length of the dryer means larger equipment, it is possible to determine the maximum surface curve. The optimal design for a dryer with a lateral inlet is an inlet position located in the middle, 500 mm larger than the original and a drying area of $2.13 m^2$. This design shows an increase of 80 % in effective thermal conductivity and 11 % in uniformity compared to the original dryer. The optimal design of a tray dryer with a bottom inlet has the following conditions: an inlet position located in the middle, 500 mm larger than the original and a drying

area of $3.896 m^2$. This design shows an increase of 40 % in effective thermal conductivity and a 4 % increment in uniformity compared to the original dryer.

Figure 4 shows the effective thermal conductivity isocontours in a plane located in the middle of the dryer for the 3 designs in table 2. This figure shows many red, yellow, and green areas in designs b and c compared with the original tray dryer. The challenge is to have most of the areas in the dryer exhibit yellow, green, and red areas inside the trays. As mentioned before, the zones with red colors (high turbulence and effective thermal conductivity) will have faster humidity removal rates.

Computer-aided design using CFD helps clarify the turbulence and effective thermal conductivity behavior in dryer equipment, and several works have shown the strong relationship between humidity removal and vigorous eddy viscosity to improve the mass transfer in the food boundary layer (Handayani *et al.* 2023). However, it is still necessary to correlate the findings in this theoretical research with empirical data, where the dryer design parameters can be modified experimentally, and the local humidity can be measured.

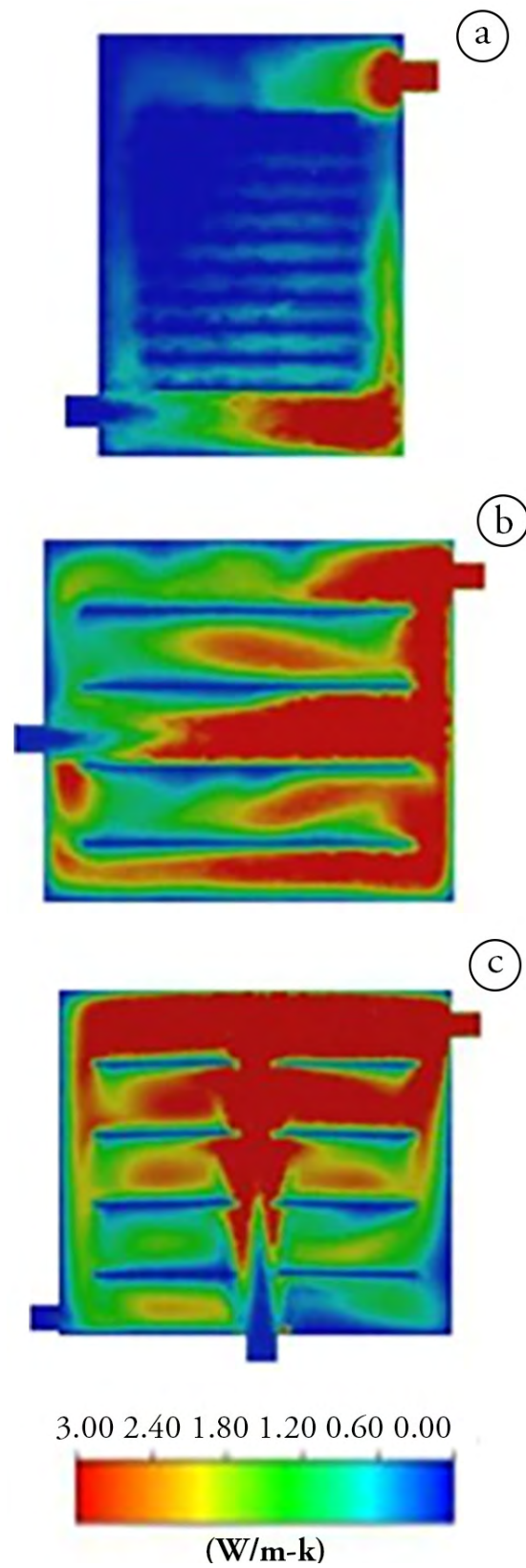


Figure 4. Effective thermal conductivity isocontours for different tray dryer configurations: a) Original tray dryer; b) TDLI 4 trays and c) TDLI 8 trays.

Table 2. Design parameters obtained for the analyzed geometries. Comparison between the original tray dryer with respect to the dryer with a lateral inlet (TDLI) and dryer with a bottom inlet (TDBI).

Parameter	Original tray dryer	TDLI	TDBI
Figure 1.	a	b	c
Number of trays	10	4	4 x 2
h (mm)	94	280	280
Drying area (m ²)	2.90	2.13	3.90
Pinlet (mm)	0.00	450.00	450.00
L (mm)	0.00	500.00	500.00
μ_t (Pa . s)	0.0011	0.0019	0.0017
k_{eff} (W/ m k)	1.3099	2.1954	2.0680
γ	0.6137	0.6885	0.6400

K_{eff} : Effective thermal conductivity. Pinlet: Position of the air inlet. L: Dryer length; h: Distance between the trays; γ : Uniformity index.

Finally, coupling experimental design with RSM can be a powerful tool for designing a tray dryer. In this case, design parameters such as dryer length, number of trays and inlet position were evaluated. A digital twin allows for a fast development design. Several design configurations can be evaluated before equipment construction and coupling with a design of experiments method, and an optimized number of runs can be found. This work shows that filling the dryer with many trays decreases the turbulence, effective thermal conductivity, and homogeneity; concerning the air inlet, the best effective thermal conductivity results are found when the air inlet is in the centre. Finally, the scale-up process regarding the dryer length increment shows small variations in effective thermal conductivity. These results present a new outcome regarding the tray dryer scale-up process.

Practical applications. This research shows an optimized dryer prototype using parameterization which can be used by the industry and by small producers who want to give added value to the products obtained from the field since it does not require a high investment for its implementation.

Acknowledgments. The authors thank the Universidad Agustiniiana for financing the INV-2020I1 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. **Authors contribution.** Hugo Fabian Lobatón-García: Ideas; formulation or evolution of overarching research goals and aims. Preparation, creation and/or presentation of the published work. Natali López-Mejía: Synthesize study data. Writing – original draft Writing – review & editing. Wilmer Cruz-Guayacundo: Development or design of methodology; creation of models.

REFERENCES

1. ANSYS, INC. 2017. ANSYS Fluent Tutorial Guide. 1052p. Disponible desde Internet en: <http://users.abo.fi/rzevenho/ansys%20fluent%2018%20tutorial%20guide.pdf>
2. ARJMANDI, H.; AMIRI, P.; SAFFARI POUR, M. 2020. Geometric optimization of a double pipe heat exchanger with combined vortex generator and twisted tape: A CFD and response surface methodology (RSM) study. *Thermal Science and Engineering Progress.* 18:100514. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2020.100514>
3. BAL, S.; MISHRA, P.C.; SATAPATHY, A.K. 2018. Optimization of spray parameters for effective microchannel cooling using surface response methodology. *International Journal of Heat and Technology.* 36(3):973-980. <https://doi.org/10.18280/IJHT.360325>
4. BEYHAGHI, S.; XU, Z.; PILLAI, K.M. 2016. Achieving the inside-outside coupling during network simulation of isothermal drying of a porous medium in a turbulent flow. *Transport in Porous Media.* 114:823-842. <https://doi.org/10.1007/s11242-016-0746-3>
5. BÖHNER, M.; BARFUSS, I.; HEINDL, A.; MÜLLER, J. 2013. Improving the airflow distribution in a multi-belt conveyor dryer for spice plants by modifications based on computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering.* 115(3):339-345. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2013.03.012>
6. CHILKA, A.G.; RANADE, V.V. 2018. CFD modelling of almond drying in a tray dryer. *The Canadian Journal of Chemical Engineering.* 97(2):560-572. <https://doi.org/10.1002/cjce.23357>

7. DARABI, H.; ZOMORODIAN, A.; AKBARI, M.H.; LORESTANI, A.N. 2015. Design a cabinet dryer with two geometric configurations using CFD. *Journal of Food Science and Technology*. 52(1):359-366. <https://doi.org/10.1007/S13197-013-0983-1>
8. DASORE, A.; KONIJETI, R. 2019. Numerical simulation of air temperature and air flow distribution in a cabinet tray dryer. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 8(11):2278-3075. <https://doi.org/10.35940/ijitee.K1787.0981119>
9. DEFRAEYE, T. 2014. Advanced computational modelling for drying processes - A review. *Applied Energy*. 131:323-344. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2014.06.027>
10. ESPARZA E., J.; GRISALES M.J., F.; PÉREZ, S.F., J.; ORDÓÑEZ S.L., E.; LOBATÓN G.H., F. 2019. Influence of the thermal conductivity of air on the moisture homogeneity of a tray dryer. *International Journal of Heat and Technology*. 37(1):322-326. <https://doi.org/10.18280/IJHT.370138>
11. FIGIEL, A.; MICHALSKA, A. 2017. Overall quality of fruits and vegetables products affected by the drying processes with the assistance of vacuum-microwaves. *International Journal of Molecular Sciences*. 18(1):71. <https://doi.org/10.3390/IJMS18010071>
12. GHOLAMZADEHDEVIN, M.; PAKZAD, L. 2019. Hydrodynamic characteristics of an activated sludge bubble column through computational fluid dynamics (CFD) and response surface methodology (RSM). *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 97(4):967-982. <https://doi.org/10.1002/CJCE.23335>
13. HANDAYANI, S.U.; YOHANA, E.; TAUVIQIRRAHMAN, M.; RAHMAN, A.G.; YULIANTO, M.E.; CHOI, K.H. 2023. Performance improvement of continuous horizontal fluidised bed dryer based on computational fluid dynamics. *Results in Engineering*. 17:100972. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2023.100972>
14. KHATIR, Z.; THOMPSON, H.; KAPUR, N.; TOROPOV, V.; PATON, J. 2013. Multi-objective Computational Fluid Dynamics (CFD) design optimisation in commercial bread-baking. *Applied Thermal Engineering*. 60(1-2):480-486. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2012.08.011>
15. LECORVAISIER, E.; DARCHE, S.; DA SILVA, Z.E.; DA SILVA, C.K.F. 2010. Theoretical model of a drying system including turbulence aspects. *Journal of Food Engineering*. 96(3):365-373. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.008>
16. MARGARIS, D.P.; GHIAUS, A.G. 2006. Dried product quality improvement by air flow manipulation in tray dryers. *Journal of Food Engineering*. 75(4):542-550. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2005.04.037>
17. MANSOUR, M.; KHOT, P.; THÉVENIN, D.; NIGAM, K.D.P.; ZÄHRINGER, K. 2020. Optimal Reynolds number for liquid-liquid mixing in helical pipes. *Chemical Engineering Science*. 214:114522. <https://doi.org/10.1016/J.CES.2018.09.046>
18. NDISYA, J.; MBUGE, D.; KULIG, B.; GITAU, A.; HENSEL, O.; STURM, B. 2020. Hot air drying of purple-speckled Cocoyam (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) slices: Optimisation of drying conditions for improved product quality and energy savings. *Thermal Science and Engineering Progress*. 18:100557. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2020.100557>
19. NEMA, P.K.; PAL KAUR, B.; MUJUMDAR, A.S. 2015. *Drying technologies for foods: Fundamentals and applications*. New India Publishing Agency. 374p.
20. PARPAS, D.; AMARIS, C.; TASSOU, S.A. 2018. Investigation into air distribution systems and thermal environment control in chilled food processing facilities. *International Journal of Refrigeration*. 87:47-64. <https://doi.org/10.1016/J.IJREFRIG.2017.10.019>
21. PRECOPPE, M.; JANJAI, S.; MAHAYOTHEE, B.; MÜLLER, J. 2015. Batch uniformity and energy efficiency improvements on a cabinet dryer suitable for smallholder farmers. *Journal of Food Science and Technology*. 52:4819-4829. <https://doi.org/10.1007/S13197-014-1544-Y>
22. QADER, B.S.; SUPENI, E.E.; ARIFFIN, M.K.A.; TALIB, A.R.A. 2019. RSM approach for modeling and optimization of designing parameters for inclined fins of solar air heater. *Renewable Energy*. 136:48-68. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.12.099>
23. SABAREZ, H.T. 2016. Airborne Ultrasound for Convective Drying Intensification. In: Knoerzer, K.; Juliano, P.; Smithers, G. (eds). *Innovative food processing technologies: extraction, separation, component modification and process intensification*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. p.361-386. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100294-0.00014-6>
24. SALAMI, P.; AHMADI, H.; KEYHANI, A.; SARSAIFEE, M. 2010. Strawberry post-harvest energy losses in Iran. *Researcher*. 2(4):67-73.
25. SAMRUAMPHIANSKUN, T.; PIUMSOMBOON, P.; CHALERMSINSUWAN, B. 2012. Effect of ring baffle configurations in a circulating fluidized bed riser using CFD simulation and experimental design analysis. *Chemical Engineering Journal*. 210:237-251. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2012.08.079>
26. SUBRAMANIAM, P. 2016. *The stability and shelf life of food*. Second edition. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 590p. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-06842-3>

27. TZEMPELIKOS, D.; VOUIROS, A.; BARDAKAS, A.; FILIOS, A.; MARGARIS, D. 2012. Analysis of air velocity distribution in a laboratory batch-type tray air dryer by computational fluid dynamics. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*. 6(5):413-421.
28. VARGAS, N.A.; CAICEDO, M.; MARTÍNEZ-CORREA, H.A.; LOBATÓN, H.F. 2018. Drying uniformity analysis in a tray dryer: An experimental and simulation approach. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 233-238. <https://doi.org/10.19026/AJFST.14.5901>

Development of a predictive model for the growth of *Staphylococcus aureus* in costeño chesee covered with active film

Desarrollo de modelo predictivo para el crecimiento de *Staphylococcus aureus* en queso costeño cubierto con película activa

Rafael González-Cuello¹; Fidel Guardo-Palomino^{1*}; Leidy Mendoza-Nova²

¹Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación Food Packaging and Shelf Life Research Group (FP&SL). Cartagena - Bolívar, Colombia; e-mail: rgonzalez1@unicartagena.edu.co; fguardop@unicartagena.edu.co

²Universidad de Córdoba, Departamento de Biología, Grupo de investigación en Química de los productos Naturales (Pronat). Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: leidy.lore@hotmail.com

*corresponding author: fguardop@unicartagena.edu.co

How to cite: González-Cuello, R.; Guardo-Palomino, F.; Mendoza-Nova, L. 2023. Development of a predictive model for the growth of *Staphylococcus aureus* in costeño chesee covered with active film. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2245. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2245>

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

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

Received: March 17, 2022

Accepted: October 10, 2023

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

Staphylococcus aureus is a foodborne bacterium frequently isolated from cheeses, and it is responsible for causing food poisoning. The purpose of this study was to develop a secondary model to assess the growth of *S. aureus* in costeño cheese packaged with an active film. Costeño cheese samples were inoculated with *S. aureus* and covered with an active film made from an aqueous extract of *Schinopsis balansae*. Subsequently, the cheese samples were stored at temperatures of 6, 12, 18, and 21 °C. The Huang model was applied to the experimental data of *S. aureus* to determine growth parameters. The maximum growth rate (μ_{max}) was then used as a function of temperature to create the secondary model using a polynomial equation. The results indicate that the application of the active film of *S. aureus* had a significant influence on growth parameters of *S. aureus* such as μ_{max} , lag-phase (λ), and maximum cell population (Y_{max}) in Costeño cheese. The validation process included measuring the indices: accuracy factor (Af), bias factor (Bf), and root mean square error (RMSE). The secondary model exhibited Af and Bf factors close to one, suggesting that the polynomial models are viable to predict *S. aureus* growth in cheese packaged with active film, considering temperature and storage time.

Keywords: Artisanal cheese; Enterotoxin; Foodborne disease; Microbiological contamination; Food preservation; Plant extract.

RESUMEN

Staphylococcus aureus es una bacteria de origen alimentario aislada frecuentemente de quesos responsables de causar intoxicaciones alimentarias. El objetivo de este estudio fue construir un modelo secundario para evaluar el crecimiento de *S. aureus* en queso costeño, empacado con película activa. Las muestras de queso costeño se inocularon con *S. aureus* y se cubrieron con la película activa, elaborada con extracto acuoso de *Schinopsis balansae*. Luego, las muestras de queso se almacenaron a 6, 12, 18 y 21 °C. El modelo de Huang fue ajustado a los datos experimentales de *S. aureus*, para obtener parámetros de crecimiento. Después, se usó la tasa de crecimiento máxima ($\mu_{m\acute{a}x}$) en función de la temperatura para construir el modelo secundario, usando una ecuación polinomial. La aplicación de película activa de *S. balansae* tuvo una influencia significativa en los parámetros de crecimiento de *S. aureus*, como la tasa de crecimiento máxima (μ_{max}), la fase de latencia (λ) y la población celular máxima (Y_{max}), en el queso costeño. El proceso de validación se realizó midiendo los índices: factor de exactitud (Af), factor de sesgo (Bf) y error cuadrático medio (ECM). El modelo secundario tenía factores Af y Bf cercanos a uno, lo que indica que los modelos obtenidos son viables para predecir el crecimiento de *S. aureus* en queso envasado con película activa, tomando en consideración la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

Palabras clave: Contaminación microbiológica; Conservación de alimentos; Enterotoxina; Extracto vegetal; Intoxicación por alimentos; Queso artesanal.

INTRODUCTION

Diseases caused by foodborne pathogens are prevalent, even in developed countries. *Staphylococcus aureus* is a facultative, non-spore-forming, round-shaped Gram-positive bacterium. When this bacterium reaches a population of approximately 10^6 CFU/g in a person, it can produce an enterotoxin responsible for severe symptoms such as vomiting, a weak pulse, abdominal cramping, shallow respiration, and nausea (Aljasir & D'Amico, 2020; Rubab *et al.* 2018).

Staphylococcal food poisoning is often associated with protein-rich foods, such as meat and dairy products (Lin *et al.* 2018). Dairy products are susceptible to microbiological contamination due to their nutritional composition, pH, and high moisture content. Cheese, particularly fresh and minimally ripened handmade varieties made from unpasteurized milk, is regarded as a potential carrier of foodborne disease. The Costeño Cheese (CC) is an artisanal raw milk cheese manufactured by enzymatic coagulation without the addition of starter cultures, and it is highly consumed in the Colombian Caribbean region. During its fermentation, undesirable microbial species can proliferate. Among these pathogens, *S. aureus* is the most common contaminant in artisanal cheese (Valík *et al.* 2018).

In recent times, there has been a growing interest in the use of natural polymers to create active films, which are produced by incorporating natural additives with various features such as antioxidant or antimicrobial properties. The literature suggests the use of plant extracts (Lotha *et al.* 2018) to eliminate foodborne pathogens. Due to the vast diversity of plant species, there is a constant demand for exploring new sources of substances with antibacterial and antifungal properties. Natural additives can be extracted from numerous plant origins. *Schinopsis balansae*, commonly known as quebracho, has not been previously employed in active film manufacturing. However, Salvat *et al.* (2001) reported that the extract of *S. balansae* exhibited a weak but significant bacteriostatic activity.

Predictive microbiology is a scientific discipline focused on study microbial behavior in food environments, and it involves the development of mathematical models that can be used to predict food poisoning under specific conditions (Cai *et al.* 2023). Predictive models have been developed employing data obtained from pure culture experiments in microbiological media. These models are employed to provide reliable predictions of microbial growth in food matrices in response to environmental conditions such as temperature, pH and water activity (Ding *et al.* 2011). Predictive models can be valuable for risk assessment, especially estimating changes in the bacterial population in a food chain. Moreover, the microbial prediction is considered an interesting alternative to prevent food poisoning. Different validation indices such as root mean square error (RMSE), accuracy factor (Af) and bias (Bf) have been proposed to evaluate the quality fit of one model (Geitenes *et al.* 2013). There are primary and secondary models widely used in predictive microbiology.

Primary models describe variations in bacterial cells as a function of time, while secondary models pertain to the responses of growth parameters resulting from fluctuations in environmental conditions. Mathematical models describing the effect of temperature on *S. aureus* growth have been published (Kim *et al.* 2018). However, the impact of active film manufactured using an aqueous extract of *S. balansae* on the growth of *S. aureus* in cheese has not yet been reported. Therefore, the purpose of this study is to develop and validate a secondary model for *S. aureus* growth in cheese packaged with active film.

MATERIAL AND METHODS

Bacterial strains and growth conditions. *S. aureus* was obtained from the food microbiology laboratory at the Universidad de Cartagena, Colombia. A 1 mL aliquot of the culture was mixed with 10 mL of tryptic soy broth (TSB) and incubated at 37 °C for 24 hours to activate the inoculum. Subsequently, a 1 mL portion of the activated strain underwent a second activation in TSB (at 37 °C for 24 hours) to achieve a viable bacterial population of approximately 2 log CFU/mL.

Steam distillation system. The distillation process for obtaining the aqueous extract of *S. balansae* was carried out through a system composed by a volumetric flask container (VFC) as a heat source to generate steam by boiling water. The VFC is linked to another spherical glass container (SGC) with two entrances, the upper entrance receives the VFC, and the bottom entrance is coupled to a glass condenser. A glass collector recovers the aqueous extract from vegetal material into the condenser. The leaves (30 g) of *S. balansae* were placed in the SGC flask and water in the VFC. Finally, water is heated, and the vapor passes through the leaves in the SGC dragging active principles that then are condensed and recovered as aqueous extract in the glass collector (González-Cuello *et al.* 2018).

Gas chromatography - mass spectrometry. 50 µL of aqueous extract of *S. balansae* along with 450 µL of dichloromethane were injected into a gas chromatograph (Agilent Technologies 7890A), coupled to a mass spectrometer (Agilent Technologies 5975C) and HP Chem Station data system using a DB-5MS capillary column (J & W Scientific, Folsom, USA) with a stationary phase of 5% phenylpolymethylsiloxane (60 m x 0.25 mm, D.I. x 0.25 µm) for the separation. Oven temperature ranged from 45 °C (5 min) to 150 °C (2 min) with ramps of 4 °C/min.

Edible film formation. 0.5 % (w/v) of low acyl gellan (LAG) (Modernist Pantry. EEUU) was directly dissolved in deionized water at 80 °C. Once it was completely dissolved, a plasticizer (8 % w/v) was added. Subsequently, the dissolved LAG solution was air-conditioned and 10 mL of aqueous extract of *S. balansae* was incorporated. Then, the dispersions were spread over Petri dishes and dried for 48 h at 34 °C. Dried films were peeled intact from the casting surface.

Inoculation and enumeration of *S. aureus*. Samples of CC were purchased from a local supermarket (Cartagena, Colombia). A total of 5 kg of cheese was cut into 11 g portions. Then, 100 μL of the *S. aureus* (2 log CFU/g) were uniformly added to the cheese surface employing a micropipette. Then these samples (11 g) were packaged with edible film in different trays and stored at different temperatures (6, 12, 18 and 21 °C) during various days. Likewise, blank samples (cheese without covering) were used as a control. For obtaining each growth curve, the inoculated samples at each temperature were mixed with 99 mL of peptone water and homogenized in a stomacher. *S. aureus* was enumerated on Baird–Parker agar (Merck, Darmstadt, Germany) after 48 h incubation at 37 °C. The results were expressed as log CFU/g. For each storage temperature at least two biological replicates were carried out (two growth curves obtained from each temperature).

Primary modeling. The experimental data of *S. aureus* in various packaged CC was fitted to the Huang model (Huang, 2013) (Equation 1).

$$Y(t) = y_0 + y_{max} - \ln\{e^{y_0} + [e^{y_{max}} - e^{y_0}]e^{-\mu_{max}B(t)}\}$$

$$B(t) = t + \frac{1}{\alpha} \ln \frac{1 + e^{-\alpha(t-\lambda)}}{1 + e^{\alpha\lambda}}$$

equation 1

Where y_0 , y_{max} and $y(t)$ are the bacterial concentrations at the initial, maximum, and at time t respectively; μ_{max} represents the maximum growth rate [(log CFU/g)/h], and λ represents the lag-phase.

Secondary modeling. The maximum growth rates (μ_{max}) obtained from the Huang model were modelled as a function of temperature using the polynomial model (Equation 2).

$$\log(x) = a + b * T + c * T^2$$

equation 2

Where, $\log x$ is the logarithm of the growth rate; a , b , and c are constants and T is temperature.

Validation of predictive models. The accuracy factor (Af), bias factor (Bf) and root mean square error (RMSE) were used in this study to evaluate the accuracy of the predicted models. The equations 3 and 4 for Af, and the equation 5 for RMSE.

$$A_f = 10^{(\sum | \log \mu^{pred} / \log \mu^{obs} | / n)}$$

equation 3

$$B_f = 10^{(\sum \log(\frac{\mu^{obs}}{\mu^{pred}}) / n)}$$

equation 4

$$RMSE = \frac{\sum (obs - pred)^2}{n}$$

equation 5

where, the variable factors obs, pred, and n are the observed values, predicted values, and repetition number of the observed data, respectively.

Statistical analysis. The results for growth parameters are expressed as means plus/minus standard deviation. Microbial counts were expressed as log values for statistical analysis. The influence of the active film application on μ_{max} was evaluated through an analysis of variance (ANOVA-one way) along with post hoc tests (LSD test) were employed to determine the homogeneous groups ($p < 0.05$) using SPSS software version 23.0.

RESULTS AND DISCUSSION

Gas chromatography - mass spectrometry (GC/MS). Leaves of *S. balansae* were submitted to steam distillation. GC/MS analyses were performed on the aqueous extract displaying the presence of 4 compounds (69.71 %). Table 1 shows the principals compounds identified, the retention time and the concentration area. The major compounds were: 9,12,15-octa catrienoic acid (30.75 %), followed by 2,4,6-cycloheptatrienone (20.48 %), pyrocatechol (12.63 %) and 3-amino-2-phenazinol (5.85 %).

Table 1. Chemical composition of aqueous extract of *Schinopsis balansae*.

Compounds	Retention time (min)	Concentration area (%)
2,4,6-cycloheptatrienone	6.70	20.48
3-amino-2-phenazinol	18.49	5.85
9,12,15 - octa catrienoic acid	29.87	30.75
Pyrocatechol	34.75	12.63

On the other hand, Venter *et al.* (2012) reported that extracts of *Schinopsis lorentzii* and *S. balansae* contained complex compounds, with pyrocatechol being the primary constituent of the aqueous extract. Pasch *et al.* (2001) also indicated that quebracho had a similar composition, primarily based on combinations of resorcinol, catechol, and pyrogallol building blocks. Villanueva & Marrugo (2014) reported that 9,12,15-octadecatrienoic acid has anti-inflammatory and antimicrobial properties, thus corroborating the information provided by Saraiva *et al.* (2013), where it was found that the *Schinopsis* genus exhibits antimicrobial properties against *S. aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Pseudomonas aeruginosa*. Therefore, our results can contribute to the control of the growth of pathogenic bacteria. However, further investigation needs to be performed to confirm these hypotheses.

Fitting Huang model. The suitability of models used for bacterial prediction depends on various factors, such as the type of microorganisms, the food, and environmental conditions. In the present study, the primary predictive model developed by Huang was applied to *S. aureus* growth on cheese covered with active films, as illustrated in figure 1. The results depicted in Figure 1 indicate that the initial concentration of *S. aureus* for all samples was approximately 2 log CFU/g. The growth pattern of *S. aureus* in cheese was similar to that reported in high-protein foods such as milk, meat, and egg products at various storage temperatures (Choi *et al.* 2019), exhibiting the three initial growth phases (lag phase, logarithmic phase, and stationary phase).

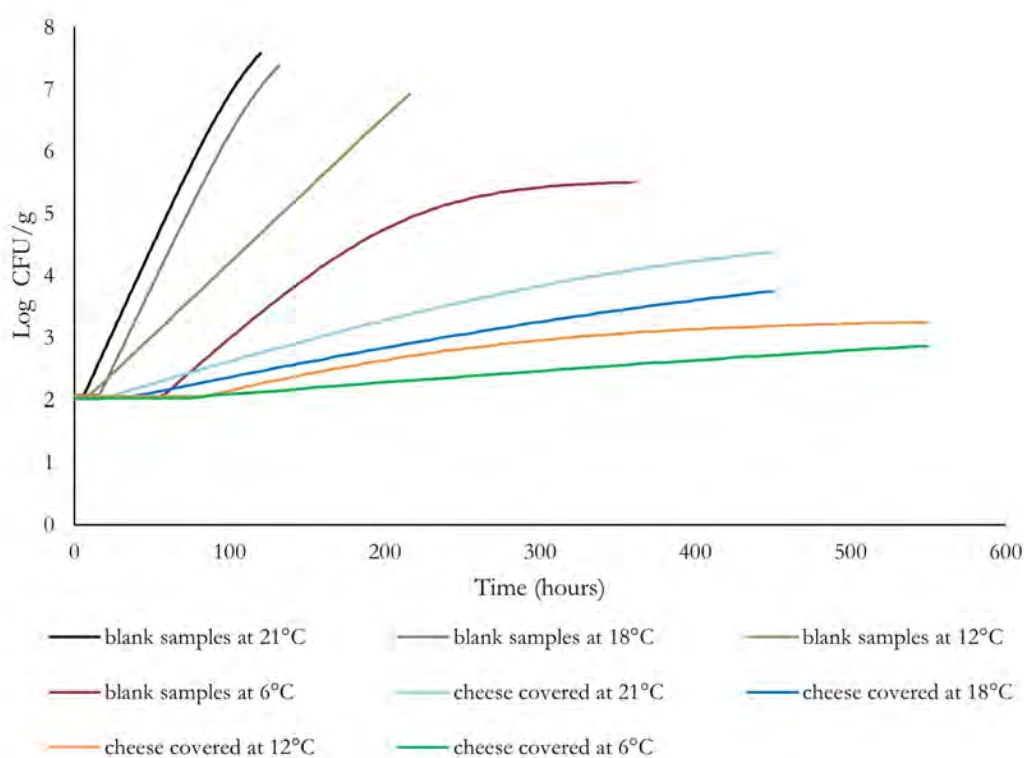


Figure 1. Growth of *Staphylococcus aureus* in costeño cheese with or without active film of *Schinopsis balansae* and stored at different temperatures.

The *S. aureus* population tended to increase at all temperatures (6 to 21 °C) in the blank samples (without covering). The rate of increase was reduced when active films were applied to cover the cheese samples. Therefore, the *S. aureus* population was lower in the cheese samples covered with active films than in those that were not covered, as shown in figure 1. These results indicate that *S. aureus* growth was significantly affected by both temperature changes and the application of active films. This behavior may be attributed to the presence of antimicrobial compounds in the aqueous extract of *S. balansae*. Therefore, the inhibition of *S. aureus* growth in the covered cheese is due to the antimicrobial compounds present in the aqueous extract.

The Huang model was adjusted to the experimental data to determine the growth parameters, such as initial cell count (Y_0), maximum growth rate (μ_{max}), lag phase (λ), and maximum cell population (Y_{max}), as shown in table 2. The Y_0 values did not change significantly ($p > 0.05$), indicating that this parameter may be controlled when the bacteria are incorporated into the food system. Values of Y_0 were similar for all analyzed temperatures, ranging between 2.010 and 2.075 log CFU/g. In other words, the application of the active film does not affect the initial count of *S. aureus*. The initial count of *S. aureus* is a critical safety indicator in artisanal dairy production, especially at the beginning of milk and young cheese fermentation (AÇai *et al.* 2014).

Table 2. Growth parameters of *Staphylococcus aureus* in costeño cheese with or without active film of *Schinopsis balansae* at different temperatures using the Huang model

Temperature (°C)	Parameters	blank sample	Cheese covered with active film
21	Y_0 (log CFU/g)	2.030 ± 0.11 ^a	2.010 ± 0.15 ^a
	λ (h)	5.368 ± 0.06 ^a	16.154 ± 0.32 ^b
	Y_{max} (log CFU/g)	8.210 ± 0.04 ^a	4.755 ± 0.08 ^b
	μ (h ⁻¹)	0.055 ± 0.07 ^a	0.008 ± 0.00 ^b
18	Y_0 (log CFU/g)	2.075 ± 0.05 ^a	2.055 ± 0.10 ^a
	λ (h)	7.013 ± 0.33 ^a	38.149 ± 0.40 ^b
	Y_{max} (log CFU/g)	8.006 ± 0.38 ^a	4.396 ± 0.04 ^b
	μ (min ⁻¹)	0.052 ± 0.21 ^a	0.007 ± 0.00 ^b
12	Y_0 (log CFU/g)	2.010 ± 0.00 ^a	2.057 ± 0.02 ^a
	λ (h)	16.202 ± 0.41 ^a	71.803 ± 0.63 ^b
	Y_{max} (log CFU/g)	7.174 ± 0.47 ^a	3.303 ± 0.04 ^b
	μ (h ⁻¹)	0.024 ± 0.12 ^a	0.006 ± 0.03 ^b
6	Y_0 (log CFU/g)	2.050 ± 0.15 ^a	2.033 ± 0.12 ^a
	λ (h)	56.429 ± 0.51 ^a	84.139 ± 0.71 ^b
	Y_{max} (log CFU/g)	5.538 ± 0.01 ^a	3.819 ± 0.25 ^b
	μ (h ⁻¹)	0.020 ± 0.22 ^a	0.002 ± 0.01 ^b

Rows with no common letter showed a statistically significant difference ($p < 0.05$) based on LSD test.

The lag phase (λ) represents the time necessary for cells to adapt to new environmental conditions. λ exhibited a tendency to decrease as the temperature increased in all samples. Higher values were observed in CC samples packaged with active film and stored at 6°C (84.139 h), 12 °C (71.803 h), 18 °C (38.149 h), and 21 °C (16.154 h) compared to cheese samples without covering, which were stored at 6 °C (56.429 h), 12°C (16.202 h), 18 °C (7.013 h), and 21 °C (5.368 h). The results indicate that the λ in samples covered with active film was longer than in the blank samples, confirming the inhibitory effect of the aqueous extract. Therefore, it seems that both the application of active film and low temperatures are required to increase the λ of *S. aureus* in CC samples. Similar results were reported by Lin *et al.* (2018), who found that λ of *S. aureus* in cooked pork sausage containing preservatives such as sodium nitrite (6.103 h), nisin (7.204 h), potassium sorbate (7.347 h) and sodium lactate (18.255 h) was longer than samples without preservatives (3.942 h). On the contrary, Cai *et al.* (2023) calculated λ values ranging from 0.803 to 3.941 h using the primary Gompertz model for the growth of *S. aureus* in acid-curd cheese. However, it must be highlighted that these values were obtained at higher temperatures, ranging from 32 to 44 °C, and without the use of antimicrobial substances.

Another important parameter is μ_{max} , which was significantly ($p < 0.05$) modified by the presence of the active film. In blank samples, the highest values were obtained at 21 °C (0.055 h⁻¹), followed by those samples stored at 18 °C (0.052 h⁻¹), while the lowest values were found at 6 °C (0.023 h⁻¹) and 12 °C (0.024 h⁻¹). These results

align with those reported by Gomes de Araújo *et al.* (2017), who observed μ_{max} values ranging from 0.003 to 0.048 h⁻¹ for *S. aureus* when cultured on fresh and minimally ripened handmade cheeses made from raw milk. On the other hand, Cai *et al.* (2023) reported the following μ_{max} values: 0.688 (at 44 °C), 1.011 (at 32 °C), 1.059 (at 40 °C), 1.256 (at 34 °C), and 1.401 log₁₀ CFU/h (at 36 °C) using the modified Gompertz model for *S. aureus* growth in acid-curd cheese. According to the Food and Drug Administration (FDA, 2022), the optimal growth temperature for *S. aureus* is 35 °C. The experimental results verified that fermentation temperature is the most important influencing factor for μ_{max} .

When the active film was applied to CC samples, the μ_{max} values were as follows: at 21 °C (0.008 h⁻¹), 18 °C (0.007 h⁻¹), 12°C (0.006 h⁻¹) and 6 °C (0.008 h⁻¹). The μ_{max} increased when the temperature increased, which is consistent with previous reports (Gomes de Araújo *et al.* 2017) indicating that temperature as a major environmental factor affecting microbial growth kinetics in foods. Thus, the non-application of active film along with mild temperatures, may lead to rapid microbial growth. The results of this study suggest that the Huang model can well fit the growth of *S. aureus* in the fermentation stage.

The last parameter calculated by the Huang model was the maximum bacterial concentration reached by *S. aureus* at the end of the logarithmic phase (Y_{max}). This parameter is relevant considering that some foodborne bacteria produce toxins when they reach a certain bacterial population.

Covering the CC with active film of *S. balansae* significantly affects ($p < 0.05$) Y_{max} of *S. aureus*. In general terms, Y_{max} values were higher in blank of CC samples (ranging from 8.210 to 5.538 log CFU/g) compared to the samples covered with active film (ranging from 4.755 to 3.819 log CFU/g). Cai *et al.* (2023) found Y_{max} values between 3.935 and 6.257 log CFU/g for *S. aureus* growing over a temperature range from 32 to 44 °C without the addition of antimicrobial compounds. This difference may be due to differences in cheese production, fermentation conditions, and types of *S. aureus*. Based on the above-mentioned findings, it can be concluded that the aqueous extract of *S. balansae* used as active film can significantly inhibit *S. aureus* in CC.

Secondary model for *S. aureus*. The secondary model equation was developed using the μ_{max} values calculated from the Huang model. A polynomial equation was applied to illustrate the effect of storage temperature and the application of active film on *S. aureus* growth. The μ_{max} changes in CC samples according to temperature and packaging conditions are illustrated in figure 2. The μ_{max} values were directly proportional to the storage temperature. However, this increase was less significant ($p < 0.05$) when active films were used to cover the CC.

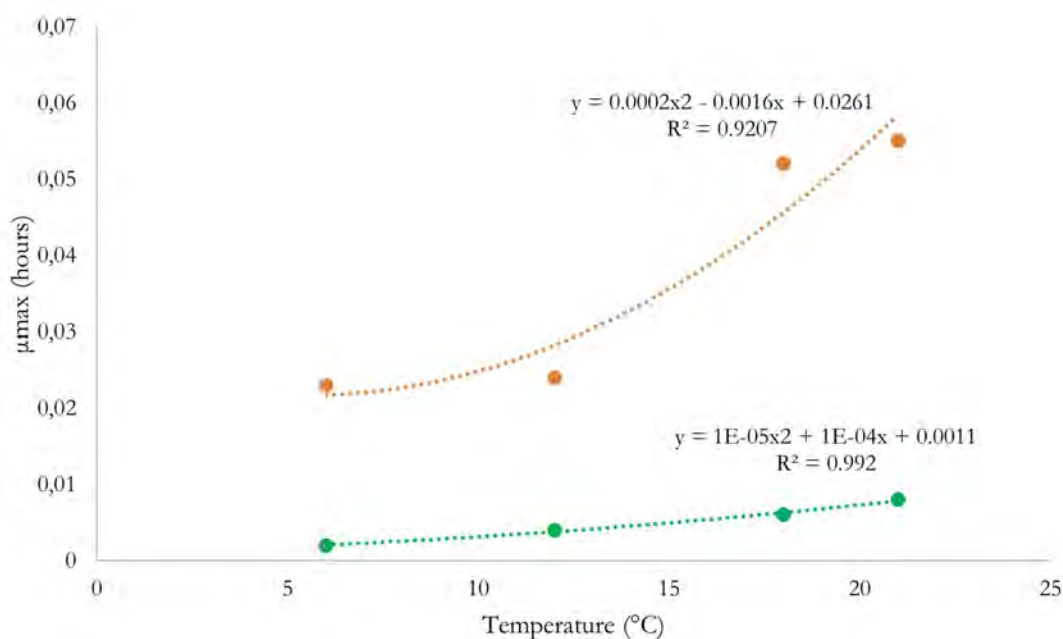


Figure 2. Effect of temperature on maximum growth rates of *Staphylococcus aureus* in costeño cheese calculated from Huang model. Green line covered with *Schinopsis balansae* film, orange line without film.

Considering that most secondary models are constructed under real and extreme storage temperature conditions, it is important to conduct a validation process to assess their prediction accuracy. Validation indices such as Af and Bf have been proposed to validate polynomial models (Baranyi *et al.* 1999; López *et al.* 2006). Af represents the sum of absolute differences between predicted and observed data of one parameter measured in the secondary model. Bf is the relative deviation among predicted and observed values and it is used to determine whether the model over- or under-predicts bacterial growth. For example, if the value calculated for Bf is outside the range (0.7 – 1.5), the model is considered unsuitable; whereby, a perfect agreement between predictions and observations indicates values of Af and Bf equal to 1.0 (Choi *et al.* 2019; Ross, 1999). The last parameter proposed is RMSE, which compares the observed values in the experiment with those predicted values calculated in the predictive bacterial model at the same temperature. The closer the calculated value is to zero, the more acceptable is the model.

The validation process of the secondary model for the growth of *S. aureus* is summarized in table 3. These values confirmed the ability of the polynomial model to predict the μ_{max} of *S. aureus* during milk fermentation, as Bf values were close to 1.0, indicating that the predicted value is good. Af is also an important index of the model's prediction performance that Bf cannot comprehensively evaluate. The closer Af is to 1, the better the model is. In addition, Braun & Sutherland (2003) proposed that Af values between 1.1 and 1.9 can be recognized. The results reported in this study are like those published by Yu *et al.* (2020), who reported values of Af (1.06 – 1.13), Bf (0.91 – 1.00) and RMSE (0.00 – 0.68) in the development and validation of secondary models for growth factors of *S. aureus* in raw beef under various packaging conditions. On the other hand, Cai *et al.* (2023) validated a secondary model based on artificial neural networks using the same indices (Af, Bf, and RMSE) and obtained the following values: Af = 1.064, Bf = 1.037 and, RMSE = 0.067.

Table 3. Mathematical validation of the secondary model to describe the response of *Staphylococcus aureus* in Colombian costeño cheese, with or without active film of *Schinopsis balansae*

Polynomial model	Af	Bf	MSE
$\log(\mu) = 0.0002x^2 - 0.0016x + 0.0261$ Blank samples	1.280	1.280	0.017
$\log(\mu) = 1E-05x^2 + 1E-04x + 0.0011$ Cheese covered with active film	1.016	0.983	0.000

The result reported in the current research regarding the validation of secondary model is acceptable for describing the growth of *S. aureus* in CC covered with an active film of *S. balansae*. It should be noted that real CC samples were used instead of laboratory culture media; hence, the obtained results could be considered more reliable for practical applications. Furthermore, when microbial growth is estimated in artificial microbiological media, models tend to overestimate predictions, which may be overly conservative for some practical cases (Pérez & Valero, 2013).

In this study, a secondary model using a polynomial equation was developed to describe the response of *S. aureus* on cheese covered with an active film of *S. balansae*. These films were manufactured using an aqueous extract of *S. balansae*. The main compounds found in the aqueous extract of *S. balansae* were 9,12,15-octatrienoic acid, 2,4,6-cycloheptatrienone, and pyrocatechol, which may exhibit bacteriostatic activity against *S. aureus*.

The active film had a significant influence on growth parameters such as μ_{max} , λ , and Y_{max} . The secondary model had Af and Bf values close to one, indicating that polynomial models can effectively predict *S. aureus* growth in CC covered with an active film. Therefore, the model may be valid for preventing the growth of *S. aureus* capable of producing enterotoxins responsible for food poisoning. Naturally fermented matrices, such as dairy products, are the most suitable environments in which these models can be applied.

Acknowledgments. To the Universidad de Cartagena for providing the spaces for the development of this experiment. **Conflict of interests:** The manuscript was prepared and reviewed with the participation of all authors, who declare that there is no conflict of interest that would affect the validity of the results presented. **Authors contribution:** Project administration by Rafael Gonzalez-Cuello. Investigation and writing review by Leidy Mendoza-Nova. Methodology by Fidel Guardo-Palomino and Leidy Mendoza-Nova. Conceptualization and supervision by Rafael Gonzalez-Cuello. Formal analysis by Fidel Guardo-Palomino and Leidy Mendoza-Nova.

REFERENCES

1. AÇAÍ, P.; VALÍK, L.; MEDVEĐOVÁ, A.; STUDENIČOVÁ A. 2014. *Staphylococcus aureus* in unripened ewes' lump cheese. Part 1: Exposure assessment after first 24 h of fermentation. Journal Food and Nutrition Research. 53:143-151.
2. ALJASIR, S.F.; D'AMICO, D.J. 2020. The effect of protective cultures on *Staphylococcus aureus* growth and enterotoxin production. Food Microbiology. 91:103541. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103541>
3. BARANYI, J.; PIN, C.; ROSS, T. 1999. Validating and comparing predictive models. International Journal Food Microbiology. 48:159-166. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(99\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(99)00035-5)
4. BRAUN, P.; SUTHERLAND, J.P. 2003. Predictive modelling of growth and enzyme production and activity by a cocktail of *Pseudomonas* spp., *Shewanella putrefaciens* and *Acinetobacter* sp. International Journal of Food Microbiology. 86:271-282. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00564-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00564-0)
5. CAI, H.; PEI, S.; ZHANG, Y.; LIU, R.; LU, S.; LI, B.; DONG, J.; WANG, Q.; ZHU, X.; JI, H. 2023. Construction of a dynamic model to predict the growth of *Staphylococcus aureus* and the formation of enterotoxins during Kazak cheese maturation. Food Microbiology. 112:104234. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2023.104234>
6. CHOI, W.S.; SON, N.; CHO, J.I.; JOO, I.S.; HAN, J.A.; KWAK, H.S.; HONG, J.H.; SUH, S.H. 2019. Predictive model of *Staphylococcus aureus* growth on egg products. Food Science and Biotechnology. 28:913-922. <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-018-0529-4>
7. DING, T.; SHIM, Y.H.; KIM, H.N.; HA, S.D.; CHUNG, M.S.; HWANG, I.G.; OH, D.H. 2011. Development of predictive model for the growth of *Staphylococcus aureus* in Kimbab. Food Science and Biotechnology. 20:471-476. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0065-y>
8. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, FDA. 2022. Bad bug book: Handbook of foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins. Segunda edición. US Food and Drug Administration Silver Spring. Disponible desde Internet en: <https://www.fda.gov/food/foodborne-pathogens/bad-bug-book-second-edition>
9. GEITENES, S.; BATISTA DE OLIVEIRA, M.F.; KALSCHNE, D.L.; PEREIRA SARMENTO, C.M. 2013. Modelagem do crescimento de bactérias lácticas e análise microbiológica em

- apresentado e presunto cozido fatiados e embalados à vácuo. *Revista Ciências Exatas e Naturais*. 15:113-133.
10. GOMES DE ARAÚJO, V.; OLIVEIRA ARRUDA, M.D.; DUARTE, F.N.D.; DE SOUSA, J.M.B.; LIMA, M.D.C.; DA CONCEICAO, M.L.; SCHAFFNER, D. W.; LEITE DE SOUZA, E. 2017. Predicting and modelling the growth of potentially pathogenic bacteria in coalho cheese. *Journal of Food Protection*. 80(7):1172-1181. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-16-523>
 11. GONZÁLEZ-CUELLO, R.; GUARDO-PALOMINO, F.; SÁNCHEZ-CASTILLA, A.; ALVEAR-PICÓN, M.; MARSIGLIA-FUENTES, R. 2018. Changes of the dynamic properties of films based on carrageenan by microcapsules incorporation. *Contemporary Engineering Sciences*. 11:689-696. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.8266>
 12. HUANG, L.H. 2013. IPMP 2013 A comprehensive data analysis tool of predictive microbiology. *International Journal of Food Microbiology*. 171:100-107. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.019>
 13. KIM, Y.H.; NAM, G.W.; YOON, K.S. 2018. Growth and survival of *Staphylococcus aureus* on beef jerky as a function of temperature. *Journal of Food Safety*. 38:12495. <https://doi.org/10.1111/jfs.12495>
 14. LIN, L.; YUN, H.; WU, Y.; CHEN, M.; OU, J.; YAN, L. 2018. Assessment of the inhibitory effects of sodium nitrite, nisin, potassium sorbate, and sodium lactate on *Staphylococcus aureus* growth and staphylococcal enterotoxin A production in cooked pork sausage using a predictive growth model. *Food Science and Human Wellness*. 7:83-90. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2017.12.003>
 15. LÓPEZ, F.N.; QUINTANA, M.C.; FERNÁNDEZ, A.G. 2006. The use of a D-optimal design to model the effects of temperature, NaCl, type and acid concentration on *Lactobacillus pentosus* IGLAC01. *Journal of Applied Microbiology*. 101:913-926. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02979.x>
 16. LOTHAN, R.; SHAMPASAD, B.; SUNDARAMOORTHY, N.; GANAPATHY, R.; NAGARAJAN, S.; SIVASUBRAMANIAN, A. 2018. Zero valent silver nanoparticles capped with capsaicinoids containing *Capsicum annuum* extract, exert potent anti-biofilm effect on food borne pathogen *Staphylococcus aureus* and curtail planktonic growth on a zebrafish infection model. *Microbial Pathogenesis*. 124:291-300. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.053>
 17. PASCH, H.; PIZZI, A.; RODE, K. 2001. MALDI-TOF mass spectrometry of polyflavonoid tannins. *Polymer*. 42:7531-7539. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00216-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00216-6)
 18. PÉREZ, F.; VALERO, A. 2013. Predictive microbiology in foods. Ed. Springer New York, NY. p.128
 19. ROSS, T. 1999. Predictive food microbiology models in the meat industry. Meat and livestock Australia Sydney, Australia. p.196.
 20. RUBAB, M.; SHAHBAZ, H.M.; OLAIMAT, A.N.; OH, D.H. 2018. Biosensors for rapid and sensitive detection of *Staphylococcus aureus* in food. *Biosensors and Bioelectronics*. 105:49-57. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.01.023>
 21. SALVAT, A.; ANTONACCI, L.; FORTUNATO, H.; SUAREZ, Y.; GODOY, M. 2001. Screening of some plants from Northern Argentina for their antimicrobial activity. *Letters in Applied Microbiology*. 32:293-297. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765x.2001.00923.x>
 22. SARAIVA, A.M.; SARAIVA, C.L.; CORDEIRO, R.P.; SOARES, R.R.; XAVIER, H.S.; CAETANO, N. 2013. Atividade antimicrobiana e sinérgica das frações das folhas de *Schinopsis brasiliensis* Engl. frente a clones multirresistentes de *Staphylococcus aureus*. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*. 15:199-207. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000200006>
 23. VALÍK, L.; AČAI, P.; MEDVED'OVÁ, A. 2018. Application of competitive models in predicting the simultaneous growth of *Staphylococcus aureus* and lactic acid bacteria in milk. *Food Control*. 87:145-152. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.018>
 24. VENTER, P.B.; SISA, M.; VANDERMERWE, M.J.; BONNET, S.L.; VAN DER WESTHUIZEN, J.H. 2012. Analysis of commercial proanthocyanidins. Part 1: The chemical composition of quebracho (*Schinopsis lorentzii* and *Schinopsis balansae*) heartwood extract. *Phytochemistry*. 73:95-105. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.10.006>
 25. VILLANUEVA, D.; MARRUGO, J. 2014. Efectos de los ácidos grasos de la dieta y sus metabolitos en células de la respuesta alérgica. *Revista Médica Sanitas*. 17:212-230.
 26. YU, H.H.; SONG, Y.J.; KIM, Y.M.; LEE, H.Y.; CHOI, Y.S.; LEE, N.K.; PAIK, H.D. 2020. Predictive model of growth kinetics for *Staphylococcus aureus* in raw beef under various packaging systems. *Meat Science*. 165:108108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108108>

Estudio químico del aceite y torta de semillas de *Crescentia cujete*: reporte de caso

Chemical study of *Crescentia cujete* oil and seed cake: Case report

Jennifer Lafont-Mendoza^{1*} ; Amelia Espitia-Arrieta¹ ; Francisco Torres-Hoyos¹ 

¹Universidad de Córdoba. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: jenniferlafont@correo.unicordoba.edu.co; ameliaespitia@correo.unicordoba.edu.co; ftorres@correo.unicordoba.edu.co

*autor de correspondencia: jenniferlafont@correo.unicordoba.edu.co

Cómo citar: Lafont-Mendoza, J.; Espitia-Arrieta, A.; Torres-Hoyos, F. 2023. Estudio químico del aceite y torta de semillas de *Crescentia cujete*: reporte de caso. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2132. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2132>

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

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

Recibido: octubre 29 de 2021

Aceptado: septiembre 15 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

El árbol de totumo *Crescentia cujete* L. crece en la Costa Atlántica colombiana y sus estudios se han orientado al fruto, tronco y hojas, excepto las semillas consideradas desecho. El objetivo de este trabajo fue determinar la composición química del aceite y torta de las semillas del totumo. Se recolectaron frutos maduros, se sacaron las semillas y se extrajo el aceite, mediante prensado y solventes. A estos aceites se le midieron propiedades fisicoquímicas y se determinó la composición química, por HPLC. A la torta se le realizó análisis proximal. El método de extracción con mayor rendimiento fue el del solvente. El aceite demostró estabilidad y alta resistencia a la oxidación; su composición química presentó el 75 % de ácidos grasos insaturados y el 24 % saturados. El análisis proximal reveló alto valor nutricional. El aceite de las semillas y su torta pueden ser aprovechables en la industria alimentaria.

Palabras clave: Aceite vegetal; Análisis proximal; Propiedades fisicoquímicas; Recuperación de aceite; Subproducto.

ABSTRACT

The calabash tree *Crescentia cujete* L. grows on the Colombian Atlantic Coast, its studies have focused on the fruit, trunk, and leaves, except for the seeds considered waste. The purpose of this work was to determine the chemical composition of the oil and cake of the seeds of calabash tree. Ripe fruits were collected, seeds were removed, and the oil was extracted by pressing and solvent methods. Physicochemical properties were measured for these oils and the chemical composition was determined by HPLC. The cake underwent proximal analysis. The extraction method with the

highest yield was the solvent. The oil demonstrated stability and high resistance to oxidation; its chemical composition presented 75 % unsaturated fatty acids and 24 % saturated. The proximal analysis revealed high nutritional value. The oil from the seeds and their cake can be used in the food industry.

Keywords: By-product; Physicochemical Properties; Proximal analysis; Oil recovery; Vegetal oil.

INTRODUCCIÓN

El árbol de *Crescentia cujete* L. (Bignoniaceae) crece en zonas tropicales de América y se cultiva desde México hasta el sur del continente (Moreira *et al.* 2017; Olaniyi *et al.* 2018). En Colombia, se conoce como totumo y, en otros países, como calabazo, mate, tápara, pilche, güira y cuya (Bernal *et al.* 2006). Del género *Crescentia* se reporta la caracterización fisicoquímica de las semillas, análisis proximal, minerales y ácidos grasos de la especie *C. alata*, (Corrales *et al.* 2017).

Para el fruto de la especie *C. cujete*, se reporta la composición fisicoquímica de la pulpa (Rivera-Mondragón *et al.* 2020), del epicarpio (Espitia-Baena *et al.* 2011) y de las semillas (Paladines *et al.* 2017); además, Monsalve *et al.* (2017) reportaron el análisis del biodiesel obtenido a partir de su aceite. A la fecha, se desconoce el análisis proximal de la torta.

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la composición química del aceite de semillas de *C. cujete*, las propiedades fisicoquímicas y el análisis proximal de la torta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestra. Los árboles de totumo seleccionados para la colección de frutos fueron recolectados en las veredas de Martínez y Mateo Gómez, pertenecientes al municipio de Cereté, Córdoba, cuyas condiciones de crecimiento fueron de alta luminosidad, con temperatura aproximada de 34°C, durante la mayor parte del año; terreno arenoso ubicado en zona baja, los cuales, fueron resistentes

en épocas de sequía e inundaciones. Los frutos maduros de *C. cujete* fueron cortados a la mitad (Figura 1a) y extraídas sus semillas (Figura 1b); las semillas, se lavaron y secaron mediante radiación solar durante tres días; posteriormente, fueron molidas, empleando un molino de rodillos hasta obtener tamaños de partículas menores de 2500 μm ; luego, se almacenaron al vacío en bolsas plásticas con cierre hermético Ziploc®, se rotularon y se guardaron en el laboratorio, a una temperatura de 20 °C.

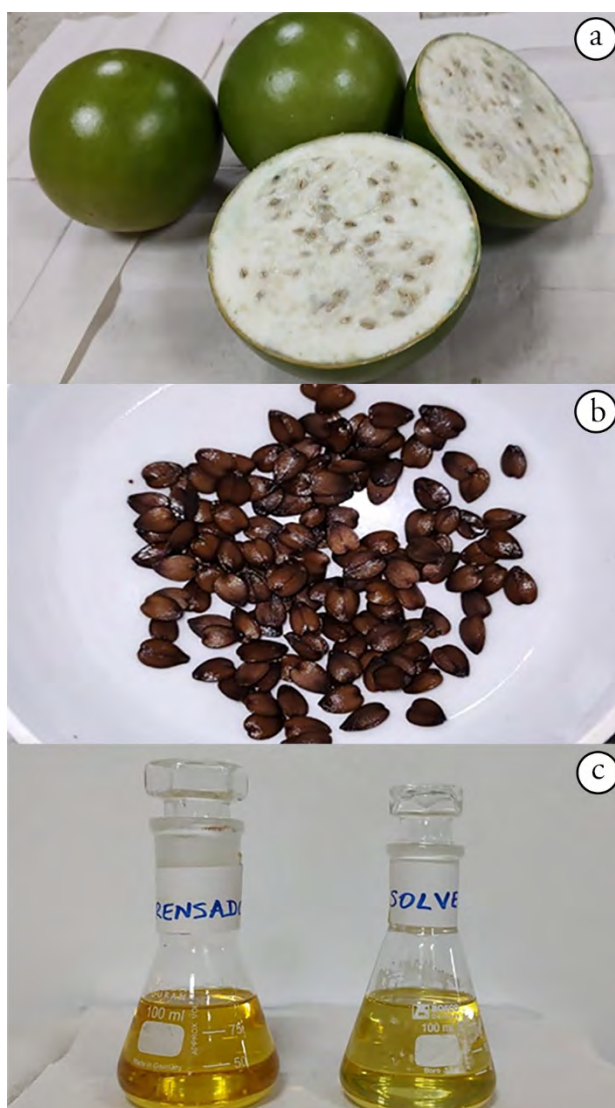


Figura 1. Totumo *Crescentia cujete*. a) Fruto y pulpa; b) semillas; c) aceite extraído método de prensado y método de solvente.

Extracción del aceite. Se realizó mediante dos métodos prensado y solvente. Para la extracción por el método de prensado en frío (menos de 40 °C), la muestra fue presionada usando un gato hidráulico (modelo SKU: TE-098 con fuerza de compresión de 4 toneladas), hasta que el aceite salió; fue recogido y medido su volumen; la torta residual fue almacenada para realizar el análisis proximal respectivo (Pascual-Chagman *et al.* 2021). Para la extracción por el método

de solvente, se utilizó un equipo de soxhlet, se agregó la semilla triturada en un cartucho poroso que se ubicó en el dispositivo de extracción del soxhlet, se empleó el hexano como solvente, sometiéndolo a reflujo durante tres horas; luego, la mezcla aceite-solvente fue rotoevaporada para separar el solvente y obtener el aceite. Los aceites obtenidos fueron desgomados (Yusuf, 2018).

Propiedades fisicoquímicas del aceite. A los aceites obtenidos por los dos métodos, se le realizaron análisis fisicoquímicos, como índices de acidez, yodo, peróxido, saponificación, corrosión en lámina de cobre y humedad. El índice de acidez se determinó de acuerdo con metodología de Chukwu *et al.* (2020); el índice de yodo, empleando el método Cd 1d-1992 (AOCS, 2022); el peróxido, mediante el método Cd 8-53 (AOCS, 2003); el índice de saponificación, se midió con el método Cd 3-25 (AOCS, 2017); el análisis de Corrosión de lámina de cobre, se llevó a cabo mediante la metodología D130-10 (ASTM, 2012); para determinar la humedad, se empleó el método gravimétrico, por diferencia de peso, sometiendo la muestra de aceite, a 105 °C durante 30 minutos (Chukwu *et al.* 2020). La composición química del aceite de *C. cujete* fue analizada mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) (Tarola *et al.* 2012); para ello, se utilizó un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 Series II, Columna: ZB-624 30m x 0,53 mm x 3,5 µm; Inyección modo Split 50:1, temperatura inicial 50 °C y final 200 °C, rate: 25 °C/min.

Análisis proximal de la torta. Los siguientes análisis se realizaron siguiendo la metodología Standard de AOAC (2005): humedad por determinación gravimétrica, contenido de cenizas según el método 930.05; proteínas por el método 978.04; fibra por el método 985.29; grasa cruda por el método 930.09 y carbohidratos por el método de la diferencia.

Análisis estadístico de los datos. Los valores obtenidos en este trabajo fueron tratados mediante estadística descriptiva, hallando sus valores promedios de tres réplicas realizadas y sus desviaciones estándar, se aplicó la prueba estadística de t-student, a un nivel de significancia $p=0,05$ empleando el software Statgraphics Centurion 18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aceite de *C. cujete* obtenido por ambos métodos de extracción es de color amarillo (Figura 1c) y solo conserva las propiedades naturales de las semillas cuando se emplea el método de prensado, cuya presión aplicada a las semillas, provoca la ruptura de las células vegetales y la salida natural del aceite; este proceso físico no altera la composición química del aceite, por ello, es llamado aceite virgen. Lo contrario ocurre con el método de solvente, cuando el disolvente hexano se adiciona a la semilla, penetra en las células vegetales, facilitando la liberación de las moléculas de aceite contenida en las semillas, durante todo el proceso de extracción; este cambio químico se atribuye a la similitud entre la estructura química de hidrocarburo del disolvente hexano y las cadenas carbonadas de los ácidos grasos que forman el aceite, ocasionando la liberación de más del 90 % del aceite de las semillas, modificando sus propiedades naturales.

El porcentaje promedio de aceite extraído por el método de prensado fue de $17,36 \pm 0,90$ % y por el método de solvente $36,63 \pm 0,29$ %; el primero, muestra una eficiencia menor casi del 50 %, debido a que en el residuo de la semilla presionada (torta) quedan retenidas moléculas de aceite que no lograron salir de las células vegetales

y, en consecuencia, este porcentaje es menor. Paladines *et al.* (2017) reportaron la extracción del 31,7 % de aceite empleando el método de solvente para semillas de *C. cujete*, mientras que para la especie *C. alata*, los autores Corrales *et al.* (2017), presentaron un valor del 33 %. Se observa que el porcentaje de aceite obtenido en este trabajo por el mismo método es mayor.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite de la semilla de *C. cujete* se presentan como el porcentaje de la media \pm la desviación estándar de tres determinaciones. Se encontró que todos los valores de las propiedades medidas en el aceite extraído por prensado fueron menores a los extraídos por solvente, evidenciando que el método empleado influyó en los resultados.

Se encontró baja humedad, siendo menor para el aceite obtenido por prensado $0,338 \pm 0,008$ %, con relación al extraído por solvente $1,61 \pm 0,007$ %. El índice de acidez también es bajo en ambos aceites; por prensado, $0,338 \pm 0,008$ % y solvente, $1,610 \pm 0,007$ %, datos acordes a lo establecidos en la Norma CODEX (máximo 4) mg KOH/g para alimentos. El valor obtenido es comparable con el de Paladines *et al.* (2017), quienes reportaron un valor de $1,32 \pm 0,18$ %, para el aceite obtenido por solvente. Se encontraron diferencias en los valores de yodo en el aceite obtenido por prensado de $75,034 \pm 0,008$ meq I₂/g y por solvente, de $109,146 \pm 0,008$ meq I₂/g; este último es menor al reportado por Paladines *et al.* (2017), de $119,17 \pm 0,12$ meq I₂/g. El índice de yodo obtenido en este trabajo, por ser menor de 110 meq I₂/g, se puede clasificar como no secante, característica importante para ser utilizados en la industria lubricantes, medicamentos, jabones y plásticos. Adicionalmente, el índice de yodo obtenido en el aceite virgen de *C. cujete*, por el método de prensado, está acorde con el mayor porcentaje de ácido graso oleico, clasificado como monoinsaturado.

El índice de saponificación encontrado para el aceite extraído por prensado fue $77,940 \pm 0,014$ mg KOH/g y por solvente, $162,140 \pm 0,014$ mg KOH/g, relacionado con la longitud de las cadenas de los ácidos grasos hallados en el aceite. El índice de peróxido para el aceite extraído por prensado fue menor ($0,914 \pm 0,011$ meq O₂/Kg), con relación al de solvente, $2,614 \pm 0,013$ meq O₂/Kg; esto indica, que el aceite extraído por prensado es más estable en el tiempo y tiene menor tendencia a la oxidación y rancidez, estando acorde con la prueba de corrosión en lámina de cobre, cuyo resultado presentó menor grado de corrosión (1A) y el de solvente fue un poco mayor (1B). En la determinación de la composición química del aceite fueron identificados el 99,7 % de sus compuestos, los cuales, están formados por 75 % de ácidos grasos insaturados, 24 % saturados y <0,1 trans, como se presenta en la tabla 1. Entre los ácidos grasos insaturados el de mayor porcentaje fue el oleico 55,4 % y de los saturados, se destacó el palmítico, 14,3%. Estos resultados son comparados con los reportados por Paladines *et al.* (2017), encontrándose diferencia entre ellos, siendo también el de mayor porcentaje el oleico, 64,64 %. Estas discrepancias con los resultados de Paladines *et al.* (2017) en los porcentajes, se pueden deber a alteraciones en la biosíntesis de los ácidos grasos, originadas por las condiciones variables de sequía o humedad del suelo, donde se desarrollaron los árboles seleccionados para la colección de

semillas empleadas en este estudio. La composición química del aceite con alto porcentaje de ácidos grasos insaturados y alto oleico (omega-9) es útil para disminuir el colesterol LDL y aumentar el colesterol HDL, lo cual, contribuye a prevenir las enfermedades

cardiovasculares; por lo tanto, es benéfico para la salud humana, resaltando su importancia en la industria farmacéutica, alimentaria, cosmética y de biodiesel.

Tabla 1. Perfil de ácidos grasos del aceite del totumo *Crescentia cujete*.

Ácido graso	Relación C: doble enlace	1° medición	2° medición	Promedio
Láurico	(C12:0)	<0,1	<0,1	<0,1
Mirístico	(C14:0)	<0,1	<0,1	<0,1
Pentadecanoico	(C15:0)	<0,1	<0,1	<0,1
Palmítico	(C16:0)	14,5	14,0	14,3
Palmitoleico	(C16:1)	0,1	0,1	0,1
Heptadecanoico	(C17:0)	0,1	0,1	0,1
Estéarico	(C18:0)	7,8	7,9	7,9
Oleico	(C18:1n9c)	55,2	55,5	55,4
Linolelaídico	(C18:2n6t)	<0,1	<0,1	<0,1
Linoléico	(C18:2n6c)	18,6	18,7	18,6
Linolénico	(C18:3n3)	1,2	1,2	1,2
Araquídico	(C20:0)	1,1	1,1	1,1
Eicosenoico	(C20:1n9)	0,2	0,2	0,2
Eicosadienoico	(C20:2n6)	<0,1	<0,1	<0,1
Heneicosanoico	(C21:0)	<0,1	<0,1	<0,1
Behénico	(C22:0)	0,4	0,4	0,4
Tricosanoico	(C23:0)	<0,1	<0,1	<0,1
Lignocérico	(C24:0)	0,3	0,3	0,3
Saturados				24,1
Insaturados				75,6
Trans				<0,1
Total				99,7

Los resultados del análisis proximal realizado a la torta de la semilla de *C. cujete*, se presentan como el porcentaje de la media \pm la desviación estándar de tres determinaciones sobre la base del peso seco (WS). Los resultados evidenciaron altos valores de carbohidratos $52,68 \pm 0,38$ %, grasa $24,78 \pm 0,58$ % y proteínas $8,46 \pm 0,10$ %. Los carbohidratos proporcionan energía para el metabolismo, digestión y engorde; asimismo, esta materia prima contiene cenizas $3,45 \pm 0,09$ %, que constituyen los minerales; estos oligoelementos son esenciales para la nutrición animal (crecimiento, reproductores y lactantes); también posee buena cantidad de fibra $10,63 \pm 0,96$ %, lo cual, mejora la digestión y facilita el tránsito intestinal, estimulando en los bovinos la rumia y la salivación, convirtiéndose en un alimento potencialmente completo y benéfico para concentrado de animales (Vera Rodríguez *et al.* 2021).

Se evidenció un bajo contenido de humedad, con $6,63 \pm 0,19$ % y representa la cantidad de agua y compuestos volátiles presentes

en la semilla, siendo este parámetro muy importante para su conservación, ya que el exceso de humedad afecta creando un ambiente propicio para el crecimiento, desarrollo de bacterias y hongos, que deterioran o bajan la calidad de la semilla (Bahmid *et al.* 2021; Li *et al.* 2020). El análisis estadístico de los datos arrojó que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos poblaciones, con un nivel de confianza del 95,0 %. También, se usó la prueba-t en los aceites obtenidos por los dos métodos de extracción (prensado y solvente); se evaluó la hipótesis específica acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones, de las cuales, provienen las dos muestras; en este caso, el valor-P calculado es menor que 0,05; se rechaza la hipótesis nula en favor de la alterna, es decir, que las medias difieren en un $\alpha \leq 0,05$.

Agradecimientos. A la Universidad de Córdoba, por sus instalaciones para desarrollar este proyecto. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún

conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad de Córdoba. Contribución de los autores: Los autores tuvieron diferentes roles que contribuyeron a esta investigación, desde la administración del proyecto, metodología, validación de datos, análisis formal, hasta la escritura, revisión y edición.

REFERENCIAS

1. AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY, AOCS. 2003. Official Method Cd 8-53. AOCS, USA. Disponible desde Internet en: <https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=217949329>
2. AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY, AOCS. 2017. Official Method Cd 3-25. AOCS, USA. Disponible desde Internet en: <https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111542>
3. AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY, AOCS. 2022. Official Method Cd 1d-92. AOCS, USA. Disponible desde Internet en: <https://myaccount.aocs.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details?productId=111533>
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM. 2012. ASTM D130 - 12. Standard test method for corrosiveness to copper from petroleum products by copper strip test. ASTM International, USA. 10p. Disponible desde Internet en: <https://www.astm.org/d0130-12.html>
5. ASSOCIATION OF OFFICIATING ANALYTICAL CHEMISTS, AOAC. 2005. Official method of Analysis. 18th Edition. AOAC International, USA. 70p.
6. BAHMID, N.A.; DEKKER, M.; FOGLIANO, V.; HEISING, J. 2021. Development of a moisture-activated antimicrobial film containing ground mustard seeds and its application on meat in active packaging system. *Food Packaging and Shelf Life*. 30:100753. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100753>
7. BERNAL, R.; GALEANO, G.; CORDERO, Z.; CRUZ, P.; GUTIÉRREZ, M.; RODRÍGUEZ, A.; SARMIENTO, H. 2006. Diccionario de nombres comunes de las plantas de Colombia. Ed. Universidad Nacional de Colombia, (Colombia). 686p.
8. CHUKWU NDUKA, J.K.; OMOZUWA, P.O.; IMANAH, O.E. 2020. Effect of heating time on the physicochemical properties of selected vegetable oils. *Arabian Journal of Chemistry*. 14(4): 103063. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103063>
9. CORRALES, C.V.; FLIEDEL, G.; PEREZ, A.M.; SERVENT, A.; PRADES, A.; DORNIER, M.; LOMONTE, B.; VAILLANT, F. 2017. Physicochemical characterization of jicaro seeds (*Crescentia alata* H.B.K.): A novel protein and oleaginous seed. *Journal of Food Composition and Analysis*. 56:84-92. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.11.007>
10. ESPITIA-BAENA, J.E.; DURAN-SANDOVAL, H.D.R.; FANDIÑO-FRANKY, J.; DÍAZ-CASTILLO, F.; GÓMEZ-ESTRADA, H.A. 2011. Química y biología del extracto etanólico del epicarpio de *Crescentia cujete* L. (totumo). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 16(4):337-346.
11. LI, X.Z.; SIMPSON, W.R.; SONG, M.L.; BAO, G.S.; NIU, X.L.; ZHANG, Z.H.; XU, H.F.; LIU, X.; LI, Y.L.; LI, C.J. 2020. Effects of seed moisture content and *Epichloe endophyte* on germination and physiology of *Achnatherum inebrians*. *South African Journal of Botany*. 134:407-414. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.03.022>
12. MONSALVE, M.; GAIBOR, D.; BELLO, A. 2017. Transesterificación por catálisis ácida y básica del aceite de las semillas de *Crescentia cujete* L. (MATE). *Revista Cumbres*. 3(1):161-166.
13. MOREIRA, P.A.; AGUIRRE-DUGUA, X.; CÉDRIC, M.; ZEKRAOUI, L.; COURDEC, M.; RODRIGUEZ, D.P.; CASAS, A.; CLÉMENT, C.R.; VIGOUROUX, Y. 2017. Diversity of treegourd (*Crescentia cujete*) suggests introduction and prehistoric dispersal routes into Amazonia. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 5(150):1-13. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00150>
14. OLANIYI, M.B.; LAWAL, I.O.; OLANIYI, A.A. 2018. Proximate, phytochemical screening and mineral analysis of *Crescentia cujete* L. leaves. *Journal of Medicinal Plants for Economic Development*. 2(1). <https://doi.org/10.4102/jomped.v2i1.28>
15. PALADINES, G.; LOURIDO, L.; BURBANO, Z.; AL-SHAGHDARI, A.; MONSALVE, M.; BELLO, A. 2017. Obtención y caracterización fisicoquímica del aceite de las semillas del mate (*Crescentia cujete* L.). *Revista Cumbres*. 3(1):93-99.
16. PASCUAL-CHAGMAN, G.; SANTA-CRUZ-OLIVOS, J.; HIDALGO, A.; BENAVENTE, F.; PÉREZ-CAMINO, M.C.; SOTELO-MENDEZ, A.; PAUCAR-MENACHO, L.M.; ENCINA-ZELADA, C.R. 2021. *Lupinus mutabilis* oil obtained by expeller press: Yield, physicochemical characterization, antioxidant capacity, fatty acids and oxidative stability analyses. *Scientia Agropecuaria*. 12(2):219-227. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.025>
17. RIVERA-MONDRAGÓN, A.; TUENTER, E.; ORTIZ, O.; SAKAVITSI, M.E.; NIKOU, T.; HALABALAKI, M.; CABALLERO-GEORGE, C.; APERS, S.; PIETERS, L.; FOUBERT, K. 2020. UPLC-MS/MS-based molecular

- networking and NMR structural determination for the untargeted phytochemical characterization of the fruit of *Crescentiacujete* (Bignoniaceae). *Phytochemistry*. 177:112438. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112438>
18. TAROLA, A.M.; GIRELLI, A.M.; LORUSSO, S. 2012. High performance liquid chromatography determination of fatty acids in drying oils following lipase action. *Journal of Chromatographic Science*. 50(4):294-300. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bms005>
19. VERA RODRÍGUEZ, J.H.; JIMÉNEZ MURILLO, W.J.; NAULA MEJÍA, M.C.; VILLA CÁRDENAS, U.J.; ZARUMA QUITO, F.A.; MONTECÉ MARIDUEÑA, G.Y.; CABRERA CARREÑO, W.J.; ZAMBRANO VALENCIA, F.J.; ASTUDILLO LUDIZACA, C.M. 2021. Residuos de la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) como alternativa alimenticia para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencia Animal Recia*. 13(2):e839. <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n2.2021.839>
20. YUSUF, A.K. 2018. A review of methods used for seed oil extraction. *International Journal of Science and Research*. 7(12):233-238.



Capacidad antibacteriana de la leche y el calostro bovino, caprino, bufalino y humano, contra bacterias de importancia clínica

Antibacterial capacity of bovine, goat, buffalo and human milk and colostrum, against bacteria of clinical importance in animal and human health

Lyda Caballero-Méndez^{1*} ; Luz Natalia Franco-Montoya² ; Margarita María Mazo-Cardona¹ ; Juan Carlos Echeverry¹ ; Luisa Ospina-Londoño¹ ; Valeria Quintero-Cifuentes¹ ; Bryam Ortiz-Valencia¹ 

¹Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias de la Salud, Grupo de Investigación Bioecos. Pereira - Risaralda, Colombia; e-mail: lydaccm_27@utp.edu.co, margarita.mazo@utp.edu.co, veteriloco@utp.edu.co, luisafernanda.ospina@utp.edu.co, v.quintero1@utp.edu.co, bryam.ortiz@utp.edu.co.

²Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Medicina Veterinaria, Grupo de investigación CIBAV. Medellín - Antioquia, Colombia; e-mail: lnatalia.franco@udea.edu.co

*autor para correspondencia: lydaccm_27@utp.edu.co

Cómo citar: Caballero-Méndez, L.; Franco-Montoya, L.N.; Mazo-Cardona, M.M.; Echeverry, J.C.; Ospina-Londoño, L.; Quintero-Cifuentes, V.; Ortiz-Valencia, B. 2023. Capacidad antibacteriana de la leche y el calostro bovino, caprino, bufalino y humano, contra bacterias de importancia clínica. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2100. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2100>

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 27 de 2021

Aceptado: octubre 10 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La leche y el calostro materno de diversas especies es un fluido corporal con efectos benéficos para la salud de quien la recibe, debido a que es la primera línea de defensa, favoreciendo el desarrollo, el crecimiento y la protección del recién nacido. Su actividad antibacteriana frente a patógenos de importancia clínica, la sugieren como una atractiva alternativa terapéutica ante la creciente resistencia bacteriana, que enfrenta la medicina animal y humana. Este trabajo comparó el efecto antimicrobiano de muestras de leche madura y calostro de especies bovina, caprina, bufalina y humana. Se realizaron siembras masivas con cepas ATCC de *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* en Mueller-Hinton; las muestras de leche y de calostro fueron diluidas en agua peptonada y colocadas en las cajas, utilizando sensidiscos estériles, impregnados con diferentes diluciones; se incubaron y posteriormente se midió el halo de inhibición alrededor de los sensidiscos, indicando su capacidad antimicrobiana. Se demostró poca actividad antibacteriana de la leche vs el calostro; a su vez, se evidenció que la leche y el calostro humano, caprino y bufalino mostraron actividad antibacteriana contra *P. aeruginosa*; solo el calostro humano, caprino y bufalino

mostraron actividad frente a *K. pneumoniae*. Los resultados obtenidos permitieron demostrar que la leche y el calostro tienen efectos antimicrobianos.

Palabras clave: Antibiograma; Antimicrobiano; Lactancia; Terapéutica.

ABSTRACT

Breast milk and colostrum from various species is a body fluid with beneficial effects on the health of those who receive them because it is the first line of defense, promoting the development, growth, and protection of newborn. Its antibacterial activity against pathogens of clinical importance suggests as an attractive therapeutic alternative in the face of the growing bacterial resistance facing animal, and human medicine. This work compared the antimicrobial effect of samples of mature milk and colostrum from bovine, caprine, buffalo, and human species. Mass sowing was carried out with ATCC strains of *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in Mueller-Hinton, the milk and colostrum samples were diluted in peptone water and placed in the boxes using sterile sensidiscs impregnated

with different dilutions, they were incubating and subsequently the inhibition zone around the discs was measured, indicating their antimicrobial capacity. Little antibacterial activity of milk vs. colostrum was demonstrate. Furthermore, human, goat, and buffalo milk and colostrum showed antibacterial activity against *P. aeruginosa*, and only human, goat, and buffalo colostrum showed activity against *K. pneumoniae*. The results obtained demonstrated that milk and colostrum have antimicrobial effects.

Keywords: Antibiogram; Antimicrobial; Breastfeeding; Therapeutics.

INTRODUCCIÓN

La resistencia bacteriana es la capacidad de las bacterias de multiplicarse en presencia de concentraciones de fármaco durante su uso terapéutico (Patini *et al.* 2020). El aumento de bacterias resistentes es un problema de salud pública creciente que se relaciona, principalmente, con el uso incorrecto y excesivo de antibióticos, así como la prescripción excesiva o incorrecta, tratamientos no terminados, el uso excesivo de antibióticos en ganadería, porcicultura y piscicultura, la baja disponibilidad de antibióticos nuevos y la limitación en la aprobación reglamentaria (Ventola, 2015a).

En la actualidad, la medicina se desarrolla en medio de una crisis global de resistencia a los antimicrobianos descrita para patógenos, tanto en el ambiente hospitalario como ambulatorio (Ventola, 2015b). Las bacterias, por su gran capacidad de adaptación, han desarrollado mecanismos de resistencia frente a los antibióticos disponibles (Munita & Arias, 2016). Esta resistencia a los antimicrobianos es un problema creciente para la salud pública (Frieri *et al.* 2017).

Sin duda, el uso excesivo y con frecuencia empírico de los antibióticos para el tratamiento de diferentes condiciones clínicas, condujo a modificaciones de la ecología bacteriana, cambiando las funciones ecológicas y magnificando la resistencia (Ding & Jianzhong, 2010). Desarrollar un nuevo antimicrobiano tiene un alto costo, el cual, se estima de 800 millones a 1.2 billones de dólares por agente aprobado y, en general, un bajo retorno a diferencia de otros fármacos, sumado a los bajos precios de estas moléculas, la pérdida de la efectividad con su frecuente uso y la creciente presión en la restricción de estas nuevas moléculas (Rello *et al.* 2016).

La Infectious Diseases Society of America (IDSA, 2018) definió seis microorganismos como especies patogénicas, conocidas como ESKAPE, que son de alta prioridad, por representar problemas clínicos o de salud pública relevantes y no contar con nuevas moléculas en desarrollo para su tratamiento; entre estos agentes, se incluyen *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter* sp., *Acinetobacter baumannii* y *Pseudomonas aeruginosa* (Meeker *et al.* 2016). La preocupación más grande es la creciente y rápida resistencia a antimicrobianos en comparación con las limitadas opciones terapéuticas que se tienen; sin embargo, como los pacientes deben ser tratados es necesario desarrollar nuevos antibacterianos que aporten solución al problema de resistencia,

quizás, el principal problema actual y probablemente la crisis del futuro, en especial, en países en vías de desarrollo, como el nuestro (Founou *et al.* 2016). Con base en lo anterior, el organismo animal y humano se ha encargado de desarrollar y evolucionar mecanismos para tratar de defenderse produciendo moléculas con la capacidad de atacar las bacterias que, a diario, afectan a los diferentes sistemas de los seres vivos (Yvon, 2018).

Una de estas estrategias es el uso de fluidos corporales con alto contenido proteico e inmunológico, entre los que se incluye, saliva, orina, lágrimas, leche materna y calostro. La leche materna es un fluido con gran valor nutricional, inmunológico y microbiológico (Toscano *et al.* 2017); su composición basada en inmunoglobulinas, oligosacáridos prebióticos, proteínas antimicrobianas, tales como lisozimas, lactoperoxidasa, lactoferrina y citoquinas inmunomoduladoras como IL-10 y TGF- β , la hacen un atractivo terapéutico en el control de infecciones gastrointestinales y respiratorias (Ulfman *et al.* 2018).

El calostro es la leche temprana producida por las hembras de mamíferos inmediatamente después de dar a luz, único en composición y función que, además de ser la principal fuente nutricional para el recién nacido, brinda protección frente a infecciones, mientras el sistema inmunológico se va desarrollando (Conte & Scarantino, 2013). El calostro es considerado un fluido corporal de gran valor inmunológico, debido a la presencia de factores de crecimiento, proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, moléculas antioxidantes, citocinas, nucleótidos (McGrath *et al.* 2015). Este líquido contiene una mayor concentración de anticuerpos que la leche madura, siendo la única fuente de inmunoglobulinas para el neonato, durante el primer mes de vida (Ruiz-Diaz *et al.* 2019), demostrándose su importancia en la protección frente a infecciones bacterianas (Nolan *et al.* 2019) y procesos inflamatorios e infecciosos gastrointestinales (Gao *et al.* 2020).

Es tal la importancia de estos fluidos corporales que es posible encontrar varios productos comerciales de leches inmunes con anticuerpos específicos o moléculas activas usados en la salud animal y humana, destinados a la prevención de enfermedades gastrointestinales (Vega *et al.* 2020; Villamil *et al.* 2020).

Por lo tanto, el presente trabajo evaluó la capacidad antibacteriana de leche materna y calostro, obtenida a partir de las especies caprina, bovina, bufalina y humana, con el fin de sugerir opciones terapéuticas de fácil acceso, efectivas y de bajo costo, ante el creciente panorama actual de resistencia antimicrobiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aspectos bioéticos: El presente estudio fue aprobado por el Comité de Bioética para el Cuidado y Uso de los Animales de la Institución Universitaria Visión de las Américas, bajo el acta # 29 del 19/05/2020. Las muestras fueron tomadas por personal calificado previo revisión y firma de consentimiento informado del propietario del animal o de la persona donadora de la muestra.

Ubicación: Fue realizado el muestreo de leche en hatos de la región del Eje Cafetero y norte del Valle del Cauca y procesadas en el Laboratorio Multifuncional del Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Facultad de Ciencias de la Salud, de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Toma de muestras de animales: De cada especie fueron tomadas muestras de seis animales diferentes, en buen estado de salud. En el caso del calostro, las muestras fueron tomadas durante las primeras horas postparto y para la toma de muestras de leche, fueron tenidos en cuenta los períodos de producción de leche madura, según la especie, así: fueron muestreadas búfalas adultas, entre el mes 1,5 y 2 de lactancia; vacas adultas, entre el mes 2 y 2,5 de lactancia; cabras adultas, entre el mes 1,5 y 2 de lactancia y donantes mujeres adultas, entre el mes 3 y 4 de lactancia. Estas muestras que, según las especies, son los meses aproximados en los que se presenta el mayor pico de producción de leche madura y en que estarían los períodos estandarizados para asegurar que estén en la misma etapa y condiciones de lactancia.

Las muestras de leche y calostro fueron tomadas por ordeño manual, previa limpieza y desinfección de las glándulas mamarias, se tomó un volumen de 2 mL de muestra y por duplicado. Las muestras se transportaron refrigeradas a 4 °C y se almacenaron a -20 °C, con el fin de no perder las proteínas y las células inmunes implicadas en el estudio. Se excluyeron animales con presencia de mastitis, para prevenir cualquier posible riesgo de infecciones en las muestras y animales en tratamiento con antibióticos.

Recolección de muestras en mujeres lactantes: Posterior a la firma del consentimiento informado, la toma de muestra de mujeres en etapa de lactancia fue tomada por la misma donante y obtenida por ordeño manual previa asepsia de las manos y limpieza de la zona, con solución salina normal y gasa estéril; la muestra se tomó en un sitio que garantizó la privacidad y la integridad de la madre, según previas indicaciones dadas por el personal del proyecto y bajo supervisión de un personal de salud. Fue tomado un volumen de 5 mL para leche y de 2 mL de calostro. La participación de los sujetos de investigación fue activa hasta la toma de la muestra; una vez se concluyó la toma, el sujeto de investigación quedó sin ningún tipo de vínculo al proyecto. Las donantes de las muestras de leche y calostro fueron mujeres lactantes sanas, sin medicación de tipo antibiótico y sin ningún compromiso infeccioso de la glándula mamaria.

Procesamiento de las muestras: Fueron tomadas un total de 48 muestras (24 muestras de leche y 24 muestras de calostro). Las muestras se filtraron, empleando filtros de jeringa 0,45 µm; a partir de las muestras filtradas, se realizaron 4 diluciones, de la siguiente manera: leche sin dilución, 100 %; leche diluida, 75 %; leche diluida, 50 %; leche diluida, 25 %; calostro sin dilución, 100 %; calostro diluido, 75 %; calostro diluido, 50 %; calostro diluido, 25 %. Estas diluciones fueron impregnadas en discos para antibiogramas en blanco (OXOID™), por un tiempo de dos horas; las diluciones se realizaron con solución de agua peptonada estéril al 0,1% p/v, garantizando que no se alteren las características iniciales de las muestras.

Se emplearon cepas ATCC de *P. aeruginosa* (27853), *K. pneumoniae* (13883), *S. aureus* (25923) y *E. coli* (25922), las cuales, fueron

reactivadas, según las especificaciones del fabricante. Se sembraron por siembra masiva en cajas de agar Mueller Hinton, a una concentración de 0,5, en la escala de Mac Farland, corroborada por espectrofotometría. Se emplearon discos para antibiogramas en blanco (OXOID™), impregnados con diferentes concentraciones del leche y calostro en cada una de las cajas inoculadas con la cepa ATCC de interés. Como control positivo, se emplearon sensidiscos comerciales de Ciprofloxacina (OXOID™), a una concentración de 5 µg y discos para antibiogramas en blanco, como control negativo, impregnados con solución salina peptonada. Los ensayos se incubaron en incubadora a 35 °C y leídos entre las 18-24 horas, posterior a su siembra. Todos los montajes se realizaron por duplicado; los halos de inhibición obtenidos se midieron en mm y se compararon con los obtenidos por los sensidiscos de Ciprofloxacina, con el fin de determinar la especie bacteriana más sensible y el tipo de muestra con la mayor capacidad antibacteriana. De igual manera, se determinó el porcentaje, en el cual, se alcanzó algún tipo de inhibición bacteriana. Finalmente, se determinó la especie con mayor actividad antibacteriana frente a alguna de las bacterias testeadas.

Análisis de datos

Leche: A partir de los resultados obtenidos se realizaron análisis de homogeneidad y homocedasticidad; una vez cumplidas las premisas fue realizado análisis de varianza One-Way-ANOVA y test post hoc de Duncan, para comparación de medias con significancia de $p < 0,05$.

Calostro: Para determinar las diferencias del efecto inhibitorio del calostro de las especies caprina, humana, bufalina y bovina frente a los agentes infecciosos de importancia en salud humana y animal, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *K. pneumoniae* y *E. coli*, todos los datos obtenidos fueron sometidos análisis de homogeneidad y homocedasticidad; para los datos de *Pseudomonas* y *Klebsiella* con calostros al 100 %, se realizó transformación de datos en (Log10). Una vez cumplidas las premisas se procedió a realizar Análisis de varianza ANOVA por cada microorganismo estudiado, así: para el análisis de *Pseudomonas*, se realizó un ANOVA Factorial (3*3), siendo tres diluciones de calostro (100, 75 y 50 %) y tres especies animales (caprino, humano y bufalino); en el caso, de *S. aureus*, se realizó un ANOVA (1*2), siendo una dilución (100 %) * dos especies animales (humana y bovina) y, finalmente, para *K. pneumoniae*, se realizó un ANOVA (1*2), siendo una dilución (100 %) y las cuatro especies estudiadas. Todos los datos están representados por el promedio ± la desviación estándar y fueron analizados con el programa StatisticAnalysisSystem 9.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad antibacteriana de la leche. Las muestras de leche analizadas, correspondientes a las especies caprina, bufalina y humana, solo mostraron actividad antibacteriana contra *P. aeruginosa*; por su parte, la leche bovina, no mostró actividad frente ninguno de los microorganismos estudiados.

No se observó diferencia significativa entre la capacidad antibacteriana de las leches de las especies caprina, humana y bufalina contra *P. aeruginosa* y sus halos inhibitorios se observaron próximos a los 9,0 mm (Figura 1). Las muestras de leche que mostraron actividad contra *P. aeruginosa* fueron analizadas en diferentes concentraciones, 100, 75 y 50 %, así como comparadas contra grupo control positivo (discos de ciprofloxacina) y negativo (solución salina peptonada); sin embargo, aunque la dilución a 75 % mostró algunos resultados importantes y similares a lo presentado por las muestras al 100 %, el n para estos resultados, no permitió una comparación estadística representativa, por lo tanto, solo se presentan estos datos como ilustrativos de la tendencia de estas leches, las cuales, a pesar de su dilución a 75 %, mostraron capacidad de inhibir el crecimiento de este agente infeccioso (Figura 1a).

Capacidad antibacteriana del calostro frente a *Pseudomonas aeruginosa*. Este fue el microorganismo más sensible a la acción inhibitoria de los diferentes calostros, mostrando efecto inhibitorio generado por los calostros de las especies caprina, bufalina y humana, siendo esta última especie, la que más efecto inhibitorio mostró en todas las diluciones estudiadas, seguida del calostro de las especies caprina que, a pesar de ser menor que el calostro humano, mostró actividad inhibitoria en las tres diluciones realizadas. El calostro bufalino solo mostró actividad antibacteriana al 100 % de su concentración y, finalmente, el calostro bovino presentó actividad antibacteriana contra *P. aeruginosa* (Figuras 1b y 2).

Las muestras, tanto de leche como de calostro de las especies caprina, bufalina y humana, tuvieron actividad antibacteriana frente a *P. aeruginosa*, siendo el calostro humano la especie que reportó el mayor efecto inhibitorio en todas las diluciones estudiadas. Estos resultados son congruentes con lo reportado por autores, como Fasse *et al.* (2021) y constituyen una herramienta terapéutica prometedora frente a un patógeno oportunista virulento que afecta animales y humanos, de difícil erradicación, debido a la producción de biopelículas y resistente a múltiples medicamentos antimicrobianos (Diggle & Whiteley, 2020).

Se ha demostrado que las leches de diferentes mamíferos, como humanos, alpacas, yeguas, búfalos y monos, lograron bloquear la adhesión celular de *P. aeruginosa* (Zinger-Yosovich *et al.* 2010), considerado uno de los patógenos más importantes causantes de enfermedades nosocomiales, en especial, en pacientes con fibrosis quística, cáncer, SIDA, enfermedades granulomatosas crónicas, quemaduras, trasplantes, anemia aplásica provocando daños severos en órganos vitales y llevando al paciente a una sepsis letal. Chegini *et al.* (2020), Ray *et al.* (2019) y Piotrowski *et al.* (2021) demostraron que oligosacáridos obtenidos a partir de la leche materna, inhibieron la adhesión celular de *P. aeruginosa*, demostrándose sus propiedades antimicrobianas *in vitro*.

Capacidad antibacteriana frente a *Klebsiella pneumoniae*. Este microorganismo mostró sensibilidad a todos los calostros estudiados cuando estaban al 100 % de su concentración. De manera interesante, el tamaño halo de inhibición no mostró diferencias significativas entre las especies estudiadas, generando un

efecto inhibitorio uniforme sobre el crecimiento de *K. pneumoniae* (Figuras 1c y 3).

Estudios, como los de Ulfman *et al.* (2018), demostraron que el calostro bovino inhibió el crecimiento de patógenos de importancia clínica, tales como *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, *Serratia marcescens*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Cryptosporidium*, *Helicobacter*, *E. coli* EHEC O157:H7, *Pseudomonas* y Rotavirus. De igual manera, Windayani (2020) demostró que el calostro fermentado tiene propiedades antimicrobianas frente a *K. pneumoniae* y que estas propiedades se aumentan con la acidez y la disminución del pH. Dzik *et al.* (2017) indican que, tanto la leche como el calostro, presentan efectos terapéuticos frente a procesos infecciosos y sus propiedades antibacterianas y antivirales promueven la inmunidad pasiva en neonatos y refuerzan su sistema inmune, mientras se va desarrollando. Productos comerciales basados en leche y calostro bovino no inmune son usados como suplemento alimentario en animales y humanos adultos, para mejorar el sistema inmune, balancear la flora intestinal y promover la regeneración tisular (Silva *et al.* 2019).

Capacidad antibacteriana frente a *Staphylococcus aureus*. Se evidenció efecto antibacteriano de las muestras de calostro bovino y humano, siendo esta última especie la que mostró mayor efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *S. aureus* (Figuras 1d y 4).

S. aureus es una bacteria Gram positiva causante de numerosas infecciones clínicas en animales y humanos, de gran importancia médica, debido a la creciente resistencia que presenta frente a antibióticos. Srivastava *et al.* (2015) y Pandey *et al.* (2011) reportaron que el calostro y sus componentes son efectivos frente a un amplio rango de patógenos comunes, incluyendo *Rotavirus*, *Cryptosporidium* spp., *S. aureus*, *Candida* spp., *Clostridium* spp., virus de inmunodeficiencia felina (VIF), *Shigella* spp., *Streptococcus* spp. y *E. coli*. De igual manera, Zhang *et al.* (2017) indican propiedades antimicrobianas frente a *S. aureus*, atribuibles a fracciones peptídicas derivadas de la leche humana, lo cual, se soporta con los hallazgos de Mohanty *et al.* (2016), quienes demostraron que los componentes peptídicos aislados de la leche, como α -lactoalbúmina, glicomacropéptidos, β -lactoglobulina, inmunoglobulinas y caseínas, son potentes inhibidores de organismos patogénicos, incluyendo *S. aureus*.

Capacidad antibacteriana frente a *Escherichia coli*. Por otro lado, en este estudio, las muestras, tanto de leche como de calostro de las especies analizadas, no presentaron actividad antibacteriana frente a *E. coli*, un microorganismo comensal y patógeno de importancia clínica, debido a su capacidad para propagar la resistencia frente a antimicrobianos (Jarrige *et al.* 2020). Contrario a lo reportado por otros estudios donde se demuestra el efecto inhibitorio de calostro bovino hiperinmune comercial frente a aislados de *E. coli* serovariedad enterotoxigénica, esta capacidad se puede atribuir a una mayor concentración de anticuerpos específicos, factores de crecimiento y lactoferrina, usados para prevenir infecciones gastrointestinales (Sears *et al.* 2017).

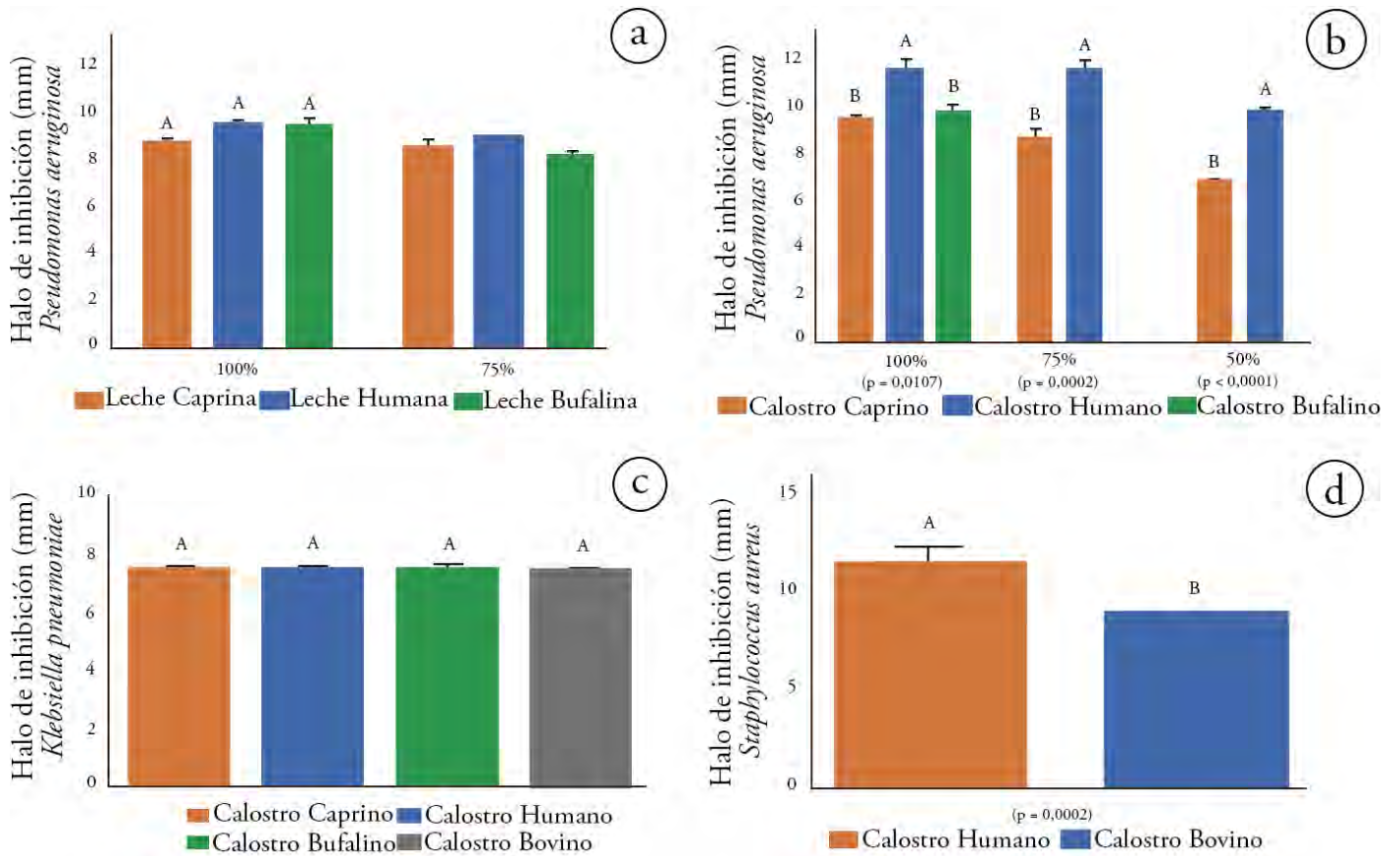


Figura 1. Capacidad antibacteriana de leche y calostro de las especies caprina, bovina, bufalina y humana, contra microorganismos de interés en salud humana y animal. Letras mayúsculas indican diferencia estadística entre las especies (significancia $p \leq 0,05$). a) muestras de leche en diferentes diluciones; b) muestras de calostro en diferentes diluciones; c) muestras de calostro entero al 100%; d) muestras de calostro entero al 100%.

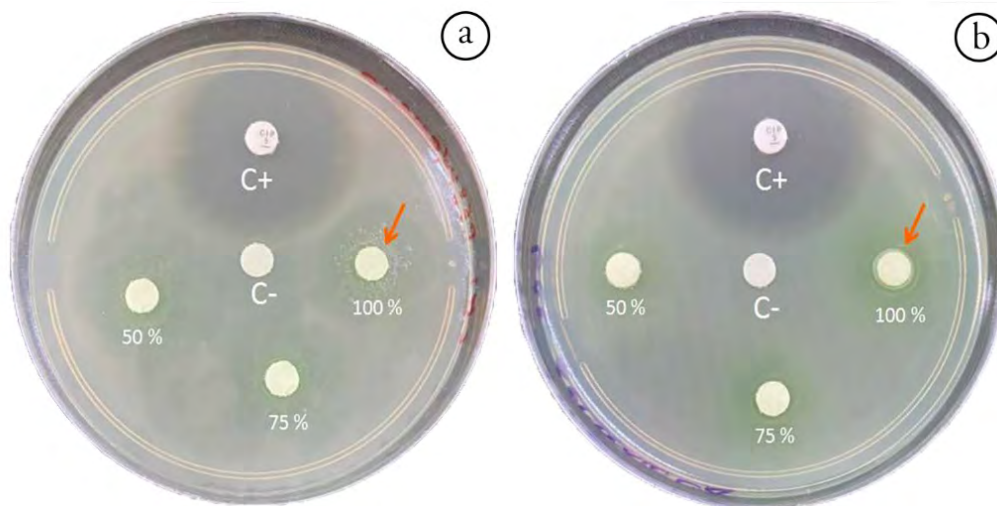


Figura 2. Prueba de sensibilidad de muestras de calostro frente a *Pseudomonas aeruginosa*. a) Calostro humano; b) Calostro caprino. Los porcentajes indican las diluciones de calostro utilizadas. C+ indica control positivo con sensibilizador de Ciprofloxacina 5 μg . C- indica control negativo con sensibilizador impregnado en solución salina. Las flechas naranjas muestran el halo de inhibición generado por los sensibilizadores impregnados con calostro sin diluir, indicando el efecto antimicrobiano de las muestras.

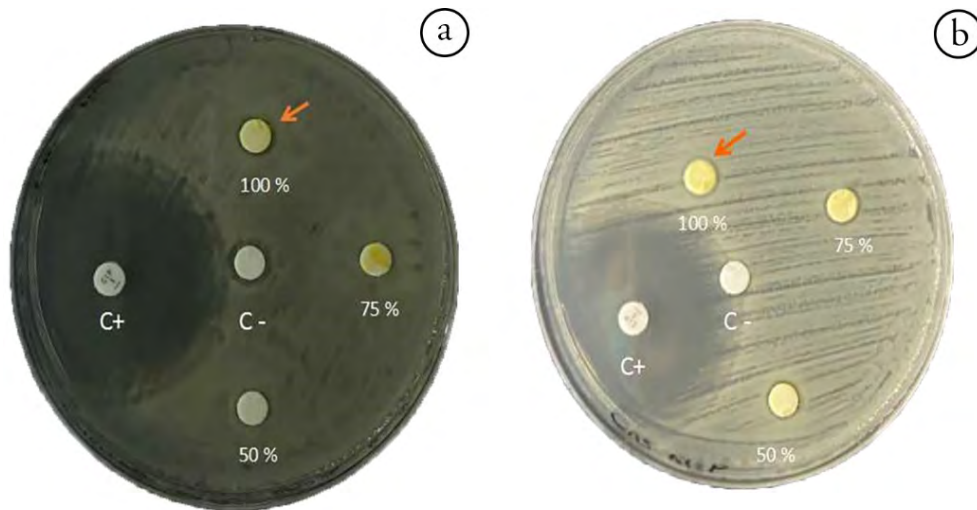


Figura 3. Prueba de sensibilidad de muestras de calostro frente a *Klebsiella pneumoniae*. a) Calostro humano; b) Calostro caprino. Los porcentajes indican las diluciones de calostro utilizadas. C+ indica control positivo con sensidisco de Ciprofloxacina 5 μ g. C- indica control negativo con sensidisco impregnado en solución salina. Las flechas naranjas muestran el halo de inhibición generado por los sensidiscos impregnados con calostro sin diluir, indicando el efecto antimicrobiano de las muestras.

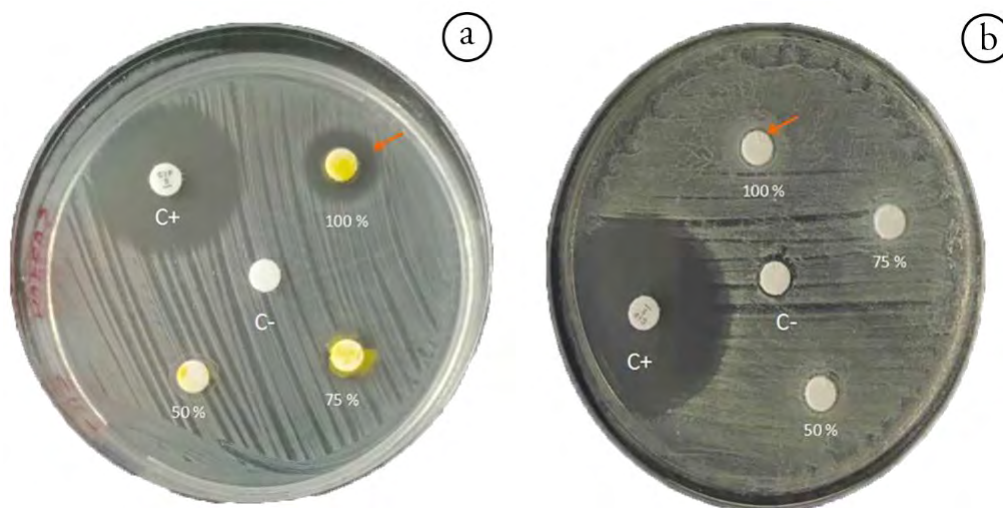


Figura 4. Pruebas de sensibilidad de muestras de calostro frente a *Staphylococcus aureus*. a) Calostro humano; b) Calostro bovino. Los porcentajes indican las diluciones de calostro utilizadas. C+ indica control positivo con sensidisco de Ciprofloxacina 5 μ g. C- indica control negativo con sensidisco impregnado en solución salina. Las flechas naranjas muestran el halo de inhibición generado por los sensidiscos impregnados con calostro sin diluir, indicando el efecto antimicrobiano de las muestras.

Estudios, como los de Borad & Singh (2018) demostraron que preparaciones de leche y de calostro, ricas en inmunoglobulinas, pueden ser efectivas frente a patógenos, como Rotavirus, *C. albicans*, *C. difficile*, *S. flexneri*, *Streptococcus mutans*, *Cryptosporidium parvum*, *Helicobacter pylori* e, incluso, *E. coli*, pero la eficacia terapéutica de estas preparaciones es bastante limitada. Componentes de la leche y calostro, como la lactoferrina, han demostrado efectos bacteriostáticos frente a *E. coli*, atribuidos a su capacidad de secuestrar el hierro que la bacteria necesita para su crecimiento (Rascón-Cruz *et al.* 2021) así como componentes bioactivos tales como

factores de crecimiento, lactoferrina, lisozimas, lactoperoxidasa e inmunoglobulinas que son activos frente a patógenos, como *E. coli*, *S. typhimurium*, *Shigella dysenteriae*, *Listeria monocytogenes*, *S. mutans*, *Bacillus stearothermophilus*, y *Bacillus subtilis* (Tripathi & Vashishtha, 2006).

Se demostró que muestras de calostro y de leche de las especies caprina, bufalina, bovina y humana presentaron actividad antibacteriana contra algunos microorganismos de interés clínico en la salud animal y humana; sin embargo, los mayores efectos son

atribuidos al calostro, probablemente, debido a la mayor cantidad de moléculas bioactivas, que lo hacen ser una excelente fuente nutricional e inmunológica (Borad & Singh 2018). Tanto la leche como el calostro humano demostraron tener la mejor capacidad antibacteriana, confirmando su importancia en la salud del neonato. Los resultados de este estudio demuestran que, tanto la leche como el calostro, constituyen una herramienta inmunológica que refuerza el sistema inmune del neonato y una posible alternativa terapéutica, en el tratamiento de procesos infecciosos de origen bacteriano.

Agradecimientos: Como grupo de investigación, agradecemos al Hospital Universitario San Jorge de Pereira, por la donación de las muestras humanas de leche y calostro. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión de la Universidad Tecnológica de Pereira (VIE-UTP), a través de su convocatoria interna para financiar proyectos de semilleros de investigación, año 2020. **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. **Contribución de los autores:** Conceptualización, análisis formal y escritura, revisión y edición: Lyda Caballero Méndez, Luz Natalia Franco. Curación de datos, validación, visualización y manejo de software: Luz Natalia Franco. Administración del proyecto y escritura: Lyda Caballero Méndez. Supervisión: Lyda Caballero Méndez, Luz Natalia Franco, Margarita María Mazo. Adquisición de financiación, investigación y metodología: todos los autores. Recursos: Universidad Tecnológica de Pereira.

REFERENCIAS

- BORAD, S.G.; SINGH, A.K. 2018. Colostrum immunoglobulins: Processing, preservation and application aspects. *International Dairy Journal*. 85:201-210. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.05.016>
- CHEGINI, Z.; KHOSHBYAN, A.; MOGHADAM, M.T.; FARAHANI, I.; JAZIREIAN, P.; SHARIATI, A. 2020. Bacteriophage therapy against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms: A review. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*. 19:45. <https://doi.org/10.1186/S12941-020-00389-5>
- CONTE, F.; SCARANTINO, S. 2013. A study on the quality of bovine colostrum: physical, chemical and safety assessment. *International Food Research Journal*. 20(2):925-931.
- DIGGLE, S.P.; WHITELEY, M. 2020. Microbe profile: *Pseudomonas aeruginosa*: opportunistic pathogen and lab rat. *Microbiology*. 166(1):30. <https://doi.org/10.1099/MIC.0.000860>
- DING, C.; JIANZHONG, H. 2010. Effect of antibiotics in the environment on microbial populations. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 87(3):925-41. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2649-5>
- DZIK, S.; MICIŃSKI, B.; AITZHANOVA, I.; MICIŃSKI, J.; POGORZELSKA, P.; BEISENOV, A.; KOWALSKI, I.M. 2017. Properties of bovine colostrum and the possibilities of use. *Polish Annals of Medicine*. 24(2):295-99. <https://doi.org/10.1016/j.poamed.2017.03.004>
- FASSE, S.; ALARINTA, J.; FRAHM, B.; WIRTANEN, G. 2021. Bovine colostrum for human consumption-improving microbial quality and maintaining bioactive characteristics through processing. *Dairy*. 2(4):556-575. <https://doi.org/10.3390/DAIRY2040044>
- FOUNOU, L.L.; FONOU, R.C.; ESSACK, S.Y. 2016. Antibiotic resistance in the food chain: A developing country-perspective. *Frontiers in Microbiology*. 7:1881. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01881>
- FRIERI, M.; KUMAR, K.; BOUTIN, A. 2017. Antibiotic resistance. *Journal of Infection and Public Health*. 10(4):369-78. <https://doi.org/10.1016/J.JIPH.2016.08.007>
- GAO, X.; LI, Y.; OLIN, A.B.; NGUYEN, D.C. 2020. Fortification with bovine colostrum enhances antibacterial activity of human milk. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 45(7):1417-1424. <https://doi.org/10.1002/jpen.2060>
- INFECTIOUS DISEASES SOCIETY OF AMERICA, IDSA. 2018. Infectious diseases society of America (IDSA) POSITION STATEMENT: Why IDSA did not endorse the surviving sepsis campaign guidelines. *Clinical Infectious Diseases*. 66(10):1631-1635. <https://doi.org/10.1093/cid/cix997>
- JARRIGE, N.; CAZEAU, G.; BOSQUET, G.; BASTIEN, F.; BENOIT, F.; GAY, E. 2020. Effects of antimicrobial exposure on the antimicrobial resistance of *Escherichia coli* in the digestive flora of dairy calves. *Preventive Veterinary Medicine*. 185:105177. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105177>
- MCGRATH, B.A.; FOX, P.F.; MCSWEENEY, P.L.H.; KELLY, A.L. 2015. Composition and properties of bovine colostrum: A review. *Dairy Science & Technology*. 96(2):133-158. <https://doi.org/10.1007/S13594-015-0258-X>
- MEEKER, D.G.; JENKINS, S.V.; MILLER, E.K.; BEENKEN, K.E.; LOUGHRAN, A.J.; POWLESS, A.; MULDOON, T.J.; GALANZHA, E.I.; ZHARO, V.P.; SMELTZER, M.S.; CHEN, J. 2016. Synergistic photothermal and antibiotic killing of biofilm-Associated *Staphylococcus aureus* using targeted antibiotic-loaded gold nanoconstructs. *ACS infectious diseases*. 2:241-250. <https://doi.org/10.1021/acsinfecdis.5b00117>

15. MOHANTY, D.; JENA, R.; CHOUDHURY, P.K.; PATTNAIK, R.; MOHAPATRA, S.; SAINI, M.R. 2016. Milk derived antimicrobial bioactive peptides: a review. *International Journal of Food Properties*. 19(4):837-846. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1048356>
16. MUNITA, J.; ARIAS, C.A. 2016. Mechanisms of antibiotic resistance. *Microbiology Spectrum*. 23(5):464-72. <https://doi.org/10.1128/MICROBIOLSPEC.VMBF-0016-2015>
17. NOLAN, L.S.; PARKS, O.B.; GOOD, M. 2019. A Review of the immunomodulating components of maternal breast milk and protection against necrotizing enterocolitis. *Nutrients*. 12(1):14. <https://doi.org/10.3390/NU12010014>
18. PANDEY, N.; DAR, A.; MONDAL, D.B.; NAGARAJA, L. 2011. Bovine colostrum: A veterinary nutraceutical. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health*. 3(3):31-35.
19. PATINI, R.; MANGINO, G.; MARTELLACCI, L.; QUARANTA, G.; MASUCCI, L.; GALLENZI, P. 2020. The effect of different antibiotic regimens on bacterial resistance: A systematic review. *Antibiotics*. 9(1):22. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9010022>
20. PIOTROWSKI, M.; WULTAŃSKA, D.; PITUCH, H. 2021. The prebiotic effect of human milk oligosaccharides 3'- and 6'-sialyllactose on adhesion and biofilm formation by *Clostridioides difficile* - Pilot study. *Microbes and Infection*. 24(3):104929. <https://doi.org/10.1016/J.MICINF.2021.104929>
21. RASCÓN-CRUZ, Q.; ESPINOZA-SÁNCHEZ, E.A.; SIQUEIROS-CENDÓN, T.S.; NAKAMURA-BECOMO, S.I.; AREVALO-GALLEGO, S.; IGLESIAS-FIGUEROA, B.F. 2021. Lactoferrin: A glycoprotein involved in immunomodulation, anticancer, and antimicrobial processes. *Molecules*. 26(1):205. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26010205>
22. RAY, C.; KERKETTA, J.A.; RAO, S.; PATEL, S.; DUTT, S.; ARORA, K.; POURNAMI, F.; BHUSHAN, P. 2019. Human milk oligosaccharides: the journey ahead. *International Journal of Pediatrics*. 2019:2390240. <https://doi.org/10.1155/2019/2390240>
23. RELLO, J.; BUNSOW, E.; PEREZ, A. 2016. What if there were no new antibiotics? A Look at Alternatives. *Expert Review of Clinical Pharmacology*. 9(12):1547-55. <https://doi.org/10.1080/17512433.2016.1241141>
24. RUIZ-DIAZ, M.; ARGÜELLO, A.; PADILLA, D.; EARLEY, B.; CASTRO, N. 2019. Influence of treatment and refrigeration time on antimicrobial activity of goat and sheep colostrum. *Journal of Dairy Research*. 86(4):450-453. <https://doi.org/10.1017/S0022029919000657>
25. SEARS, K.T.; TENNANT, S.M.; REYMANN, M.K.; SIMON, R.; KONSTANTOPOULOS, N.; BLACKWELDER, W.C.; BARRY, E.M.; PASETTI, M.F. 2017. Bioactive immune components of anti-diarrheagenic enterotoxigenic *Escherichia coli* hyperimmune bovine colostrum products. *Clinical and Vaccine Immunology*. 24(8):e00186-00116. <https://doi.org/10.1128/CVI.00186-16>
26. SILVA, E.; RANGEL, A.; MÜRMAN, L.; BEZERRA, M.; OLIVEIRA, J. 2019. Bovine colostrum: benefits of its use in human food. *Food Science and Technology*: 39:355-362. <https://doi.org/10.1590/fst.14619>
27. SRIVASTAVA, A.; SINGH, B.N.; DEEPAK, D.; RAWAT, A.K.; SINGH, B. 2015. Colostrum hexasaccharide, a novel *Staphylococcus aureus* quorum-sensing inhibitor. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 59(4):2169-2178. <https://doi.org/10.1128/AAC.03722-14>
28. TOSCANO, M.; DE GRANDI, R.; PERONI, D.G.; GROSSI, E.; FACCHIN, V.; COMBERIATI, P.; DRAGO, L. 2017. Impact of delivery mode on the colostrum microbiota composition. *BMC microbiology*. 17:205. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1109-0>
29. TRIPATHI, V.; VASHISHTHA, B. 2006. Bioactive compounds of colostrum and its application. *Food Reviews International*. 22(3):225-244. <https://doi.org/10.1080/87559120600694606>
30. ULFMAN, L.H.; LEUSEN, J.H.W.; SAVELKOUL, H.F.J.; WARNER, J.O.; VAN NEERVEN, R.J.J. 2018. Effects of bovine immunoglobulins on immune function, allergy, and infection. *Frontiers in nutrition*. 5:52. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00052>
31. VEGA, C.G.; BOK, M.; EBINGER, M.; ROCHA, L.A.; RIVOLTA, A.A.; GONZÁLEZ THOMAS, V.; MUNTADAS, P.; D'ALOIA, R.; PINTO, V.; PARREÑO, V.; WIGDOROVITZ, A. 2020. A new passive immune strategy based on IgY antibodies as a key element to control neonatal calf diarrhea in dairy farms. *BMC Veterinary Research*. 16(1):264. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02476-3>
32. VENTOLA, L.C. 2015. The antibiotic resistance crisis: Part 1: causes and threats. *Pharmacy and Therapeutics*. 40(4):277-83.
33. VENTOLA, L.C. 2015. The antibiotic resistance crisis: Part 2: Management strategies and new agents. *Pharmacy and Therapeutics*. 40(5):344-52.
34. VILLAMIL, R.A.; ROBELTO, G.E.; MENDOZA, M.C.; GUZMÁN, M.P.; CORTÉS, L.Y.; MÉNDEZ, C.A.; GIHA, V. 2020. Desarrollo de productos lácteos funcionales y sus implicaciones en la salud. Una revisión de literatura. *Revista Chilena de Nutrición* 47(6):1018-1028. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000601018>

35. WINDAYANI, N.; KURNIATI, T.; RUKAYADI, Y. 2020. Antibacterial activity of colostrum kefir against foodborne pathogen bacteria. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 472:012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/472/1/012019>
36. YVON, S.; OLIER, M.; LEVEQUE, M.; JARD, G.; TORMO, H.; HAIMOUD-LEKHAL, D.A.; PETER, M.; EUTAMÈNE, H. 2018. Donkey milk consumption exerts anti-inflammatory properties by normalizing antimicrobial peptides levels in Paneth's cells in a model of ileitis in mice. European Journal of Nutrition. 57(1):155-166. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1304-z>
37. ZHANG, F.; CUI, X.; FU, Y.; ZHANG, J.; ZHOU, Y.; SUN, Y.; WANG, X.; LI, Y.; LIU, Q.; CHEN, T. 2017. Antimicrobial activity and mechanism of the human milk-sourced peptide Casein201. Biochemical and biophysical research communications. 485(3):698-704. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.02.108>
38. ZINGER-YOSOVICH, K.D.; ILUZ, D.; SUDAKEVITZ, D.; GILBOA-GARBER, N. 2010. Blocking of *Pseudomonas aeruginosa* and *Chromobacterium violaceum* lectins by diverse mammalian milks. Journal of dairy science. 93(2):473-482. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2381>

Diversidad, densidad poblacional y distribución espacial de equinoideos regulares (Echinodermata: Echinoidea) en Isla Fuerte, Colombia

Diversity, population density and spatial distribution of regular echinoids (Echinodermata: Echinoidea) in Isla Fuerte, Colombia

David Olascoaga-Valverde¹ ; Carlos A. Nisperuza-Pérez¹⁻² ; Juan Yepes-Escobar¹ ; Jorge A. Quirós-Rodríguez^{1-2*} 

¹Universidad de Córdoba, Grupo de Biotecnología, GRUBIODEQ. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: dacaolas97@gmail.com; carlosnisperuzap@correo.unicordoba.edu.co; jyepes@correo.unicordoba.edu.co

²Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación Química de los Productos Naturales, PRONAT. Montería - Córdoba, Colombia; e-mail: jquiros@correo.unicordoba.edu.co

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

Cómo citar: Olascoaga-Valverde, D.O.; Nisperuza-Pérez, C.A.; Yepes-Escobar, J.; Quirós-Rodríguez, J.A. 2023. Diversidad, densidad poblacional y distribución espacial de equinoideos regulares (Echinodermata: Echinoidea) en Isla Fuerte, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2254. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2254>

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 28 de 2022

Aceptado: octubre 30 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Los equinoideos comprenden uno de los grupos más influyentes en los ecosistemas arrecifales y litorales rocosos, debido a su importancia en las redes tróficas y reciclado de materia orgánica. En el Caribe colombiano existe un vacío de información sobre la ecología de estos organismos. La mayoría de los estudios se han centrado en la realización de inventarios y notas taxonómicas, con el fin de estudiar la diversidad, la densidad poblacional y la distribución espacial de equinoideos regulares, en Isla Fuerte, Colombia. Se realizaron siete salidas de campo en Punta El Inglés, Latal y San Diego, entre noviembre de 2018 y septiembre de 2019. En cada localidad se realizaron censos visuales, aplicando la metodología de transecto lineal en banda (10 x 2 m). Se registraron 4.061 individuos representativo de seis especies, cinco géneros y cuatro familias. La especie que presentó mayores densidades fue *Echinometra lucunter* y, la de menor, *Lytechinus variegatus*. La riqueza de especies fue la misma para las tres localidades; sin embargo, Punta El Inglés presentó mayor diversidad, uniformidad y distintividad taxonómica promedio. El análisis de similitud de Bray-Curtis muestra una asociación entre San Diego y El Latal, mientras que Punta El Inglés forma una agrupación independiente. Los resultados de esta investigación representan una línea base para Isla Fuerte y puede ayudar a los gestores ambientales para sustentar herramientas y estrategias de manejo en este grupo de invertebrados.

Palabras clave: Distribución geográfica; Ecología de poblaciones; Echinodermos; Erizos de mar; Mar Caribe.

ABSTRACT

The echinoids constitute one of the most influential groups in reef and rocky coastal ecosystems due to their significance in trophic networks and organic matter recycling. In the Colombian Caribbean, there is a lack of information regarding the ecology of these organisms. Most studies have primarily focused on conducting inventories and taxonomic notes. To study the diversity, population density, and spatial distribution of regular echinoids in Isla Fuerte, Colombia. Seven field trips were conducted at Punta El Inglés, Latal, and San Diego between November 2018 and September 2019. Visual censuses were conducted in each locality using the linear belt transect methodology (10 x 2 m). 4,061 individuals were recorded, representing six species, five genera, and four families. The species with the highest densities was *Echinometra lucunter*, while the lowest was *Lytechinus variegatus*. Species richness was the same for all three localities; however, Punta El Inglés exhibited higher diversity, uniformity, and average taxonomic distinctness. The Bray-Curtis similarity analysis indicates an association between San Diego and El Latal, whereas Punta El Inglés forms an independent grouping. The results of this research represent a baseline for Isla Fuerte and can assist environmental managers in developing tools and management strategies for this group of invertebrates.

Keywords: Caribbean Sea; Echinoderm; Geographical distribution; Population ecology; Sea urchins.

INTRODUCCIÓN

Los erizos de mar comprenden un grupo de invertebrados marinos pertenecientes a la clase Echinoidea dentro del phylum Echinodermata y están representados por alrededor de 1.000 especies vivas (Appeltans *et al.* 2012). Los equinoideos no solo son importantes por su riqueza, sino también por su papel dentro de las redes tróficas y su capacidad para modificar las condiciones del bentos (Bronstein & Loya, 2014; Elmasry *et al.* 2013).

En los distintos ambientes marinos, los erizos constituyen uno de los grupos más importantes, debido a su ubicuidad, su alta abundancia y sus hábitos alimenticios (Glynn & Enochs, 2011); sin embargo, desde hace varias décadas, presiones antropogénicas, como la sobrepesca, las tasas de sedimentación y el calentamiento global, han venido causando disminuciones importantes en sus poblaciones, afectando, significativamente, su diversidad y distribución (Crain *et al.* 2008; Burke *et al.* 2011). La distribución de los equinoideos en los ambientes costeros es influenciada por aspectos físicos y químicos, como por ejemplo, las mareas, el asentamiento larvario, la disponibilidad de alimento, la competencia, la depredación y la heterogeneidad y complejidad del hábitat (Cameron & Schroeter, 1980; Bernstein *et al.* 1981; Schroeter *et al.* 1996; Metaxas & Young, 1998; Segovia *et al.* 2017).

A lo largo del Mar Caribe se han realizado diferentes estudios de índole taxonómico y ecológicos en equinoideos, entre los que se destacan los de Alvarado *et al.* (2008), Alvarado (2011) y Morales-Quijano *et al.* (2017). Para el Caribe colombiano se resaltan los trabajos de Borrero-Pérez *et al.* (2002), González *et al.* (2002), Borrero-Pérez *et al.* (2012) y Benavides-Serrato *et al.* (2013), los cuales, se centraron en la realización de inventarios y notas taxonómicas, por lo tanto, hay un gran potencial para la investigación en áreas, como la ecología, la genética, la bioprospección, la acuicultura, entre otras. Por otro lado, la información científica en ecosistemas insulares es limitada en comparación con aquellas áreas ubicadas en zonas costeras continentales, en especial, para la Isla Fuerte, que carece de investigación básica y aplicada.

Teniendo en cuenta el papel ecológico que cumplen los equinoideos y la falta de información ecológica, en este sentido, se evaluó la diversidad, la densidad poblacional y la distribución espacial de erizos regulares de Isla Fuerte. Los resultados de esta investigación representan una línea base y proporcionan datos importantes, que puede ayudar a los gestores ambientales, para sustentar herramientas y estrategias de manejo que permitan conocer el estado actual, la dinámica y la evolución de este grupo de invertebrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La presente investigación se realizó en Isla Fuerte, localizada a 11 km del continente (9°23'N, 76°11'O para Puerto Limón), sobre la plataforma continental al suroeste del Caribe colombiano (INVEMAR, 2009). Para viajar hasta la Isla, una de las opciones es tomar transporte acuático en Paso Nuevo, San Bernardo del viento (Córdoba) y la duración del viaje es 30 min. La isla tiene

3,25 km² de superficie emergida y una elevación máxima de 12 m (Figura 1) y se caracteriza por poseer una variedad de ecosistemas de gran relevancia (Díaz *et al.* 2000). El clima de la isla es semiseco y corresponde al ecosistema de Bosque seco Tropical (Bs-T) (Etter, 1993). Posee una precipitación promedio mensual entre los 900 y 1.400 mm de lluvia, con una tendencia unimodal, separado por una época con menor precipitación, conocida como el veranillo de San Juan, entre junio y julio, donde las lluvias caen cerca de 50 mm en promedio (Estela, 2006). La temperatura superficial del mar es aproximadamente 28 °C y la salinidad de 36‰ (Díaz *et al.* 1996).

Metodología de muestreo. Se escogieron tres localidades de estudio, teniendo en cuenta la exposición al oleaje y la disponibilidad de acceso: Punta El Inglés (9°23'N, 76°10'O), que se encuentra ubicada en el barlovento de la isla, presenta un arrecife litoral y una heterogeneidad de sustratos y hábitats con profundidades no mayores a 2 m. El Latal (9°22'N, 76°11'O) y San Diego (9°23'N, 76°11'O), ambas ubicadas en el sotavento de la isla; la primera presenta sustratos rocosos, pastos marinos y fondos arenosos, con oleajes débiles. Por su parte, San Diego cuenta con un embate de olas fuertes en algunos meses y se caracteriza por poseer un sustrato conformado por rocas de diferentes tamaños y morfologías.

En cada localidad se llevaron a cabo siete muestreos entre noviembre del 2018 y septiembre de 2019, con el fin de abarcar distintas épocas climáticas. Se utilizó la metodología de transecto en banda, propuesta por Rogers *et al.* (1994), estableciendo tres transectos lineales de 10 m de largo por 2 m de ancho, a una profundidad no superior a 2,5 m, separados cada uno por una distancia de 5 m. En cada uno de los transectos se realizaron censos visuales, sobre los cuales, se registraron las especies y la abundancia de cada una en los distintos hábitats disponibles del área delimitada. El proceso de identificación se realizó *in situ*, con la ayuda de fichas de identificación sumergibles.

Fase de laboratorio. Los organismos que no lograron ser identificados a simple vista, fueron capturados, anestesiados y luego preservados para su transporte al Laboratorio de Zoología de la Universidad de Córdoba (LZUC), donde se realizó su respectiva determinación taxonómica, empleando las claves y descripciones, propuestas por Caso (1977; 1978), Hendler *et al.* (1995) y Borrero-Pérez *et al.* (2012). Posteriormente, los especímenes fueron depositados en la Colección Zoológica de la Universidad de Córdoba (CZU: Echino: 0004- 0009).

Análisis de datos. La información recolectada en campo y laboratorio se organizó en matrices de datos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel ® 2016. La riqueza fue representada con el número total de especies por localidades y para el área de estudio (Torreblanca-Ramírez *et al.* 2012). Posteriormente, se construyeron curvas de rango-abundancia (Log (X+1)) para comparar las abundancias relativas de las especies de equinoideos, empleando el software GraphPad Prism 6; la densidad poblacional fue expresada como el número de individuos por metro cuadrado (ind/m²). Con el fin de determinar la estructura comunitaria de los equinoideos, se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener (H'),

uniformidad de Pielou (U), dominancia de Simpson (λ) y el Índice de distintividad taxonómica promedio (Δ^*). Para comparar cada uno de los índices ecológicos entre localidades, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Zar, 1999); estas, se realizaron utilizando los paquetes vegan y BiodiversityR en el programa R ver. 3.1.3. (Dessau & Pipper, 2008). Para comparar la afinidad entre

las localidades, se utilizó la técnica de ligamiento promedio no ponderado (UPGMA) con las abundancias de las especies de erizos, utilizando la matriz de similaridad de Bray-Curtis. Las pruebas se realizaron en el programa estadístico PRIMER® v 6.1 (Anderson *et al.* 2008).

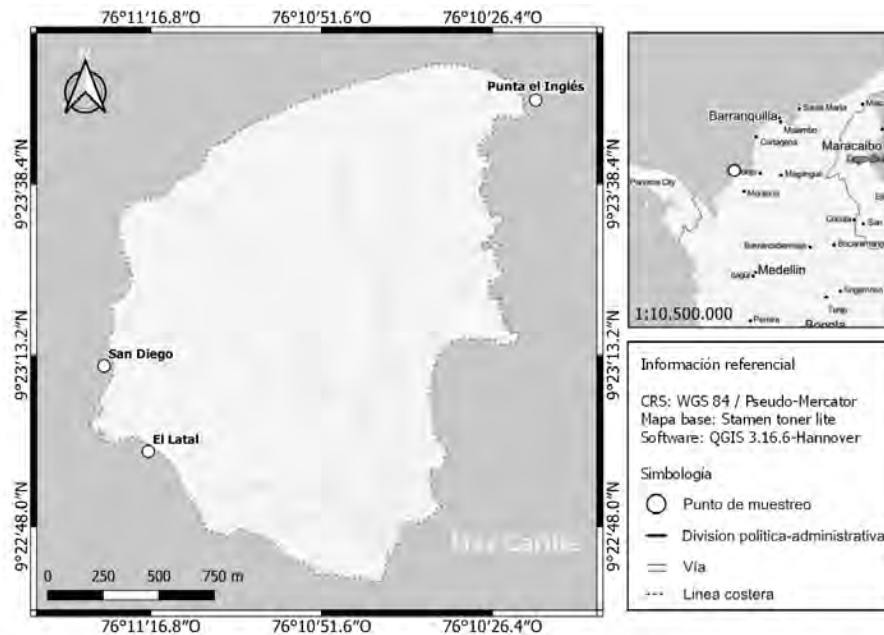


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las localidades de estudio en Isla Fuerte, Colombia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron 4.061 organismos que correspondieron a seis especies, cinco géneros, cuatro familias y tres órdenes. La especie con el mayor valor de abundancia poblacional fue *Echinometra lucunter* ($n=3.475$), seguido de *E. viridis* ($n=269$); por otra parte, *Lytechinus variegatus* presentó el menor número de individuos ($n=9$) (Figura 2). A nivel espacial, San Diego y Punta El Inglés presentaron los mayores y menores valores, con 2.052 y 911 individuos, respectivamente. En las tres localidades, el género *Echinometra* mostró el mayor porcentaje de individuos, con dominancia de *E. lucunter*, representando el 85,57 % de los individuos contabilizados.

El número de especies identificados en este estudio representan el 7,89 % de los equinoideos para el Caribe y el 11,7 % de las reportadas para el Caribe colombiano (Alvarado, 2011; Benavides-Serrato *et al.* 2013). Así mismo, estas corresponden al 19,35 % de las presentes en el complejo de archipiélagos de Islas del Rosario y San Bernardo (Zarza-González, 2011). Al comparar la riqueza de especies de erizos regulares encontradas con otras investigaciones realizadas en diversas áreas del Caribe y en Colombia, se observa que los valores reportados son similares a los encontrados por Quinn-Lampson *et al.* (2015) en Corn Island- Nicaragua y a los de Gaitán-Espitia (2008) y Urrego-Salinas *et al.* (2016) con siete y ocho especies en Santa Marta y el Cabo de la Vela-Colombia, respectivamente.

Las especies reportadas en esta investigación figuran como las más frecuentes dentro de trabajos de estructura comunitaria de equinodermos en el Caribe (Laguarda-Figueras *et al.* 2005; Gaitán-Espitia, 2008; Quinn-Lampson *et al.* 2015; Urrego-Salinas *et al.* 2016). Por otro lado, Morgan & Cowles (1997) y Reyes Bonilla *et al.* (2005) mencionan que en zonas arrecifales donde se presenten variedad de tipos de fondo y alta productividad local pueden permitir el establecimiento de comunidades de erizos.

En cuanto a los valores de abundancia reportados para *E. lucunter* y *E. viridis*, Lawrence (2001) manifiesta que las especies de este género son los más ubicuos y abundantes en la zona tropical, lo que se le atribuye al pequeño tamaño corporal, forma de cuerpo oblongo, comportamiento y dieta flexible, altas tasas de reproducción y reclutamiento y bajos requisitos de recursos; todas estas características de su historia de vida les permiten sobrevivir en ambientes crípticos y estresantes. Las altas abundancias de estas especies concuerdan con lo reportado por González-Gándara *et al.* (2015), donde *E. lucunter* fue la más abundante en zonas de sustrato duro del Sistema Arrecifal Veracruzano, con densidades de hasta 20 ind/m² y con la información obtenida por Morales-Quijano *et al.* (2017), para *E. viridis*, en los arrecifes de Lobos-Tuxpan, México. Celaya-Hernández *et al.* (2008) sugieren que ambas especies cohabitan y muestran las mismas preferencias por el tipo de sustrato.

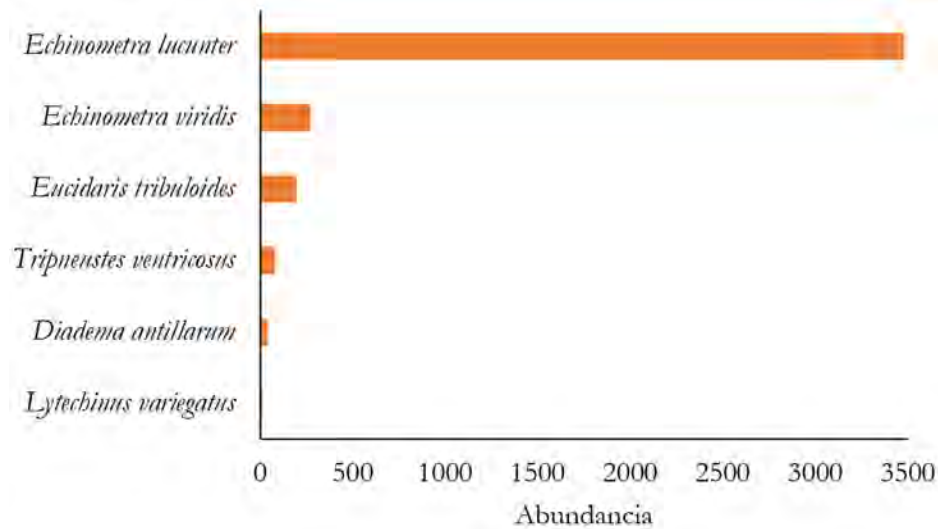


Figura 2. Abundancia de las especies de equinoideos regulares presentes en Isla Fuerte, Colombia.

Por otra parte, las bajas abundancias de *L. variegatus* pueden ser el resultado de factores bióticos o abióticos episódicos (Watts *et al.* 2007). Beddingfield & McClintock (2001) manifiestan que una de las variables que incide directamente sobre la abundancia de *L. variegatus* es la depredación por parte de peces y aves playeras, además, la exposición a la desecación puede ser fatal para su sobrevivencia. La presencia exclusiva de *L. variegatus* en Punta El Inglés puede estar relacionada con las extensiones de praderas de *Thalassia testudinum* Banks ex König, 1805, que se encuentra en el sector, el cual, es su hábitat más frecuente, por sus hábitos alimenticios.

La forma de las curvas de rango abundancia en los sectores de Punta El Inglés y El Latal pone en evidencia que las comunidades de equinoideos son más equitativas, debido a que las pendientes son más suaves, lo que indica que existe poca diferencia entre las especies más abundantes y las que les siguen, contrario a San Diego, donde las disimilitudes en la abundancia forman una curva inclinada (Figura 3).

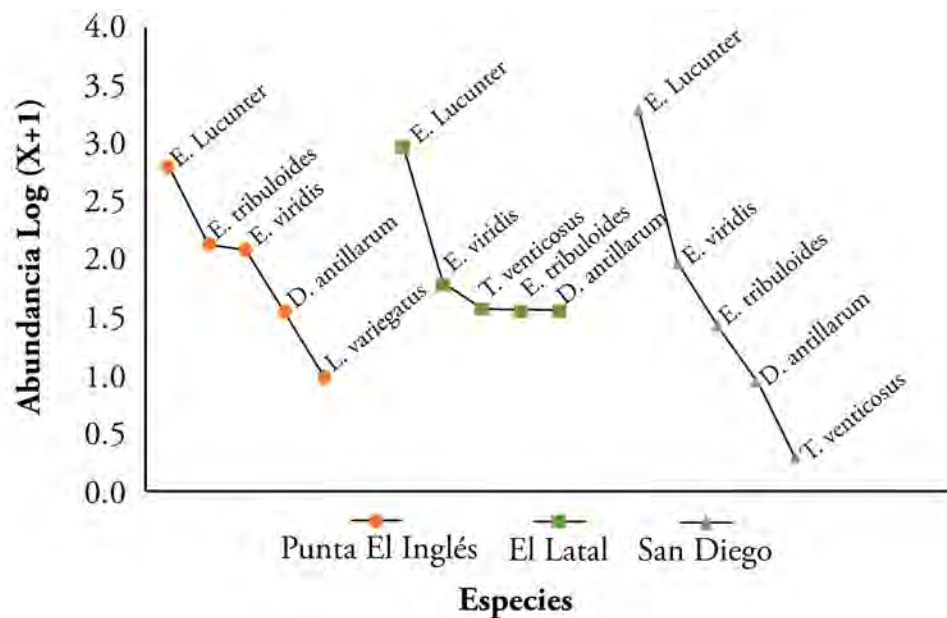


Figura 3. Curvas de rango-abundancia de las especies de equinoideos regulares en las tres localidades de Isla Fuerte, Colombia.

La densidad media de equinoideos en el área de estudio fue de $0,54 \pm 0,24$ ind/m², donde San Diego presentó la mayor densidad promedio del estudio, seguida de El Latal y Punta El Inglés, con el menor valor. *E. lucunter* mostró predominancia en las tres localidades, con valores de densidades máximas en San Diego; por su parte, las menores densidades las presentó *Diadema antillarum*,

en San Diego y *L. variegatus*, que estuvo restringida en Punta El Inglés (Tabla 1). De acuerdo con el ANOVA-F se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de densidad de *E. lucunter* de las distintas localidades ($p < 0,05$), al igual que las densidades de *Eucidaris tribuloides* (Lamarck, 1816) ($p < 0,05$).

Tabla 1. Densidad de las especies de equinoideos regulares en Isla Fuerte, Colombia.

Especies	Densidad (ind/m ²)			Densidad Promedio
	Punta El Inglés n= 911	El Latal n=1.098	San Diego n=2.052	
<i>Echinometra lucunter</i>	1,47	2,22	4,58	2,76 ± 1,62
<i>Echinometra viridis</i>	0,28	0,14	0,22	0,21 ± 0,07
<i>Eucidaris tribuloides</i>	0,31	0,08	0,06	0,15 ± 0,14
<i>Diadema antillarum</i>	0,08	0,08	0,02	0,06 ± 0,03
<i>Tripneustes ventricosus</i>	0	0,09	0	0,03 ± 0,05
<i>Lytechinus variegatus</i>	0,02	0	0	0,01 ± 0,01
Densidad promedio	0,36 ± 0,56	0,43 ± 0,88	0,81 ± 1,85	0,54 ± 0,24

Respecto al valor de densidad general de *E. lucunter*, éste se encuentra por debajo de lo reportado por Monroy López & Solano (2005), quienes muestran una densidad de $46 \pm 8,66$ ind/m² en ocho localidades del Caribe colombiano; sin embargo, si se compara con respecto a otras regiones del Atlántico, las densidades promedio registradas en el estudio son mayores, lo que hace suponer que en el Caribe colombiano se presentan condiciones favorables para el desarrollo de este erizo (Abbott *et al.* 1974). En general, las zonas intermareales con sustrato rocoso y oleaje intenso favorecen el establecimiento de las poblaciones de *E. lucunter* (Celaya-Hernández *et al.* 2008). Asimismo, las densidades reportadas en el sector San Diego, se explican a que este sitio se caracteriza por la presencia de rocas de diferentes tamaños y corales que puede brindar a los erizos, espacios de refugio, debido a los hábitos ramoneadores sobre sustratos vivos o muertos (Pompa *et al.* 1989). Las bajas densidades reportadas para *D. antillarum*, *T. ventricosus* y *L. variegatus* pueden estar determinada por varios procesos y factores, donde el tipo de sustrato, la disponibilidad de alimento y los atributos del oleaje pueden ser determinantes (Noriega *et al.* 2006).

Las bajas densidades de *D. antillarum* son comunes en el Caribe y en el Atlántico occidental. Los datos obtenidos en este trabajo se ajustan a lo reportado por Edmunds & Carpenter (2001), en la costa norte de Jamaica, por Noriega *et al.* (2006), en la costa de Venezuela y por González-Gaviria & García-Urueña (2011), en el Parque Nacional Natural Tayrona en Colombia, donde *D. antillarum* alcanza densidades inferiores a 1,16 ind/m². A pesar de tener bajas densidades, la presencia de esta especie es un buen indicativo de la salud de los arrecifes coralinos (Lessios *et al.* 2001).

Por su parte, *T. ventricosus* y *L. variegatus* se relacionan con áreas donde se desarrollan pastos marinos (Watts *et al.* 2013), lo cual, podría explicar su presencia en Punta El Inglés y El Latal.

Respecto a la diversidad alfa, se determinó la misma riqueza de especies ($S=5$) para las tres localidades; sin embargo, Punta El Inglés presentó mayor diversidad, uniformidad y distintividad taxonómica promedio, al compararlo con los valores obtenidos en El Latal y San Diego (Tabla 2). San Diego obtuvo mayores valores en cuanto al índice de Dominancia de Simpson, en comparación con las demás localidades. De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, el índice de distintividad taxonómica promedio fue el único que no presentó diferencias estadísticamente significativas entre las tres localidades de estudio ($p>0,05$). El análisis de similitud de Bray-Curtis muestra una asociación entre San Diego y El Latal (87,58), mientras que Punta El Inglés forma una agrupación independiente (Figura 4).

La diversidad de erizos puede estar determinada por las condiciones estructurales y ambientales del hábitat (Bronstein & Loya, 2014), por lo que sitios con mayor heterogeneidad de sustratos presentarían mayor diversidad, como es el caso de Punta El Inglés. En cuanto al índice de Pielou, sus valores son interpretados como probabilidades, por lo que, en este estudio, a nivel general, se presentó una probabilidad moderada (0,39), de que las especies de equinoideos sean igualmente abundantes. Una comparación entre los valores por sitio, indica que San Diego es más heterogéneo que El Latal y Punta El Inglés.

Tabla 2. Índices de diversidad y abundancia de equinoideos regulares en Isla Fuerte, Colombia. S: número de especies; n: número de organismos; H': diversidad de Shannon-Wiener; J': Uniformidad de Pielou; λ : Dominancia de Simpson; Δ^+ : Índice de distintividad taxonómica promedio.

Localidades	S	n	H'	J'	λ	Δ^+
Punta El Inglés	5	911	0,98	0,61	0,5	4,68
El Latal	5	1.098	0,63	0,39	0,73	4,36
San Diego	5	2.052	0,28	0,18	0,88	4,36

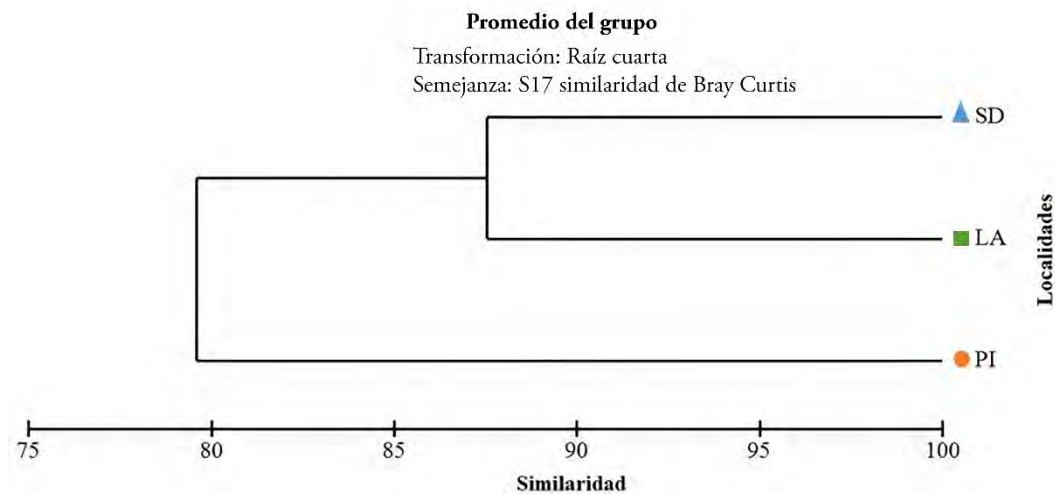


Figura 4. Dendrograma de clasificación según el índice de similitud de Bray-Curtis, que muestra las asociaciones entre los sectores de Isla Fuerte. Abreviaturas: SD: San Diego, LA: Latal, PI: Punta El Inglés.

En este trabajo se incluyó el índice de distintividad taxonómica promedio (Δ^+). De acuerdo con Tucker *et al.* (2017), la incorporación de información filogenética en la evaluación de la biodiversidad se utiliza con mayor frecuencia en macroecología, ecología de comunidades y sus principales aplicaciones están enfocadas a la conservación biológica y evaluación de impacto ambiental (Leonard *et al.* 2006). Teniendo en cuenta este enfoque, los ensamblajes más diversos serán los que presenten un valor más alto de Δ^+ , ya que eso implicaría una mayor separación filogenética entre los individuos o especies de un ensamble (Moreno *et al.* 2009). Por lo tanto, a pesar de que no existieron diferencias marcadas de este índice entre las localidades estudiadas, se registraron claramente valores más altos de dicho índice en Punta El Inglés, al igual que los índices de estructura comunitaria tradicionales.

El análisis de similitud de Bray-Curtis mostró la conformación de dos grupos. El Latal y San Diego, ambas ubicadas en el sotavento, estuvieron asociadas, debido a que presentan igual riqueza específica; por su parte, Punta El Inglés forma un grupo independiente. Esta última localidad se encuentra en el Barlovento de la isla, presentó la menor abundancia general y con la presencia exclusiva de *L. variegatus*. De acuerdo con Gladstone (2007) existe una relación directa entre la riqueza de especies y la heterogeneidad ambiental. Adicionalmente, la complejidad estructural determina

el comportamiento de los organismos bentónicos que, a su vez, influye en la dinámica de las poblaciones y la estructura comunitaria del ecosistema (Kostylev *et al.* 2003).

En conclusión, Isla fuerte constituye un área relativamente heterogénea, donde la fisiografía y la presencia de ecosistemas estratégicos ofrecen condiciones para la supervivencia y el establecimiento de equinoideos regulares. La diversidad y abundancia de estos organismos responden a las condiciones ecológicas, propias de cada localidad, en el que las especies pueden ser afectadas por el tipo de sustrato, el oleaje y la complejidad del microhábitat. La información presentada en este trabajo puede ser una referencia útil para evaluar cualquier cambio físico a corto o largo plazo, en la fauna de equinoideos en Isla Fuerte y contribuye a ampliar el conocimiento ecológico de este grupo en Colombia.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad de Córdoba, por la financiación de la investigación (FCB-15-19). Igualmente, se agradece a Wilson Medrano y Cleiber Díaz, por su apoyo en la logística y a Juan Vergara, por su asesoría estadística y la elaboración del mapa de este documento. Finalmente, a los evaluadores y al Comité Editorial por sus valiosos aportes. **Conflictos de intereses:** El presente 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. Contribución de los autores. David Olascoaga Valverde: conceptualización, investigación y redacción-borrador original. Carlos A. Nisperuza-Pérez: investigación, análisis formal y redacción-revisión y edición. Juan Yepes Escobar: adquisición de fondos, validación y redacción-borrador original. Jorge A. Quirós-Rodríguez: curación de datos, supervisión, visualización, redacción-revisión y edición.

REFERENCIAS

1. ABBOTT, D.P.; OGDEN J.C.; ABBOTT, I.A. 1974. Studies on the activity pattern, behavior, and food of the echinoid *Echinometra lucunter* (Linnaeus) on beachrock and algal reefs at St. Croix, U.S. Virgin Islands. West Indies Laboratory Special Publication. 4:1-11.
2. ALVARADO, J.J.; SOLÍS-MARÍN, F.A.; AHEARN, C. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Centroamericano. Revista de Biología Tropical. 56(3):37-55. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i3.27078>
3. ALVARADO, J.J. 2011. Echinoderm diversity in the Caribbean Sea. Marine Biodiversity. 41:261-285. <https://doi.org/10.1007/s12526-010-0053-0>
4. ANDERSON, M.; GORLEY, R.; CLARKE, R. 2008. Permanova+ for Primer: guide to software and statistical methods. PRIMER-E Ltd. Plymouth. 218p.
5. APPELTANS, W.; AHYONG, S.T.; ANDERSON, G.; ANGEL, M.V.; ARTOIS, T.; BAILLY, N.; BAMBER, R.; BARBER, A.; BARTSCH, I.; BERTA, A.; BŁAŻEWICZ-PASZKOWYCZ, M.; BOCK, P.; BOXSHALL, G.; BOYKO, C.B.; BRANDÃO, S.N.; BRAY, R.A.; BRUCE, N.L.; CAIRNS, S.D.; CHAN, T.Y.; CHENG, L.; COLLINS, A.G.; CRIBB, T.; CURINI-GALLETTI, M.; DAHDOUN-GUEBAS, F.; DAVIE, P.J.F.; DAWSON, M.N.; DE CLERCK, O.; DECOCK, W.; DE GRAVE, S.; DE VOOGD, N.J.; DOMNING, D.P.; EMIG, C.C.; ERSÉUS, C.; ESCHMEYER, W.; FAUCHALD, K.; FAUTIN, D.G.; FEIST, S.W.; FRANSEN, C.H.J.M.; FURUYA, H.; GARCIA-ALVAREZ, O.; GERKEN, S.; GIBSON, D.; GITTENBERGER, A.; GOFAS, S.; GÓMEZ-DAGLIO, L.; GORDON, D.P.; GUIRY, M.D.; HERNANDEZ, F.; HOEKSEMA, B.W.; HOPCROFT, R.R.; JAUME, D.; KIRK, P.; KOEDAM, N.; KOENEMANN, S.; KOLB, J.B.; KRISTENSEN, R.M.; KROH, A.; LAMBERT, G.; LAZARUS, D.B.; LEMAITRE, R.; LONGSHAW, M.; LOWRY, J.; MACPHERSON, E.; MADIN, L.P.; MAH, C.; MAPSTONE, G.; MCLAUGHLIN, P.A.; MEES, J.; MELAND, K.; MESSING, C.G.; MILLS, C.E.; MOLODTSOVA, T.N.; MOOI, R.; NEUHAUS, B.; NG, P.K.L.; NIELSEN, C.; NORENBURG, J.; OPRESKO, D.M.; OSAWA, M.; PAULAY, G.; PERRIN, W.; PILGER, J.F.; POORE, G.C.B.; PUGH, P.; READ, G.B.; REIMER, J.D.; RIUS, M.; ROCHA, R.M.; SAIZ-SALINAS, J.I.; SCARABINO, V.; SCHIERWATER, B.; SCHMIDT-RHAESA, A.; SCHNABEL, K.E.; SCHOTTE, M.; SCHUCHERT, P.; SCHWABE, E.; SEGERS, H.; SELF-SULLIVAN, C.; SHENKAR, N.; SIEGEL, V.; STERRER, W.; STÖHR, S.; SWALLA, B.; TASKER, M.L.; THUESEN, E.V.; TIMM, T.; TODARO, M.A.; TURON, X.; TYLER, S.; UETZ, P.; VAN DER LAND, J.; VANHOORNE, B.; VAN OFWEGEN, L.P.; VAN SOEST, R.W.M.; VANAVERBEKE, J.; WALKER-SMITH, G.; WALTER, T.C.; WARREN, A.; WILLIAMS, G.C.; WILSON, S.P.; COSTELLO, M.J. 2012. The magnitude of global marine species diversity. Current Biology. 22(23):2189-2202. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.09.036>
6. BEDDINGFIELD, S.D.; MCCLINTOCK, J.B. 2001. Demographic characteristics of *Lytechinus variegatus* (Echinoidea: Echinodermata) from three habitats in a North Florida Bay, Gulf of Mexico. Marine Ecology. 21:17-40. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0485.2000.00688.x>
7. BENAVIDES-SERRATO, M.; BORRERO-PÉREZ, G.H.; CANTERA, K.J.; COHEN-RENGIFO, M.; NEIRA, R. 2013. Echinoderms of Colombia. En: Alvarado, J.; Solís-Marín, F. (eds). Echinoderm research and diversity in Latin America. Springer. Berlín. p.145-182.
8. BERNSTEIN, B.B.; WILLIAMS, B.E.; MANN, K.H. 1981. The role of behavioral responses to predators in modifying urchins' (*Strongylocentrotus droebachiensis*) destructive grazing and seasonal foraging patterns. Marine Biology. 63:37-49. <https://doi.org/10.1007/BF00394661>
9. BORRERO-PÉREZ, G.H.; SOLANO, O.D.; BENAVIDES-SERRATO, M. 2002. Lista revisada de los erizos (Echinodermata: Echinoidea) del mar Caribe Colombiano. Biota Colombiana. 31:141-148.
10. BORRERO-PÉREZ, G.H.; BENAVIDES-SERRATO, M.; DÍAZ-SÁNCHEZ, C. 2012. Equinodermos del Caribe Colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea. Santa Marta, Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No 30. 250p.
11. BRONSTEIN, O.; LOYA, Y. 2014. Echinoid community structure and rates of herbivory and bioerosion on exposed and sheltered reefs. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 456:8-17. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.03.003>
12. BURKE, L.; REYTAR, K.; SPALDING, M.; PERRY, A. 2011. Reefs at risk revisited. World Resources Institute. Washington D.C. 144p.

13. CAMERON, R.A.; SCHROETER, S.C. 1980. Sea urchin recruitment: Effects of substrate selection on juvenile distribution. *Marine Ecology- Progress Series*. 2: 243-247.
14. CASO, M.E. 1977. Órdenes Cidaroida y Aulodonta. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México. 83:1-244.
15. CASO, M.E. 1978. Los equinoideos del Pacífico de México. Parte I. Ordenes Ciclasoidea y Aulodonta. Parte II: Ordenes Steridonta y Camarodonta. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México. 4:1-244.
16. CELAYA-HERNÁNDEZ, E.V.; SOLÍS-MARÍN, F.A.; LAGUARDA-FIGUERAS, A.; DURÁN-GONZÁLEZ, A.D.L.; RODRÍGUEZ, T.R. 2008. Asociación a sustratos de los erizos regulares (Echinodermata: Echinoidea) en la laguna arrecifal de Isla Verde, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*. 56(3):281-295. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i3.27144>
17. CRAIN, C.M.; KROEKER, K.; HALPERN, B.S. 2008. Interactive and cumulative effects of multiple human stressors in marine systems. *Ecology Letters*. 11(12):1304-1315. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01253.x>
18. DESSAU, R.B.; PIPPER, C.B. 2008. "R"--project for statistical computing. *Ugeskrift for laeger*. 170(5):328-330.
19. DÍAZ, J.M.; BARRIOS, L.M.; CENDALES, M.H.; GARZÓN-FERREIRA, J.; GEISTER, J.; LÓPEZ-VICTORIA, M.; OSPINA, G.H.; PARRA-VELANDIA, F.; PINZÓN, J.; VARGAS-ANGEL, B.; ZAPATA, F.A.; ZEA, S. 2000. Áreas coralinas de Colombia. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No 5. Santa Marta. 176p.
20. DÍAZ, J.M.; SÁNCHEZ, J.A.; PULIDO, G.D. 1996. Geomorfología y formaciones arrecifales recientes de Isla Fuerte y Bajo Bushnell, plataforma continental del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 25:87-105.
21. EDMUNDS, P.J.; CARPENTER, R.C. 2001. Recovery of *Diadema antillarum* reduces macroalgal cover and increases abundance of juvenile corals on a Caribbean reef. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 98(9):5067-5071. <https://doi.org/10.1073/pnas.071524598>
22. ELMASRY, E.; OMAR, H.A.; ABDEL RAZEK, F.A.; EL-MAGD, M.A. 2013. Preliminary studies on habitat and diversity of some sea urchin species (Echinodermata: Echinoidea) on the southern Levantine basin of Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 39(4):303-311. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2013.12.009>
23. ESTELA, F.A. 2006. Aves de Isla Fuerte y Tortuguilla, dos islas de la plataforma continental de Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 35:267-272. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2006.35.0.231>
24. ETTER, A. 1993. Diversidad ecosistémica en Colombia hoy. Nuestra diversidad biótica. CEREC y Fundación Alejandro Angel Escobar. Bogotá. 61p.
25. GAITÁN-ESPITIA, J. 2008. Estructura de la comunidad del phylum Echinodermata en aguas someras de la bahía de Taganga, Caribe Colombiano. *Revista Actualidad & Divulgación Científica*. 11(1):85-93. <https://doi.org/10.31910/rudca.v11.n1.2008.605>
26. GLADSTONE, W. 2007. Requirements for marine protected areas to conserve the biodiversity of rocky reef fishes. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*. 17:71-87. <https://doi.org/10.1002/aqc.759>
27. GLYNN, P.W.; ENOCHS, I.C. 2011. Invertebrates and their roles in coral reef ecosystems. En: Dubinsky, Z.; Stambler, N. (eds). *Coral reefs: an ecosystem in transition*. Springer. Dordrecht. p.273-325. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_18
28. GONZÁLEZ, D.N.; SOLANO O.D.; NAVAS G.R. 2002. Equinodermos colectados por la expedición CIOH-INVEMAR-SMITHSONIAN desde Cartagena hasta el Golfo de Urabá, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 31:85-132.
29. GONZÁLEZ-GÁNDARA, C.; SOLÍS-MARÍN, F.A.; DE LA CRUZ-FRANCISCO, V.; GRANADOS-BARBA, A.; SALAS-PÉREZ, J.D.J.; ARGÜELLES-JIMÉNEZ, J.; ESCÁRCEGA-QUIROGA, P.A. 2015. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes del norte y sur de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*. 63(2):183-193.
30. GONZÁLEZ-GAVIRIA, F.T.; GARCÍA-URUEÑA, R. 2011. Estado actual de las poblaciones del erizo *Diadema antillarum Philippi* (Echinoidea: Diadematidae) en el Parque Nacional Tayrona y Playa Blanca, Santa Marta, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 40(2):401-417.
31. HENDLER, G.; MILLER, J.E.; PAWSON, D.L. 1995. Sea stars, Sea urchins, and Allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press (Washington D.C.). 390p.
32. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS, INVEMAR. 2009. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia. Serie de Publicaciones periódicas No 8 (Santa Marta). 244p.

33. KOSTYLEV, V.E.; COURTNEY, R.C.; ROBERT, G.; TODD, B.J. 2003. Stock evaluation of giant scallop *Placopecten magellanicus* using high-resolution acoustics for seabed mapping. *Fisheries Research*. 60:479-492. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(02\)00100-5](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00100-5)
34. LAGUARDA-FIGUERAS, A.; SOLÍS-MARÍN, F.A.; DURÁN-GONZÁLEZ, A.; AHEARN, C.G.; SÁNCHEZ, B.E.; TORRES-VEGA, J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical*. 53(3):109-122. <https://doi.org/10.15517/rbt.v53i3.26767>
35. LAWRENCE, J.M. 2001. Edible sea urchins: biology and ecology. Elsevier (Ámsterdam). 419p.
36. LEONARD, D.R.P.; CLARKE, K.R.; SOMERFIELD, P.J.; WARWICK, R.M. 2006. The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessments. *Journal of Environmental Management*. 78(1):52-62. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.008>
37. LESSIOS, H.A.; GARRIDO, M.J.; KESSING, B.D. 2001. Demographic history of *Diadema antillarum*, a keystone herbivore on Caribbean reefs. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*. 268:2347-2353. <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1806>
38. METAXAS, A.; YOUNG, C.M. 1998. Response of echinoid larvae to food patches of different algal densities. *Marine Biology*. 130: 433-445. <https://doi.org/10.1007/s002270050264>
39. MONROY LÓPEZ, M.; SOLANO, O.D. 2005. Estado poblacional de *Echinometra lucunter* Echinoidea: Echinometridae y su fauna acompañante en el litoral rocoso del Caribe Colombiano. *Revista de Biología Tropical*. 53(3):291-297. <https://doi.org/10.15517/rbt.v53i3.26787>
40. MORALES-QUIJANO, I.; DE LA CRUZ FRANCISCO, V.; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, M.; ARGÜELLES-JIMÉNEZ, J. 2017. Diversidad y abundancia de los equinodermos y su relación con la cobertura bentónica del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*. 92:51-74. <http://dx.doi.org/10.15359/revmar.9-2.3>
41. MORENO, C.E.; CASTILLO-CAMPOS, G.; VERDÚ, J.R. 2009. Taxonomic diversity as complementary information to assess plant species diversity in secondary vegetation and primary tropical deciduous forest. *Journal of Vegetation Science*. 20(5):935-943. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01094.x>
42. MORGAN, M.B.; COWLES, D.L. 1997. The effects of temperature on the behaviour and physiology of *Phataria unifascialis* Gray (Echinodermata, Asteroidea) implications for the species' distribution in the Gulf of California, Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 208(1-2):13-27. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(96\)02675-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(96)02675-5)
43. NORIEGA, N.; PAULS, S.M.; DEL MÓNACO, C. 2006. Abundancia de *Diadema antillarum* (Echinodermata: Echinoidea) en las costas de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*. 54(3):793-802. <https://doi.org/10.15517/rbt.v54i3.12789>
44. POMPA, L.; PRIETO, A.; MANRIQUE, R. 1989. Abundancia y distribución espacial en la población del erizo *Echinometra lucunter* L. en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*. 40:289-294.
45. QUINN-LAMPSON, S.R.; BENITO-SANDINO, O.; SOLÍS-MARÍN, F.A.; ARRIAGA-OCHOA, J.; LAGUARDA-FIGUERAS, A. 2015. Primeros registros de equinodermos (Echinodermata) en aguas someras de Corn Island, Caribe, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical*. 63:27-35. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v63i2.23126>
46. REYES BONILLA, H.; GONZÁLEZ AZCÁRRAGA, A.; ROJAS SIERRA, A. 2005. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar Asteroidea en arrecifes rocosos del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*. 53(3):233-244. <https://doi.org/10.15517/rbt.v53i3.26779>
47. ROGERS, C.; GARRISON, G.; GORBER, G.; HILLIS, Z.; FRANKE, M. 1994. Manual para el monitoreo de Arrecifes en el Caribe y el Atlántico occidental. USVI: US National Park Service (Washington D.C.). 119p.
48. SCHROETER, S.C.; DIXON, J.D.; EBERT, T.A.; RANKIN, J.V. 1996. Effects of kelp forests *Macrocystis pyrifera* on the larval distribution and settlement of the red and purple sea urchins *Strongylocentrotus franciscanus* and *S. purpuratus*. *Marine Ecology Progress Series*. 133:125-134.
49. SEGOVIA, J.; GUERRA, G.; RAMOS, F. 2017. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes rocosos de Punta Amapala y Los Cóbanos, El Salvador. *Revista de Biología Tropical*. 65(1):S92-S100. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i1-1.31670>
50. TORREBLANCA-RAMÍREZ, C.; FLORES-GARZA, R.; FLORES-RODRÍGUEZ, P.; GARCÍA-IBÁÑEZ, S.; GALEANA-REBOLLEDO, L. 2012. Riqueza, composición y diversidad de la comunidad de moluscos asociada al sustrato rocoso intermareal de playa Parque de la Reina, Acapulco, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 47(2):283-294. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572012000200010>

51. TUCKER, C.M.; CADOTTE, M.W.; CARVALHO, S.B.; DAVIES J.; FERRIER, S.; FRITZ, S.A.; GRENYER, R.; HELMUS, M.R.; JIN, L.S.; MOOERS, A.O.; PAVOINE, S.; PURSCHKE, O.; REDDING, D.W.; ROSAUER, D.F.; WINTER, M.; MAZEL, F. 2017. A guide to phylogenetic metrics for conservation, community ecology and macroecology. *Biological Reviews*. 92:698-715. <https://doi.org/10.1111/brv.12252>
52. URREGO-SALINAS, M.; PENA-QUEVEDO, H.; DUEÑAS-VALDERRAMA, F. 2016. Equinodermos del Cabo de la Vela La Guajira, Colombia en la colección de referencia de la Universidad El Bosque. *Biota Colombiana*. 17(1):124-130. <https://doi.org/10.21068/C2016v17r01a09>
53. WATTS, S.A.; MCCLINTOCK, J.B.; LAWRENCE, J.M. 2007. Chapter 23 Ecology of *Lytechinus*. En: *Developments in aquaculture and fisheries science*. Volumen 37. Elsevier. p.473-497.
54. WATTS, S.; LAWRENCE, A.; LAWRENCE, J.; LAWRENCE, J.M. 2013. Sea urchins: biology and ecology. En: Lawrence, J.M. (ed). *Ecology of *Centrostephanus**. Elsevier Science. p.155-169.
55. ZAR, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Upper Saddle River, Nueva Jersey, Prentice Hall. 663p.
56. ZARZA-GONZÁLEZ, E. 2011. El Entorno ambiental del Parque Nacional Natural Corales Del Rosario y de San Bernardo (PNNCRSB). Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Banco Mundial - GEF, Patrimonio Natural - Fondo para Biodiversidad y las Áreas Protegidas. Cartagena, Colombia. 416p.

Evaluación de resiliencia urbana: percepción ciudadana en paisajes sostenibles, agroforestería y regeneración del espacio público

Assessment of urban resilience: Citizen perception in sustainable landscapes, agroforestry, and public space regeneration

Christian Valderrama^{1*} ; Alexandra Ceron² 

¹Universidad Complutense de Madrid, Instituto Universitario de Ciencias Ambientales (IUCA). Madrid, España; e-mail: chrivald@ucm.es

²Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Neiva - Huila, Colombia; e-mail: alexandra.ceron@unad.edu.co

*autor de correspondencia: chrivald@ucm.es

Cómo citar: Valderrama, C.; Ceron, A. 2023. Evaluación de resiliencia urbana: percepción ciudadana en paisajes sostenibles, agroforestería y regeneración del espacio público. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2246. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2246>

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

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

Recibido: marzo 17 de 2022

Aceptado: diciembre 13 de 2023

Editado por: Sandra Quijas Fonseca

RESUMEN

El crecimiento no controlado de la población en ciudades latinoamericanas tiene consecuencias negativas en los ecosistemas urbanos, incluyendo la disminución de la cobertura vegetal, la fragmentación de ecosistemas y la pérdida de servicios ecosistémicos. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la percepción de la población acerca de la recuperación y la restauración del espacio público, mediante un programa de paisajes sostenibles con árboles frutales, con el fin de fortalecer los servicios ecosistémicos de regulación, de aprovisionamiento y culturales, en ciudades intermedias, utilizando Neiva, Colombia, como estudio de caso. Se identificó el espacio público disponible en andenes y separadores en las vías principales; se llevó a cabo un censo de especies arbóreas y arbustivas de árboles frutales urbanos hasta 2020 y se aplicó una encuesta tipo Likert, a 352 habitantes de la ciudad. La encuesta exploró la percepción y la receptividad hacia la implementación de programas de este tipo, como herramienta de desarrollo territorial. Se encontró que el 27 % del espacio público estudiado es adecuado para la reforestación, con 2.025 especímenes frutales establecidos, destacando la presencia de *Syzygium malaccense* y *Mangifera indica*. A pesar de que la disposición de estas especies no garantiza su consumo, su alta frecuencia, sugiere un potencial para contribuir a la seguridad alimentaria urbana. Estos hallazgos resaltan la necesidad de comprender la compleja relación entre percepciones ambientales y participación ciudadana, proporcionando bases valiosas en el diseño de intervenciones y políticas, que fortalezcan la conciencia y la acción ambiental, en entornos urbanos.

Palabras clave: Agricultura urbana; Bosques alimentarios urbanos; Paisajes comestibles, planificación urbana; Sostenibilidad.

ABSTRACT

The uncontrolled population growth in Latin American cities negatively impacts urban ecosystems, including reduced vegetation coverage, fragmentation, and the loss of ecosystem services. This research aimed to assess the population's perception of the recovery and restoration of public spaces through a sustainable landscape program featuring fruit trees. The goal was to enhance the ecosystem services of regulation, provisioning, and cultural services in intermediate cities, using Neiva, Colombia, as a case study. Public spaces on sidewalks and medians along main roads were identified with urban fruit trees. A census of these trees and shrub species has been conducted recently, up to 2020. A Likert-type survey was administered to 352 city residents, exploring their perception and receptivity to such programs as tools for territorial development. It was found that 27% of the studied public space is suitable for reforestation, with 2,025 established fruit specimens, including *Syzygium malaccense* and *Mangifera indica*. Although the presence of these species does not guarantee consumption, their high frequency suggests potential contributions to urban food security. These findings underscore the need to understand the complex relationship between environmental perceptions and citizen participation, providing valuable insights for designing interventions and policies that strengthen ecological awareness and action in urban settings.

Keywords: Edible landscapes; Urban agriculture; Urban food forests; Urban planning; Sustainability.

INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de las poblaciones urbanas ha generado una creciente demanda de servicios ecosistémicos, siendo el 58 % de la población mundial residente en áreas urbanas (UN-HABITAT, 2022). Sumado a lo anterior, se debe resaltar cerca del 20 % de la población mundial, residen en ciudades que se encuentran en una categorización intermedia, es decir, con poblaciones que oscilan entre 50.000 y 1 millón de habitantes, emergen como zonas estratégicas para el desarrollo sostenible, caracterizadas por recursos ambientales urbanos relativamente intactos (Iglesias, 2016).

La urbanización impacta la distribución y la composición de los ecosistemas naturales, comprometiendo la calidad ambiental a escala global (Salvati *et al.* 2017). La proximidad de los asentamientos residenciales a los bosques aumenta el riesgo de fragmentación y de destrucción de estos ecosistemas, generando desafíos para el desarrollo de espacios verdes urbanos (Kabisch & Haase, 2013). Este enfoque en políticas de redensificación en áreas urbanas añade complejidad al desarrollo de espacios verdes (Kabisch *et al.* 2015), demandando la exploración de enfoques innovadores, que integren, eficientemente, múltiples servicios ecosistémicos (McLain *et al.* 2012).

Los ecosistemas urbanos desempeñan un papel esencial en el equilibrio de las ciudades, proporcionando beneficios más allá de lo holístico (Haase *et al.* 2014). Su interacción compleja y dinámica entre componentes naturales y sociales abarca áreas verdes planificadas, como parques y jardines, así como actividades humanas, convirtiendo a las ciudades en sistemas vivos, intrínsecamente entrelazados, entre sociedad y naturaleza (Wang *et al.* 2023b). Es por ello, que los espacios abiertos urbanos, como parques diseñados para la recreación y la conservación de la biodiversidad en entornos urbanos (Mwanzu *et al.* 2023), los pasos peatonales y plazas públicas, funcionan como puntos de encuentro, diseñados para caminar y disfrutar del entorno, así como de las diferentes actividades culturales (Patterson-Watson *et al.* 2022) y los jardines comunitarios gestionados por la comunidad, para cultivar plantas y alimentos, promoviendo la cohesión social (Irvine *et al.* 1999), han sido objeto de atención en las últimas décadas y han atraído una considerable atención en la investigación urbana.

El rol y uso de los ecosistemas urbanos han sido extensamente discutidos como espacios que albergan y conservan la biodiversidad urbana, valores sociales y la producción de alimentos (Clark & Nicholas, 2013; McLain *et al.* 2012; Miller *et al.* 2015). Los espacios verdes urbanos se vuelven cada vez más cruciales en la estructura territorial, vinculados a cualquier vegetación encontrada en el entorno urbano, como parques, jardines residenciales, bosques urbanos, árboles callejeros, techos verdes, paredes verdes, jardines de lluvia, cementerios, banquetas, terrenos baldíos, huertas, avenidas, camellones, calles, glorietas, canales y jardineras con vegetación (Kabisch *et al.* 2015; Madureira *et al.* 2015; Maldonado-Bernabé *et al.* 2019; Sallay *et al.* 2022).

Estos espacios no solo ofrecen servicios ecosistémicos fundamentales para los habitantes urbanos, como la mejora de la calidad del aire, almacenamiento y secuestro de carbono, disminución del efecto de la escorrentía, purificación de agua, mitigación del efecto de isla de calor, preservación de la biodiversidad, mejora del paisaje y elementos recreativos, sino que, también, desempeñan un papel crucial en aspectos relacionados con la salud física y mental, reducción del ruido y apreciación estética (Romero-Duque *et al.* 2020; Muñoz-Pacheco & Villaseñor, 2022).

La investigación sobre el potencial de los bosques alimentarios urbanos para mejorar y diversificar los servicios ecosistémicos y la biodiversidad ha sido objeto de atención reciente en diversas partes del mundo, como América del Norte, Canadá y Praga, en la República Checa (Janeček *et al.* 2019; Park *et al.* 2019). Estos lugares han estudiado estrategias, como la implementación de 76 huertos frutales de libre acceso, explorando su impacto en la recreación y la diversificación de la dieta humana. En contraste, en América Latina y el Caribe, la investigación sobre bosques alimentarios urbanos ha sido limitada, siendo Brasil, México y Chile, algunos de los países donde se ha abordado de manera más focalizada (Barona *et al.* 2020); sin embargo, los estudios realizados en estas regiones han estado principalmente orientados hacia políticas ambientales, mejoras del microclima urbano y dinámicas socioecológicas, sin un enfoque específico en el análisis detallado de los bosques alimentarios (Escobedo *et al.* 2008; Escobedo *et al.* 2015; Pérez-Campuzano *et al.* 2016).

Aunque se ha avanzado en la comprensión de aspectos ambientales y socioecológicos existe una carencia significativa en la investigación, que explore, a fondo, el impacto ambiental y urbanístico del paisajismo sostenible. Este enfoque, centrado en la capacidad de conservar y de restablecer las condiciones ecológicas del medio, se convierte en una herramienta esencial para la producción de servicios ecosistémicos y la garantía del equilibrio ecológico del territorio (Mateo Rodríguez & Bollo Manent, 2023). Este vacío de conocimiento se amplifica en el contexto de América Latina y el Caribe, donde los servicios ecosistémicos suministrados por los bosques urbanos necesitan ser explorados más profundamente, incorporando consideraciones sociales. Por lo tanto, es imperativo ampliar la investigación en ciudades intermedias, para comprender la dinámica espaciotemporal regional y abordar esta laguna en el conocimiento científico.

La presente investigación se centra en la ciudad de Neiva, capital del departamento del Huila, una ciudad intermedia, con una población cercana a los 366.000 habitantes. El propósito fundamental es evaluar la percepción de la población sobre la factibilidad de recuperar el espacio público, a través de un programa de paisajes sostenibles con árboles frutales. Esta estrategia se concibe como un enfoque innovador para desarrollar ciudades sostenibles, mejorando los aspectos ambientales y sociales, mediante la generación de alimentos urbanos y el fortalecimiento de servicios ecosistémicos de regulación y de aprovisionamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. Se llevó a cabo un estudio exploratorio de tipo descriptivo, con el objetivo de evaluar la percepción de la población sobre la factibilidad de recuperar el espacio público, mediante un programa de paisajes sostenibles comestibles, utilizando los principios de la agroforestería. La necesidad de investigar este tema se fundamenta en la importancia de promover entornos urbanos sostenibles y la falta de estudios específicos en esta área.

El área de investigación (23.807 m²), se delimito a las vías públicas principales dentro del casco urbano de Neiva, debido a que estas son un elemento clave dentro de la planificación urbana, puesto que brindan conectividad, frecuencia de acceso a los peatones y diferentes medios de transporte y oportunidades, para el desarrollo de soluciones enfocados en la sostenibilidad (Figura 1).

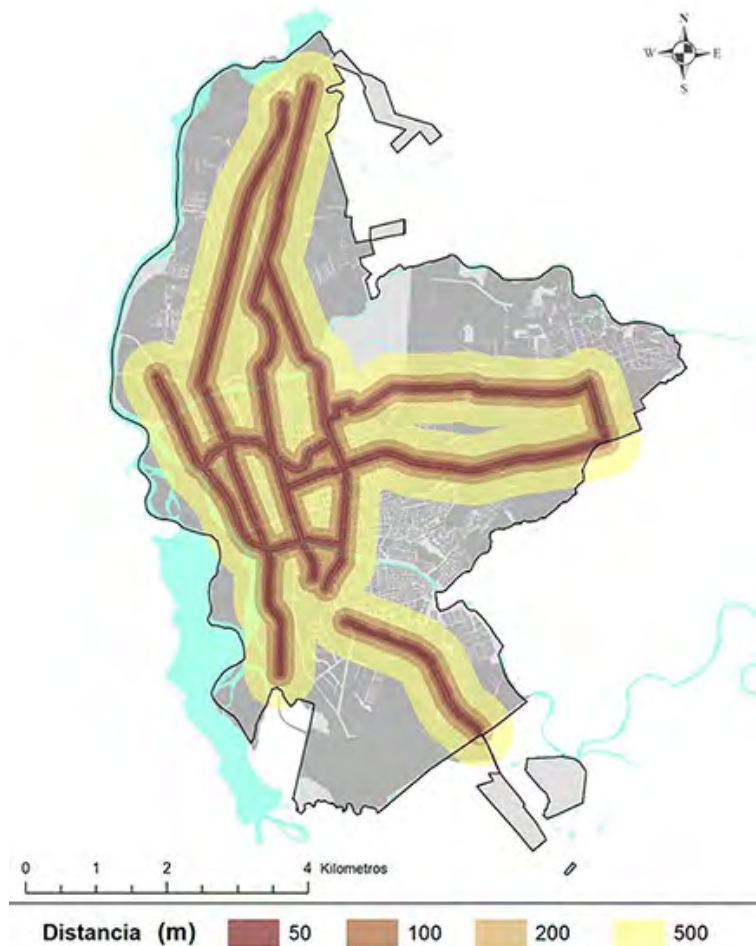


Figura 1. Área de estudio de las vías públicas principales en la ciudad de Neiva.

Método de muestreo y censo de especies. Se llevó a cabo un exhaustivo censo de especies de árboles frutales en el área de estudio, mediante la aplicación de un patrón de dispersión aleatorio en ambas aceras de la vía principal, iniciando desde el sendero peatonal y extendiéndose a distancias específicas de cero, cincuenta, cien, doscientos y quinientos metros. Esta elección metodológica se respalda en la clara necesidad de garantizar la representatividad espacial y la cobertura integral de condiciones ambientales variadas en el entorno urbano. Al implementar un enfoque aleatorio, se busca evitar sesgos preexistentes y maximizar la eficiencia en la recopilación de datos, permitiendo capturar la diversidad de especies de árboles frutales, presentes en el área de estudio. Este diseño de muestreo estratégico se alinea con los objetivos de obtener una visión completa de la distribución de especies en el entorno urbano,

contribuyendo a la validez y solidez de los resultados obtenidos en el contexto de la investigación, sobre la factibilidad de recuperar el espacio público, mediante paisajes sostenibles.

Encuesta y muestra. Se llevó a cabo una encuesta utilizando una escala de medición tipo Likert, entre el 2019 y 2020, dirigida a habitantes que residen o han residido cerca de las vías públicas seleccionadas. La muestra, compuesta por 3520 personas, se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico, contemplando criterios relacionados, como la proximidad a las vías públicas y la diversidad sociodemográfica. La encuesta se diseñó con el objetivo de abordar tres secciones de preguntas: la primera, analiza las características sociodemográficas de la población encuestada; la segunda, evalúa el interés de la comunidad por la preservación y

mejora de las áreas verdes y, la tercera, investiga la percepción sobre el consumo de frutas generadas en el casco urbano y el desarrollo de programas agroforestales urbanos. Para analizar las respuestas del instrumento, se debe tener claro el componente de cada sección; las respuestas se califican de la siguiente forma: “Siempre 5”, “Casi siempre 4”, “Normalmente 3”, “Algunas veces 2”, y “Nunca 1”.

Análisis estadístico. Este estudio aplicó técnicas de investigación descriptiva para caracterizar aspectos clave relacionados con el espacio público, identificación de especies, consumo y percepción de paisajes sostenibles. Se exploró la relación entre el interés comunitario en áreas verdes y variables, como Acciones Ambientales, Participación Medioambiental, Valoración del Arbolado Urbano y Agricultura Urbana, evaluadas mediante el coeficiente de correlación de Pearson y análisis del componente principal (ACP). Para analizar correlaciones entre nivel educativo y Agricultura urbana, se realizó un ANOVA, con un nivel de significancia del 95 % ($\alpha=0,05$). También, se ejecutó una prueba de correlación de Pearson, para examinar la relación entre consumo de frutas urbanas y tipos de árboles frutales identificados. Todas las pruebas y análisis estadísticos se llevaron a cabo con alta confiabilidad y precisión, mediante el software XLSTAT (Luvimero, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Disponibilidad del espacio público. Este estudio se centró en la disponibilidad del espacio público en las vías principales de la ciudad, abarcando 23,807 m², entre senderos peatonales y separadores. La georreferenciación reveló variaciones en las dimensiones de los separadores, mientras que la evaluación de la aptitud para la reforestación señaló que solo el 27 % (6,437 m²) cumplía con los requisitos mínimos, mientras que el 73 % restante (17.370 m²), requeriría intervenciones mediante obras civiles, para permitir la incorporación de acciones de planificación de urbana sostenible, que respalden la importancia del acceso a las áreas verdes (Gupta *et al.* 2016).

Identificación de árboles frutales en vías principales. Durante la fase de exploración en el 2019, se llevó a cabo un meticuloso muestreo de especies de árboles frutales establecidos en la ciudad, revelando una diversidad notable en las preferencias alimenticias de la población, con un total de población identificado de 2.025 especies. *Syzygium malaccense* encabeza la lista, con una frecuencia significativa de 962, indicando una preferencia destacada por esta especie. *Mangifera indica*, también se distingue, con una frecuencia de 717, sugiriendo un alto gusto por la especie o el fruto, entre los habitantes de la ciudad. *Cocos nucifera* y *Morina citrifolia* siguen en importancia, con frecuencias de 117 y 84, respectivamente, señalando su posible existencia dentro la dieta local. Otras especies, como *Anacardium occidentale*, *Citrus × limon*, y *Citrus × sinensis*, también fueron identificadas, aunque con frecuencias menores.

Es esencial destacar que este muestreo sirve para identificar la presencia de estas especies frutales en la ciudad; no obstante, aún no se puede inferir que estos árboles están sembrados con el propósito de consumir sus frutas y que forman parte de la dieta local; sin embargo,

estos productos públicos podrían contribuir significativamente a la seguridad alimentaria (Lafontaine & Olivier, 2017), pero se debe establecer una estrategia que reduzca la separación física, entre los sitios de producción y consumo de alimentos (Castro *et al.* 2018), con el propósito de mejorar la conectividad espacial entre estos dos factores, generando un beneficio en la sostenibilidad ambiental de los territorios.

Perfil sociodemográfico. Al analizar los resultados, se evidencia una distribución equilibrada entre géneros, con un 47 % de participantes masculinos y un 53 % femeninos, lo que subraya la representatividad de ambos grupos en la muestra. Con relación a la edad, se destaca una concentración significativa de individuos jóvenes, siendo el 41% de la población, situado en el rango de 18 a 25 años. En el ámbito socioeconómico, resalta la predominancia del estrato económico 2, abarcando el 61 % de la muestra, indicando una presencia destacada de participantes en estratos medios. Respecto a la educación, se observa que el 38 % de la población ostenta educación de bachiller, consolidándose como la categoría relevante (Tabla 1).

Percepción de los encuestados sobre el componente ambiental.

En el análisis de la percepción de la importancia del componente ambiental, se encontró que la *Valoración del Árbol Urbano* arrojó una mediana (IC) de 5(5 - 4), en donde se destaca una apreciación mayoritariamente positiva. La *Agricultura Urbana* revela una actitud favorable con una mediana (IC) de 3(4 - 2), indicando una aceptación generalizada de estas prácticas. En cuanto a las *Acciones Ambientales*, con una mediana (IC) de 3(4-2) y la *Participación Medioambiental*, con una mediana (IC) de 2(4-1), se evidenció una tendencia central hacia prácticas y participación moderadas. A pesar de la variabilidad, los resultados ofrecen una visión detallada de actitudes y de comportamientos equilibrados de la población hacia prácticas medioambientales y la Agricultura urbana, que ocurren cuando las personas reconocen en su pertenencia a un espacio y unas formas de vida compartidas y toman conciencia de su propia capacidad, para influir en sus entornos cercanos (Molina Posada *et al.* 2019).

Se llevó a cabo un análisis comparativo de las tendencias de respuesta de cada género con respecto a las variables ambientales clave. Se evidenció que en la ‘Valoración del Árbol Urbano’, la media fue de 4,557, destacando una valoración generalmente positiva, en donde las mujeres expresaron una valoración ligeramente superior (4,591), en comparación con los hombres (4,518), seguido por la ‘Agricultura Urbana’, cuya media fue de (3,188), indicando una actitud positiva hacia esta variable y, a su vez, reflejando percepciones bastante similares en los dos géneros. En cuanto a las otras dos variables, se observa una tendencia moderada, tal como se refleja en los histogramas de frecuencia (Figura 2).

De igual manera, se identificó que la importancia del arbolado urbano en los resultados de la encuesta reveló una percepción positiva y relativamente alta, con una media Media±Desviación estándar de 4.557±0.756. Estos valores indican una tendencia general hacia una percepción positiva y sugieren que la mayoría

de las respuestas se centraron alrededor de la puntuación más alta posible, con una variabilidad moderada entre las respuestas individuales. En conjunto, estos resultados respaldan la idea de que la población percibe favorablemente los beneficios que brindan

los árboles urbanos (Gwedla & Shackleton, 2019) y los efectos positivos, a nivel mental, que refuerzan la resiliencia ambiental en las poblaciones (Wang *et al.* 2023a).

Tabla 1. Perfil sociodemográfico.

Variable	Frecuencia	(%)
Genero		
Masculino	166	47%
Femenino	186	53%
Rango de Edad		
18-25	144	41%
26-35	80	22%
36-45	52	15%
46-55	46	13%
56 o más	30	9%
Estrato Económico		
1	68	19%
2	216	61%
3	49	14%
4	17	5%
5	2	1%
Nivel Educativo		
Bachiller	135	38%
Tecnólogo	84	24%
Profesional	76	21%
Especialista	9	3%
Otro	48	14%

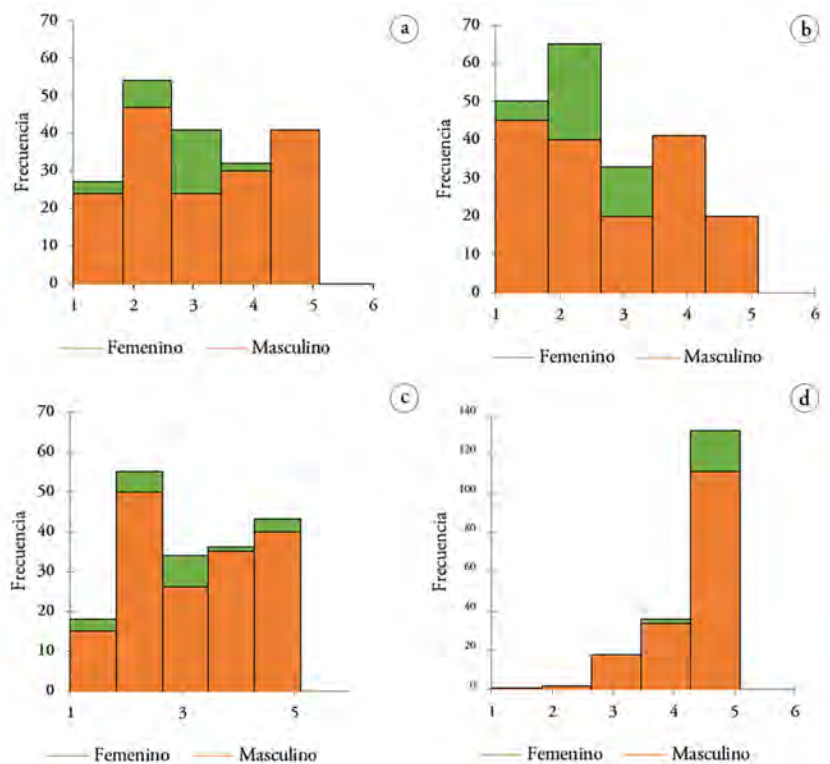


Figura 2. Percepción de los componentes ambientales, de acuerdo con el género. a) Acciones ambientales. b) Participación medio ambiental. c) Agricultura urbana. d) Valoración árbol urbano

Como se refleja en los resultados de la tabla 2, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), con el propósito de examinar la estructura subyacente de cuatro variables fundamentales, vinculadas a la percepción ambiental y la participación ciudadana (V1: Percepción de la acción ambiental; V2: Participación en actividades medioambientales; V3: Relevancia del arbolado urbano;

V4: Práctica de la Agricultura urbana). Los estadísticos descriptivos han revelado una significativa variabilidad en las puntuaciones, con medias que fluctúan entre 2.517 y 4.557. El ACP ha derivado en cuatro componentes, explicando en conjunto el 77,34 % de la variabilidad total y se destaca la influencia preponderante de V2, en el Componente 1 (45,28 %).

Tabla 2. Resultados integrados de análisis de componentes principales (ACP) y análisis de varianza para la agricultura urbana.

Componente	Valor Propio	Variabilidad (%)	Contribución de Variables (%)	Cargas Factoriales
F1	2.034	50.859	V1 (37.709)	V1 (0.614)
F2	1.059	26.482	V2 (35.886)	V2 (0.599)
F3	0.576	14.399	V3 (81.019)	V3 (-0.156)
F4	0.330	8.259	V4 (58.512)	V4 (0.489)

V1: Percepción de la acción ambiental; V2: Participación en actividades medioambientales; V3: Relevancia del arbolado urbano; V4: Práctica de la Agricultura urbana

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	Valor - p
Modelo	4,000	25,336	6,334	3,649	0,006	**
Error	347,000	602,289	1,736			
Total corregido	351,000	627,625				

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Valor - p
Intercepción	2,926	0,113	25,804	<0,0001	2,703	3,149	***
Bachiller	0,000	0,000					
Especialista	1,296	0,454	2,858	0,005	0,404	2,188	**
Otro	0,407	0,221	1,840	0,067	-0,028	0,843	.
Profesional	0,232	0,189	1,228	0,220	-0,140	0,604	°
Tecnólogo	0,515	0,183	2,810	0,005	0,154	0,875	**

Código de significado: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1.

La matriz de correlaciones exhibió relaciones moderadas entre las variables, destacándose la fuerte correlación positiva ($r = 0.651$) entre las variables V1 y V2. Este hallazgo sugiere una conexión intrínseca entre la percepción de acciones ambientales y la participación en actividades medioambientales. El análisis de adecuación de muestreo de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) proporcionó una medida de 0.623, validando la idoneidad de los datos para el ACP.

De igual manera, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para examinar la relación entre la variable "Agricultura urbana" y el nivel de formación, revelando información significativa sobre el interés por sembrar alimentos en entornos urbanos, en función del nivel académico. Los estadísticos descriptivos indicaron una media de 3.188 y una desviación estándar de 1.337, evidenciando variabilidad en las respuestas.

En el análisis de correlación, se identificaron correlaciones negativas entre "Agricultura urbana" y los niveles "Bachiller", "Especialista"

y "Tecnólogo", sugiriendo que con mayores niveles académicos disminuye el interés. La significancia del modelo se confirmó mediante ANOVA ($p = 0.006$), indicando impacto significativo de, al menos, una variable independiente. "Especialista" y "Tecnólogo" mostraron relaciones positivas, mientras "Otro" y "Profesional", carecieron de significancia. La visualización, a través del gráfico de medias, respaldó las tendencias.

La validación se realizó con pruebas post hoc (Tukey, REGWQ, Dunnett). Tukey destacó diferencias entre "Especialista" y "Tecnólogo" con "Bachiller". REGWQ confirmó esto y señaló ausencia de diferencias en otros pares académicos. Dunnett no halló diferencias al comparar "Otro" con los demás. Estos resultados ofrecen una visión detallada de las diferencias significativas en el interés por Agricultura urbana entre niveles académicos, subrayando la relevancia de considerar estas disparidades en investigaciones futuras.

Percepción del consumo de frutas urbanas. Al analizar el consumo de las frutas que se producen dentro del casco urbano (Tabla 3), se encontró que el 77 % de la población encuestada, en algún momento, consumió frutas de árboles frutales, encontrando que el 23 % nunca ha consumido de estas frutas; esto se debe a dos factores claves identificados, la población urbana percibe de manera menos atractiva, alimentos cultivados por fuera del área rural o procedencia de los alimentos (Short Gianotti & Hurley, 2016), adicional, las experiencias infantiles moldean el comportamiento del adulto hacia la naturaleza y el medio ambiente, entre ellos, el de la recolección y el consumo de frutas (Chawla & Derr, 2012). Por otro lado, la otra población indica que la fruta de mayor consumo es la *Mangifera indica* (35 %), seguido de *Citrus × sinensis* (14 %) y *Citrus × limon* (13 %). Al comparar con las especies contadas se encontró una consistencia de consumo con la segunda especie frutal, de mayor número identificada.

Con la información anterior, se realizó la prueba de correlación de Pearson entre las variables, Fruta consumida y Especies censadas, revelando una correlación positiva moderada y significativa ($r = 0,429$, $p < 0,05$), entre la frecuencia de árboles frutales encontrados y el consumo de frutas en la población estudiada. Los intervalos de confianza del 95 % para el coeficiente de correlación (IC: $-0,131$ a $0,782$), respaldan la robustez de esta asociación. La prueba t de Student ($t = 1,646$, $p < 0,05$) confirma la significancia estadística de la relación observada. Además, los coeficientes de determinación indican que, aproximadamente, el 18,4 % de la variabilidad en ambas variables se explica por esta relación lineal. Estos resultados sugieren que un aumento en la frecuencia de árboles frutales está vinculado de manera coherente con un incremento en el consumo de frutas (Figura 3), destacando la importancia de la disponibilidad de árboles frutales en entornos urbanos, para fomentar hábitos alimenticios saludables.

Tabla 3. Relación de frecuencia de consumo contra especies encontradas.

Tipo de fruta consumida	Frecuencia en la ciudad	Consumo
<i>Syzygium malaccense</i>	962	18
<i>Mangifera indica</i>	717	187
<i>Cocos nucifera</i>	117	2
<i>Morinda citrifolia</i>	84	0
<i>Anacardium occidentale</i>	35	22
<i>Citrus × limon</i>	27	68
<i>Citrus × sinensis</i>	20	72
<i>Musa × paradisiaca</i>	15	21
<i>Melicoccus bijugatus</i>	14	43
<i>Psidium guajava</i>	13	38
<i>Carica papaya</i>	8	13
<i>Annona squamosa</i>	6	25
<i>Tamarindus indica</i>	5	0
<i>Citrus reticulata</i>	2	17

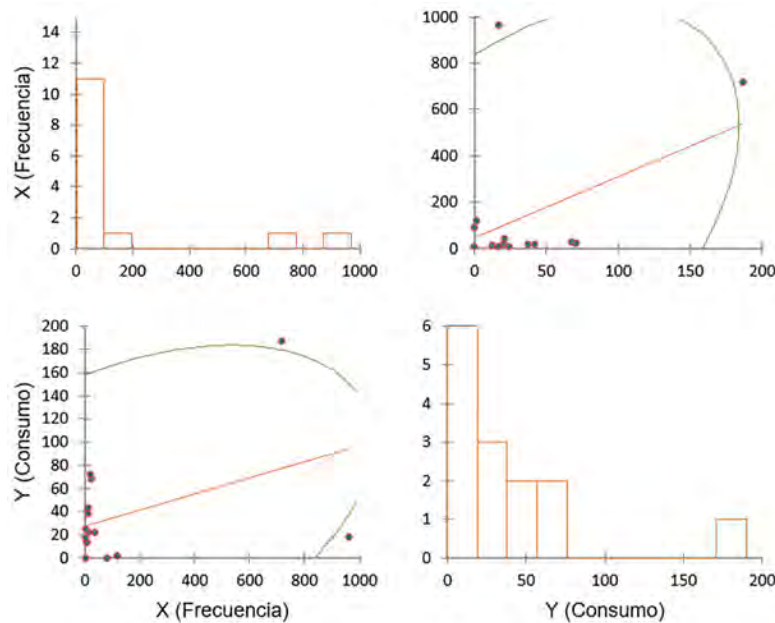


Figura 3. Gráficos de dispersión de la correlación positiva entre la frecuencia de árboles frutales urbanos y el consumo de frutas.

Finalmente, se observó que el 53 % de los encuestados dejó de consumir frutos de árboles urbanos, debido a la percepción de contaminación en las frutas. Asimismo, el 43 % mencionó que la altura elevada de los árboles o su difícil acceso fue una razón para abstenerse, argumentos similares a los identificados por Colinas *et al.* (2019), donde el miedo a gusanos, falta de costumbre o conocimiento, generan rechazo hacia estos alimentos. Solo un 1 % expresó desinterés en consumir frutas de árboles en vías públicas. Notablemente, solo el 3 % continúa practicando este consumo. Estos hallazgos revelan percepciones y barreras que influyen en la decisión de dejar de consumir, ofreciendo información valiosa sobre comportamientos alimenticios y preocupaciones asociadas con calidad y con accesibilidad.

Estos resultados brindan una visión preliminar de la respuesta de la población ante paisajes comestibles con especies frutales; sin embargo, dada la naturaleza limitada de la investigación, se sugiere realizar evaluaciones exhaustivas de la inocuidad física y química de los frutales urbanos. Estas evaluaciones son imperativas para determinar su idoneidad para el consumo humano y fauna asociada. Además, se destaca la importancia de abordar aspectos financieros y considerar el papel crucial de productores y de autoridades municipales en la gestión efectiva de sistemas de árboles alimenticios. Esto puede generar beneficios financieros para las ciudades, como en Villa El Salvador, Perú (Lafontaine-Messier *et al.* 2016), contribuyendo hacia ciudades sostenibles, que mejoren la seguridad alimentaria, en comunidades de escasos recursos (FAO *et al.* 2019). El objetivo final es aportar a través de la producción de alimentos nutritivos, que impacten positivamente en las ciudades (Wiggins, 2015).

Agradecimientos. A la Universidad Complutense de Madrid y a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por los recursos e instalaciones para el desarrollo del proyecto. **Conflicto de intereses:** El artículo fue preparado y revisado por todos los autores, quienes declaran que no se tiene ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados mostrados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. **Contribución de los autores:** Los autores del artículo contribuyeron a esta investigación en cada una de las etapas del proyecto, relacionadas con la metodología, la recopilación de información, el análisis y procesamiento de datos, la escritura, la revisión y la edición.

REFERENCIAS

1. BARONA, C.O.; DEVISSCHER, T.; DOBBS, C.; AGUILAR, L.O.; BAPTISTA, M.D.; NAVARRO, N.M.; DA SILVA FILHO, D.F.; ESCOBEDO, F.J. 2020. Trends in urban forestry research in Latin America & The Caribbean: A systematic literature review and synthesis. *Urban Forestry & Urban Greening*, 47:126544. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126544>
2. CASTRO, J.; OSTOIC, S.K.; CARIÑANOS, P.; FINI, A.; SITZIA, T. 2018. "Edible" urban forests as part of inclusive, sustainable cities. *Unasylva*, 69(250): 59-65.
3. CHAWLA, L.; DERR, V. 2012. The development of conservation behaviors in childhood and youth. En: Clayton, S.D. (ed.). *The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology*. Oxford University Press. p. 527-555. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199733026.013.0028>
4. CLARK, K.H.; NICHOLAS, K.A. 2013. Introducing urban food forestry: a multifunctional approach to increase food security and provide ecosystem services. *Landscape Ecology*, 28(9):1649-1669. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9903-z>
5. COLINAS, J.; BUSH, P.; MANAUGH, K. 2019. The socio-environmental impacts of public urban fruit trees: A Montreal case-study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 45:126132. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.002>
6. ESCOBEDO, F.J.; CLERICI, N.; STAUDHAMMER, C.L.; CORZO, G.T. 2015. Socio-ecological dynamics and inequality in Bogotá, Colombia's public urban forests and their ecosystem services. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4):1040-1053. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.09.011>
7. ESCOBEDO, F.J.; WAGNER, J.E.; NOWAK, D.J.; DE LA MAZA, C.L.; RODRIGUEZ, M.; CRANE, D.E. 2008. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of Environmental Management*, 86(1): 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.029>
8. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO; INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT, IFAD; UNICEF; WORLD FOOD PROGRAMME, WFP; WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO. 2019. The state of food security and nutrition in the world. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. FAO. 239p. Disponible desde Internet en: <https://www.wfp.org/publications/2019-state-food-security-and-nutrition-world-sofi-safeguarding-against-economic>
9. GUPTA, K.; ROY, A.; LUTHRA, K.; MAITHANI, S.; MAHAVIR. 2016. GIS based analysis for assessing the accessibility at hierarchical levels of urban green spaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, 18: 198-211. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.005>
10. GWEDLA, N.; SHACKLETON, C.M. 2019. Perceptions and preferences for urban trees across multiple socio-economic contexts in the Eastern Cape, South Africa. *Landscape and Urban Planning*, 189: 225-234. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.001>
11. HAASE, D.; LARONDELLE, N.; ANDERSSON, E.; ARTMANN, M.; BORGSTRÖM, S.; BREUSTE,

- J.; GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GREN, Å.; HAMSTEAD, Z.; HANSEN, R.; KABISCH, N.; KREMER, P.; LANGEMEYER, J.; RALL, E. L.; MCPHEARSON, T.; PAULEIT, S.; QURESHI, S.; SCHWARZ, N.; VOIGT, A.; WURSTER, D.; ELMQVIST, T. 2014. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *Ambio*. 43(4):413-433. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>
12. IGLESIAS, B.M. 2016. Las ciudades intermedias en la integración territorial del Sur Global. *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*. 2016(114):109-132. <https://doi.org/10.24241/rcai.2016.114.3.109>
13. IRVINE, S.; JOHNSON, L.; PETERS, K. 1999. Community gardens and sustainable land use planning: A case-study of the Alex Wilson community garden. *Local Environment*. 4(1):33-46. <https://doi.org/10.1080/13549839908725579>
14. JANEČEK, V.; RADA, P.; ROM, J.; HORÁK, J. 2019. Rural agroforestry artifacts in a city: determinants of spatiotemporally continuous fruit orchards in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*. 41:33-38. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.004>
15. KABISCH, N.; HAASE, D. 2013. Green spaces of European cities revisited for 1990–2006. *Landscape and Urban Planning*. 110:113-122. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.017>
16. KABISCH, N.; QURESHI, S.; HAASE, D. 2015. Human-environment interactions in urban green spaces-A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review*. 50:25-34. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.08.007>
17. LAFONTAINE, M.; OLIVIER, A. 2017. Intérêt des collectivités pour l'implantation d'arbres nourriciers dans les parcs urbains : le cas de Villa El Salvador, au Pérou. *Tropicultura*. 35(1):39-50.
18. LAFONTAINE-MESSIER, M.; GÉLINAS, N.; OLIVIER, A. 2016. Profitability of food trees planted in urban public green areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 16:197-207. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.013>
19. LUVIMERO. 2023. XLSTAT statistical and data analysis solution (2023). Disponible desde Internet en: <https://www.xlstat.com/es>
20. MADUREIRA, H.; NUNES, F.; OLIVEIRA, J.V.; CORMIER, L.; MADUREIRA, T. 2015. Urban residents' beliefs concerning green space benefits in four cities in France and Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14(1):56-64. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.11.008>
21. MALDONADO-BERNABÉ, G.; CHACALO-HILU, A.; NAVA-BOLAÑOS, I.; MEZA-PAREDES, R.M.; ZARAGOZA-HERNÁNDEZ, A.Y. 2019. Cambios en la superficie de áreas verdes urbanas en dos alcaldías de la ciudad de México entre 1990-2015. *Polibotánica*. 48:205-230. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.15>
22. MATEO RODRÍGUEZ, J.M.; BOLLO MANENT, M. 2023. El paisaje sostenible, una visión desde la geocología. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*. 6:e290. <https://doi.org/10.46380/rias.vol6.e290>
23. MCLAIN, R.; POE, M.; HURLEY, P.T.; LECOMPTE-MASTENBROOK, J.; EMERY, M.R. 2012. Producing edible landscapes in Seattle's urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11(2):187-194. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.12.002>
24. MILLER, R.; HAUER, R.; WERNER, L. 2015. *Urban forestry: Planning and managing urban greenspaces*. 3er ed. Waveland Press, Inc. 560p.
25. MOLINA POSADA, D.V.; ADRIANA MUNOZ-DUQUE, L.; MOLINA JARAMILLO, A.N. 2019. Agricultura urbana, bienestar subjetivo y actitudes ambientales en el colectivo Agroarte. Estudio de caso en la comuna 13, Medellín 1. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*. 56:89-108.
26. MUÑOZ-PACHECO, C.B.; VILLASEÑOR, N.R. 2022. Urban ecosystem services in South America: A systematic review. *Sustainability*. 14(17):10751. <https://doi.org/10.3390/su141710751>
27. MWANZU, A.; NGUYU, W.; NATO, J.; MWANGI, J. 2023. Promoting Sustainable Environments through Urban Green Spaces: Insights from Kenya. *Sustainability*. 15(15):11873. <https://doi.org/10.3390/su151511873>
28. PARK, H.; KRAMER, M.; RHEMTULLA, J.M.; KONIJNENDIJK, C.C. 2019. Urban food systems that involve trees in Northern America and Europe: A scoping review. *Urban Forestry & Urban Greening*. 45:126360. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.06.003>
29. PATTERSON-WATERSON, J.; POZAS FRANCO, I.; VEXLER, C.; RODRÍGUEZ VILLAFUERTE, K.; GÓMEZ JIMÉNEZ, A.; WINTER-TAYLOR, M.; MOLINA, G.; RODRÍGUEZ, J.D.; SÁENZ, M.P. 2022. Los espacios públicos en América Latina y el Caribe: guía práctica para su reactivación en la pospandemia. Banco Interamericano de Desarrollo. 207p. <http://dx.doi.org/10.18235/0004139>
30. PÉREZ-CAMPUZANO, E.; AVILA-FOUCAT, V.S.; PEREVOCHTCHIKOVA, M. 2016. Environmental policies in the peri-urban area of Mexico City: The

- perceived effects of three environmental programs. *Cities*. 50:129-136.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.08.013>
31. ROMERO-DUQUE, L.P.; TRILLERAS, J.M.; CASTELLARINI, F.; QUIJAS, S. 2020. Ecosystem services in urban ecological infrastructure of Latin America and the Caribbean: How do they contribute to urban planning? *Science of The Total Environment*. 728:138780.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138780>
32. SALLAY, Á.; MIKHÁZI, Z.; GECSÉNE TAR, I.; TAKÁCS, K. 2022. Cemeteries as a part of green infrastructure and tourism. *Sustainability*. 14(5): 2918.
<https://doi.org/10.3390/su14052918>
33. SALVATI, L.; RANALLI, F.; CARLUCCI, M.; IPPOLITO, A.; FERRARA, A.; CORONA, P. 2017. Forest and the city: A multivariate analysis of peri-urban forest land cover patterns in 283 European metropolitan areas. *Ecological Indicators*. 73:369-377.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.025>
34. SHORT GIANOTTI, A.G.; HURLEY, P.T. 2016. Gathering plants and fungi along the urban-rural gradient: Uncovering differences in the attitudes and practices among urban, suburban, and rural landowners. *Land Use Policy*. 57:555-563.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.019>
35. UN-HABITAT. 2022. World cities report 2022 “Envisaging the future of cities.” 422p. Disponible desde Internet en: https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf
36. WANG, Y.; LUO, F.; GAZAL, K.A.; WEN, Y.; LEI, H.; XIAO, Z. 2023a. Exploring the impact of psychological accessibility on the restorative perception in urban forests: A case study of Yuelu Mountain, Central China. *Forests*. 14(4):721. <https://doi.org/10.3390/f14040721>
37. WANG, Z.; LIN, L.; ZHANG, B.; XU, H.; XUE, J.; FU, Y.; ZENG, Y.; LI, F. 2023b. Sustainable urban development based on an adaptive cycle model: A coupled social and ecological land use development model. *Ecological Indicators*, 154:110666.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110666>
38. WIGGINS, S. 2015. The rising cost of a healthy diet: Changing relative prices of foods in high-income and emerging economies. ODI. Disponible desde internet en: <https://odi.org/en/publications/the-rising-cost-of-a-healthy-diet-changing-relative-prices-of-foods-in-high-income-and-emerging-economies/>

Valoración económica por servicios recreativos del río Hacha en el piedemonte amazónico colombiano

Economic valuation for recreational services of the river Hacha in the Colombian amazon foothills

Yelly Yamparli Pardo-Rozo^{1*} ; Leonardo Alonso Saldaña-Fonseca² ; Marlon Peláez-Rodríguez³ 

¹Universidad de la Amazonia. Florencia - Caquetá, Colombia; e-mail: y.pardo@udla.edu.co; l.saldana@udla.edu.co; m.pelaez@udla.edu.co

*autor de correspondencia: y.pardo@udla.edu.co

Cómo citar: Pardo-Rozo, Y.Y.; Saldaña-Fonseca, L.A.; Peláez-Rodríguez, M. 2023. Valoración económica por servicios recreativos del río Hacha en el Piedemonte Amazónico Colombiano. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2428. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2428>

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 12 de 2023

Aceptado: 2 de noviembre de 2023

Editado por: Felix Ignacio Contreras

RESUMEN

El río Hacha ubicado en Florencia-Caquetá, Colombia, abastece agua para el consumo humano y proporciona otros servicios ecosistémicos. Las actividades antrópicas han generado una presión en este recurso natural. Se realizó una valoración económica de la calidad de agua y los servicios recreativos en los balnearios del corredor vial del río. Se establecieron cuatro puntos en el tramo para medir indicadores fisicoquímicos del agua. Se realizó una encuesta en una muestra de 460 personas, cuyo análisis empleó los métodos de costo-viaje y valoración contingente. Se encontró que los indicadores de calidad de agua no exceden los límites permisibles para contacto primario. La recreación en los sitios genera beneficios económicos para la demanda local: la variación del excedente del consumidor ante un proyecto hipotético de mejora en la calidad del agua fue positiva. La disposición a pagar por hogar por una mejora en la calidad del agua asciende a \$9.984,04 por año. Esto implica que existe un potencial de aprovechamiento sostenible en los servicios ecosistémicos asociados a la recreación en el recurso hídrico.

Palabras clave: Ecoturismo; Servicios ecosistémicos; Servicios recreativos; Sistemas de agua dulce; Valoración ambiental

ABSTRACT

The Hacha river located in Florencia-Caquetá, supplies water for human consumption and provides other ecosystem services. Anthropic activities have generated pressure on this natural resource. An economic valuation was made of water quality and

recreational services in the river's road corridor resorts. Four points were established along the stretch to measure physicochemical water indicators. A survey was conducted on a sample of 460 people whose analysis employed the Cost-Travel and Contingent Valuation methods. It was found that the water quality indicators do not exceed the permissible limits for primary contact. Recreation at the sites generates economic benefits for local demand: the variation in consumer surplus for a hypothetical water quality improvement project was positive. The willingness to pay (WTP) per household for an improvement in water quality amounts to \$2.12 dollars per year. This implies that there is a potential for sustainable use of the ecosystem services associated with water resource recreation.

Keywords: Ecotourism; Environmental valuation; Environmental services; Freshwater ecosystems; Recreational services.

INTRODUCCIÓN

El turismo de naturaleza, que involucra la recreación atribuida a los recursos hídricos, como mares, ríos y lagos, genera impactos económicos positivos en las comunidades locales, que cuentan con estas ventajas comparativas. Por ello, diversos estudios en el mundo se enfocan en la medición de estos impactos, empleando métodos de valoración económica ambiental (Ripka de Almeida *et al.* 2018), en recursos naturales de turismo marino en islas en el mundo (Zulpikar *et al.* 2018) o en el turismo de playa, informal o mochilero (Morelos-Gómez *et al.* 2020).

Los recursos hidrológicos de la Amazonía colombiana tienen este potencial de aprovechamiento. Es así, como la cuenca hidrográfica

del río Hacha, ubicada en el municipio de Florencia-Caquetá, en el piedemonte amazónico colombiano, es uno de los principales sistemas fluviales de la región. Hace parte de las determinantes ambientales del departamento de Caquetá, en la categoría de Estrategias Complementarias de Conservación de la Reserva Forestal de la Amazonia (RFA) y el Distrito de Conservación de Suelos y Aguas del Caquetá (DCSAC). Brinda una serie de bienes y servicios ambientales a sus habitantes, entre ellos, el abastecimiento de agua (Corpoamazonia, 2018). Por su localización y belleza paisajística, el río ofrece espacios para el desarrollo de actividades recreativas, las cuales, se desarrollan, principalmente, en los balnearios naturales localizados sobre el corredor vial Florencia-Suaza.

La disponibilidad de agua, el atractivo natural que ofrece el río en algunos de sus tramos y el fácil acceso a los balnearios, entre otros aspectos, hacen posible la actividad recreativa, tanto para los habitantes del municipio de Florencia como para aquellos visitantes procedentes de otras regiones del país, especialmente, durante las temporadas con menores precipitaciones durante el año, que corresponde, por lo general, a diciembre, enero y febrero, o durante los fines de semana.

En esos meses del año, el flujo de visitantes aumenta y hace posible realizar actividades recreativas, como la natación, la pesca, las fogatas, el deporte y el descanso en playa, avistamiento, senderismo, entre otras; sin embargo, dichas actividades, además de generar bienestar en las personas son, al mismo tiempo, causantes de impactos negativos sobre el medio natural en las temporadas de alta demanda. Las aglomeraciones y las visitas en estas áreas naturales dejan un continuo vertimiento de desechos sólidos, líquidos y emisiones al aire, lo que impacta sobre la ribera del río, su cauce y demás componentes ambientales. Esta alteración del medio natural es permitida por los propietarios o administradores de estas zonas, quienes no establecen límites, dada la connotación de bien público y libre acceso para el ingreso de los visitantes.

A nivel local, el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Hacha - POMCA, estableció los usos del agua más frecuentes dentro de la cuenca, los cuales, se encuentran asociados, principalmente, al consumo doméstico, de $84.633,2 \text{ m}^3 \cdot \text{hab} \cdot \text{día}^{-1}$; pecuario, de $144,2 \text{ m}^3 \cdot \text{hab} \cdot \text{día}^{-1}$, para bovinos; $76,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hab} \cdot \text{día}^{-1}$, para porcinos y $9,3 \text{ m}^3 \cdot \text{hab} \cdot \text{día}^{-1}$, para aves de corral; sin embargo, en esa versión no existe información para el uso recreativo (Corpoamazonia, 2018).

Entre los riesgos del uso del agua con propósitos recreativos se encuentra la contaminación con microorganismo asociados o no con excrementos humanos y animales, que son fuente de agentes infecciosos y pueden generar afectaciones a la salud humana. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), las condiciones y las características específicas que permitan su uso sin producir efectos adversos en la salud humana deben tener en cuenta los peligros, entre los que se encuentran, las enfermedades asociadas a los desechos fecales causadas por virus, como la fiebre faringoconjuntival, hepatitis A y gastroenteritis; las causadas por bacterias, como la shigelosis y la colitis hemorrágica o las originadas por protozoos, como la giardiasis. Entre las enfermedades que no

están asociadas a las heces fecales se encuentran las producidas por virus, como la neumonía, la otitis, la infección del tracto urinario o las infecciones oculares; las producidas por amebas, como el virus del papiloma humano y la encefalitis y las desencadenadas por algunos hongos, como las infecciones fúngicas en cabello, uñas o piel.

Larrea Murrell *et al.* (2022) afirman que el monitoreo de la calidad del agua es una herramienta importante para determinar si un cuerpo de agua es apta o no para soportar la vida acuática, realizar actividades recreativas o las asociadas a la pesca. La presión demográfica amenaza la calidad de agua del río Hacha y su sostenibilidad.

Valoración de servicios ecosistémicos SE por recreación. Los SE, se definen como materias primas, ciclos, energía y flujo de elementos y de sustancias que han sido provistos por la naturaleza de forma gratuita y sostienen las diferentes formas de vida y la dinámica de los ecosistemas (Pardo Rozo *et al.* 2022). De acuerdo con Constanza *et al.* (1998), los servicios ecosistémicos más representativos se relacionan con la regulación y el ciclaje de gases, climática, hídrica, nutrientes y disturbios; la oferta y la formación de agua, suelo, aire, alimentos, energía, depuración de residuos, polinización, control biológico, hábitat de especies; producción de recursos genéticos; escenarios para la generación de conocimiento histórico, investigación, recreación y fines comerciales.

La belleza escénica y disfrute del agua pertenece a los servicios culturales, definidos como los bienes no materiales obtenidos de los ecosistemas, que permiten un desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas e, incluso, la investigación y la historicidad (Reid, 2005). Los recursos hídricos y sus espacios asociados proveen servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación, apoyo a ecosistemas y servicios culturales. Por ello, surge la valoración económica ambiental (VEA), como una herramienta para la formulación de políticas, que impulsa una mayor racionalidad y acercamiento a propuestas hacia un desarrollo sostenible (Freeman *et al.* 2016). Según Flórez-Yepes *et al.* (2020), los métodos de VEA tienen su fundamento teórico en la economía ambiental. Estos métodos se sustentan en el principio del Valor Económico Total (VET), el cual, se refiere a la equivalencia monetaria que una persona le otorga a un bien, recurso o servicio ambiental.

El VET se considera como la sinergia entre el valor de uso directo (VUD), el valor de uso indirecto (VUI) y el valor de no uso (VNU) de los recursos naturales o servicios derivados de estos (Freeman *et al.* 2016). En el caso de los balnearios, el VUD se puede referir al uso del agua para consumo, nado, transporte o pesca; el VUI se puede asociar al uso de la playa, como escenario deportivo, zona de acampamiento o descanso; disfrute de su belleza paisajística, aire limpio, sombra, avistamiento de árboles, especies, peces en general, para fotografía o la simple contemplación. El VNU para recursos de tipo recreativo, se puede asociar a la disponibilidad, la conservación y el acceso permanente del sitio para generaciones futuras o se puede valorar por su mera existencia (Pardo Rozo *et al.* 2022).

Los métodos más empleados en la estimación de beneficios por servicios de recreación son el método costo de viaje y valoración contingente (Sandoval Chávez *et al.* 2021). El método de valoración contingente (MVC) supone la construcción de un mercado hipotético para el servicio ambiental, que no cuenta con un sistema de precios ni cantidades. Su objetivo principal es estimar los beneficios económicos derivados de un bien o servicio ambiental, a través de la determinación de medidas de bienestar económico, tales como la disposición a pagar (DAP) o la disposición a aceptar (DAA), la variación compensada o la variación equivalente.

El método costo viaje (MCV), por su parte, permite construir la curva de la demanda a partir de mercados existentes o indirectos, relacionados con el recurso para obtener información sobre precios y cantidades. Subsectores económicos, como la hotelería, el transporte, la alimentación, entre otros, son algunos mercados asociados que pueden ofrecer una aproximación a los costos de una visita con fines recreativos.

El método de costo viaje estima los gastos en los que incurren las personas a la hora de recrearse, que puede incluir el costo de oportunidad del tiempo de los visitantes. El objetivo principal del método es identificar las variables de carácter socioeconómico y ambiental, que determinan la demanda por un sitio de recreación, que involucra un recurso natural. Con esta información, se halla la curva de demanda por el sitio, que permite medir el excedente

del consumidor y sus cambios. El método de costo de viaje estima VUD y VUI, mientras que valoración contingente abarca, tanto valores de uso como no uso, es decir, el VET (Alfranca, 2020). El MCV permitirá hallar el valor económico del uso directo del río Hacha, como balneario natural y de sus playas, como escenario de descanso; el valor de uso indirecto de servicios ecosistémicos asociados, como la belleza escénica, el espacio deportivo informal, el aire limpio y, por su parte, el MVC en este estudio, permitirá hallar, a través de la DAP, como una aproximación del VET, que involucra los VNU, VUD y VUI.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue conocer algunos indicadores de la calidad del agua y establecer el valor económico que los usuarios otorgan a los servicios recreativos provenientes de los balnearios naturales localizados sobre el corredor vial Florencia-Suaza. Además, proveer datos para el diseño de políticas públicas, como herramienta para la toma de decisiones respecto a la conservación y al uso sostenible de este ecosistema y el agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El corredor vial del río Hacha en la carretera Florencia (Caquetá) – Suaza (Huila), en los balnearios ubicados entre las coordenadas 01°12'08" y 01°25'41" N y entre los 75°50' y 75°49' O (Figura 1).

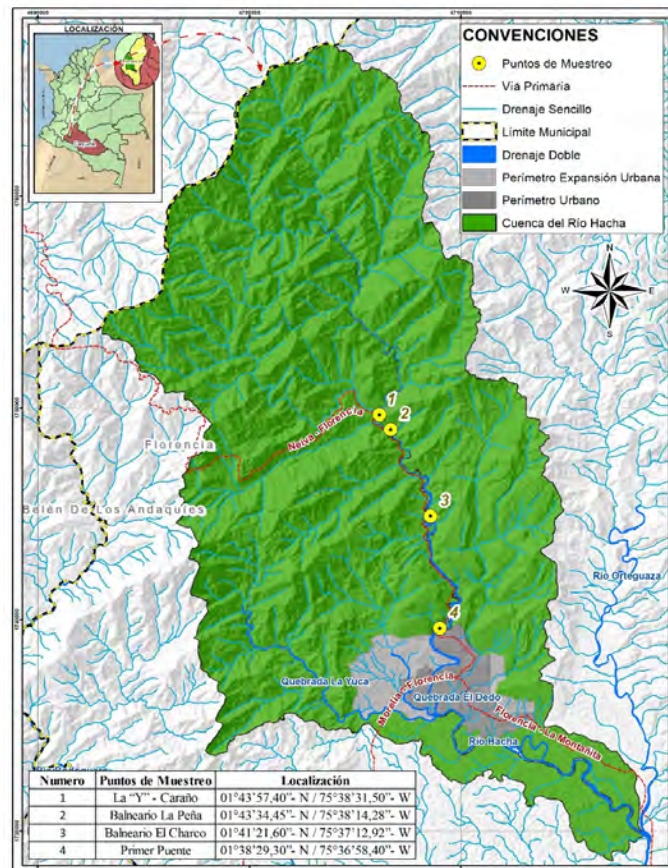


Figura 1. Zona de estudio. Puntos de muestreo de agua sobre el río Hacha, Florencia – Caquetá, Colombia, diciembre 2021 a febrero de 2022.

Muestreo para determinar la calidad del agua. Se establecieron cuatro puntos del tramo de los balnearios para tomar las muestras de agua sobre el río Hacha. El primero, ubicado en la “Y” del Caraño (01°43’57,40” N, 75°38’31,50” O); el segundo, en el balneario La Peña (01°43’34,45” N, 75°38’14,28” O); el tercero, en el balneario el Charco (01°41’21,60” N, 75°37’12,92” O) y el cuarto punto, en el “Primer Puente” (01°38’29,30” N, 75°36’58,40” O), para abordar la principal zona donde se encuentran cerca de siete balnearios, considerados como los de mayor demanda local (Figura 1).

La toma de muestras se efectuó teniendo como referencia la “Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas” (IDEAM, 2011). Los muestreos fueron de tipo puntual, considerando que se requería establecer la calidad del agua. Se tomó en el periodo con menores precipitaciones, desde diciembre de 2021 hasta febrero de 2022, en un espacio representativo (lugar de contacto directo con el agua); estos periodos de baja precipitación son considerados de alta demanda. Para medir los parámetros de la calidad del agua se usó como referencia el Artículo 42 del Decreto 1594 de 1984 de la Presidencia de Colombia, que define los criterios de calidad del agua que son admisibles para uso recreativo, a través del contacto primario. Estos fueron: a) *E. coli* y coliformes fecales y totales (expresado en NMP), b) pH (unidades) y c) oxígeno disuelto (OD) (concentración). Se debe tener en cuenta que los datos se pueden afectar por factores, como la época del año, el movimiento turístico y el volumen de agua. Con el fin de establecer el grado de contaminación del agua en los puntos señalados, se empleó la escala conceptual para los contaminantes microbiológicos, propuesta por Ramos-Ortega *et al.* (2008), donde los coliformes fecales y coliformes totales no contaminados se encuentran entre 0 - 20 % >200 y 0 - 20 % >1000 en NMP/100, respectivamente.

Población y muestra para la valoración económica por servicios de recreación. La población en Florencia Caquetá es de 42.500 hogares (DANE, 2022). Se extrajo una muestra de 460 hogares, que representan el consumo de cerca de 3.000 personas, bajo muestreo aleatorio simple, con una desviación muestral de 0,5 y un margen de error de 5 %. La colecta de información en campo se adelantó mediante la aplicación de una encuesta estructurada dirigida al jefe de hogar de las familias encuestadas en el sitio, de quienes se obtuvieron datos sociodemográficos y niveles de compra de productos y servicios, asociados a la recreación en el río.

Modelos econométricos propuestos. Se emplearon los siguientes modelos empíricos, fundamentado en el método costo viaje (Ecuación 1) y valoración contingente (Ecuación 2), de acuerdo con Uribe *et al.* (2003).

$$V = \beta_0 \pm \beta_1 * CV \pm \beta_2 * Ing \pm \beta_3 * NE \pm \beta_4 * A \pm \varepsilon \quad \text{ecuación 1}$$

Donde, V es la variable dependiente discreta, que representa el número de visitas anuales del hogar al sitio (V_0 en la situación actual y V_1 en la situación hipotética con proyecto de conservación del sitio y mejora en la calidad del agua). Las variables independientes fueron: CV , que representa el costo del viaje en pesos colombianos, como la suma de los pagos en hotelería, restaurante, transporte, tarifas de entrada,

compras de bienes, imprevistos, entre otros; Ing es el ingreso mensual de las familias en pesos colombianos (en 1.000 COP equivale a 0,23 USD); NE es el Nivel Educativo del jefe de hogar, que toma el valor de 0 si es ninguno; 1, 2, 3, 4 y 5 si tiene primaria, bachillerato, técnico o tecnólogo, profesional, o formación posgradual, respectivamente. A es una variable que representa el número de acompañantes a la visita; ε es la variable estocástica, que representa el término de error del modelo.

Se empleó el estimador de máxima verosimilitud y se usó el modelo Tobit, en razón a que la variable número de viajes está limitado a valores enteros no negativos (datos censurados) y demanda positiva por la aplicación de las encuestas en los sitios de interés (truncada en 0). El Excedente del Consumidor EC se calcula a partir de la expresión (Ecuación 2):

$$EC = -V/\beta_1 \quad \text{ecuación 2}$$

Donde, V es el número de visitas y β_1 es el coeficiente de la variable costo viaje del modelo estimado. El EC , se halló con el promedio de las visitas para la demanda inicial (V_0) y para la demanda con proyecto (V_1). Luego, se halló la diferencia entre estos dos valores ($EC_{V_1} - EC_{V_0}$). Una de las limitantes del método costo viaje es que valora usos directos e indirectos. El valor de opción o valor de existencia se puede estimar, a través del método de valoración contingente (Paspuel Malte & Tobar Cazares, 2017). Por ello, en complemento al método indirecto Costo Viaje se empleó dicho método directo con el siguiente modelo econométrico, con las variables sugeridas en Pardo Rozo *et al.* (2022) y Uribe *et al.* (2003) (Ecuación 3).

$$Prob(DAP) = \beta_0 \pm \beta_1 * VrDAP \pm \beta_2 * Ing \pm \varepsilon_i \quad \text{ecuación 3}$$

La variable dependiente DAP es la disposición a pagar por obtener los beneficios de mejorar y conservar la calidad del agua en los balnearios; es una variable dicótoma que toma valor de 1 cuando existe una DAP y toma el valor de 0, en caso contrario. Como variables independientes, se tomó el valor de la disposición a pagar $VrDap$, expresado en pesos colombianos e indica la DAP del jefe de hogar para garantizar la calidad de agua para conservar y mejorar los servicios recreativos en la zona (en miles de pesos de 2022). Ing es una variable explicativa continua, que representa el ingreso mensual del hogar. Se espera un valor negativo para β_1 debido a que a mayor valor de la DAP disminuye la probabilidad de que las personas estén dispuestas a pagar por la conservación de agua en la zona recreativa. La medida de bienestar que se puede hallar es la disposición a pagar DAP , a partir de la expresión (Ecuación 4) (Pardo Rozo *et al.* 2022; Uribe *et al.* 2003).

$$DAP = \beta_0 / \beta_1 \quad \text{ecuación 4}$$

El valor esperado es negativo, puesto que es un valor que resta al ingreso. Luego, la DAP Total se obtiene a partir de multiplicar este valor por el número de hogares encuestados. Se empleó el programa Limdep versión 11.0, para obtener los parámetros de los dos modelos econométricos presentados en las ecuaciones 1 y 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de agua del río Hacha. Se determinaron indicadores sobre la calidad del agua del río Hacha en los cuatro puntos tomados (Tabla 1).

Los resultados de la tabla 1 indican que la calidad del agua en los sitios de muestreo en los balnearios de la zona de estudio, no exceden los límites permisibles para contacto primario; el valor admisible en

el Decreto 1594 de 1984 de la Presidencia de Colombia es de 200 microorganismos por cada 100 ml, para coliformes totales y 1.000, para coliformes fecales y un 70 % oxígeno disuelto. Este resultado se obtuvo en la temporada de menores precipitaciones, donde se presenta una mayor demanda a los sitios de recreación en el río Hacha, se disminuye el caudal y la temperatura aumenta.

Tabla 1. Resultados de los indicadores de calidad de agua en balnearios del río Hacha de Florencia - Caquetá, Colombia. NMP=Número más probable durante el periodo diciembre 2021 a febrero de 2022.

Punto de muestra	Coliformes totales NMP/ml	Coliformes fecales NMP/ml	<i>Escherichia coli</i> NMP/ml	Oxígeno disuelto mg O ² /l
1	120	27	7	7,22
2	150	26	4	6,51
3	130	31	4	6,45
4	140	23	6	6,32

Determinación de beneficios económicos en la demanda por servicios de recreación. En el modelo de demanda en la situación actual o inicial, el promedio de visitas en un año fue de 6,9, mientras que en la demanda con la situación hipotética tuvo un promedio de 9,4 visitas. El incremento de visitas en promedio al sitio por año fue de 2 por hogar. La demanda hipotética es el número de visitas al año que el hogar realiza, bajo el supuesto de una mejora en la calidad de agua y la conservación del paisaje del balneario, atribuido a un proyecto. Desde lo descriptivo, este resultado indica que las mejoras

en la calidad de agua y del paisaje aumentarían la demanda local en 2 visitas adicionales al año por hogar en promedio. Desde el análisis inferencial esto es demostrable, a través de los cambios del excedente del consumidor entre los modelos econométricos de la demanda actual y la demanda hipotética. De acuerdo con lo expuesto, el modelo Tobit, sugerido en Uribe *et al.* (2003), arrojó los siguientes parámetros y estadísticos, en la situación de la demanda actual y la situación de la demanda hipotética, los cuales, se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Salida modelo Tobit para la determinación de la demanda actual en balnearios del río Hacha, Florencia - Caquetá, Colombia, durante el periodo diciembre 2021 a febrero de 2022.

Variables independientes	Coficiente	Z	Prob z >z	Media
Intercepto*	+4,6682	4,69	0,0000	
Costo Viaje*	-0,0089	-3,22	0,0013	146,858
Ingreso*	+0,0008	+3,92	0,0001	
Acompañantes*	+0,3416	+2,69	0,0071	4,7876
Nivel educativo	+0,7857	+0,32	0,7469	2,973

* nivel de significancia estadística a un nivel del 99 % de confianza.

Tabla 3. Salida modelo Tobit para determinación de la demanda hipotética en balnearios del río Hacha, Florencia - Caquetá, Colombia, en 2022.

Variables independientes	Coficiente	Z	Prob z >z	Media
<i>Intercepto*</i>	+7,02006	6,60	0,0000	
<i>Costo Viaje*</i>	-0,00839	-2,83	0,0046	146,8586
<i>Ingreso*</i>	+0,00076	+3,51	0,0004	2.065,359
<i>Acompañantes*</i>	+0,40484	+2,99	0,0028	4,7876
<i>Nivel educativo</i>	+0,03341	+0,13	0,8979	2,9738

* nivel de significancia estadística a un nivel del 99 % de confianza.

La demanda, tanto en la situación actual como en la situación hipotética, arrojaron como variables determinantes: el costo de viaje, el ingreso y el número de acompañantes (p -valor $< 0,05$). Se cumplió lo esperado y el parámetro de la variable CV , en ambas situaciones, arrojaron valores negativos, que indican el cumplimiento de la ley de la demanda, esto es, a mayor costo de viaje, menor número de visitas al balneario. Las variables Ing y A fueron estadísticamente relevantes (p -valor $< 0,05$) y se relacionaron positivamente con el número de visitas. La variable NE no fue un factor determinante para la demanda (p -valor $> 0,05$).

Como medida de bienestar se determinó el excedente del consumidor EC , a través de los modelos econométricos, en ambas situaciones: actual $EC_{(Actual)}$ e hipotética $EC_{(Hipotética)}$, para lo cual, se aplicó la ecuación 2. Se obtuvo un $EC_{(Actual)}$ de \$889,9 (equivalente a 0,2081 dólares) y el $EC_{(Hipotética)}$ de \$1.212,9 (0,2837 dólares). En la demanda actual en el agregado (es decir, en las 460 familias), estos beneficios económicos por participar en el mercado de los servicios recreativos en el río Hacha suman \$409.354 (95,76 dólares). En la situación hipotética o bajo el supuesto de la ejecución de un proyecto que logre mejorar las condiciones del agua y del paisaje, los beneficios llegarían a \$557.934 anuales (130,51 dólares). Se determinó la diferencia entre las medidas de bienestar económico EC (esto es, \$1.212,9 menos \$889,9) y se observó un cambio

positivo de \$323 en promedio por hogar (0,075 dólares). Con esto, en la situación hipotética de ejecutar un proyecto que garantice la conservación y una mejora en la calidad del agua generaría aumentos en los beneficios económicos en \$148.580 anuales (34,75 dólares). Este valor se infiere de tomar los \$323,0 y multiplicar por las 460 familias.

Comportamiento de la DAP de la demanda local por beneficios derivados de la conservación y mejora en la calidad del agua en los balnearios del río Hacha. La disposición a pagar DAP por acceder a los beneficios, dado un proyecto hipotético de conservación y mejora en la calidad del agua, arrojó un valor promedio de DAP de \$5.193,9 (1,21 dólares), con una DAP mínima de \$1.000 y un máximo de \$20.000. Al comparar el valor promedio de la DAP (\$5.193,9) respecto del promedio del Ingreso mensual de los encuestados (\$2'065,359), representa cerca del 0,25 %. El ingreso mensual de los encuestados oscila entre valores límites de \$500.000 y \$5'500.000.

La distribución del comportamiento de la DAP se presenta en la figura 2 y el resultado aplicando el método de valoración contingente con modelo Logit, se presentan en la tabla 4.

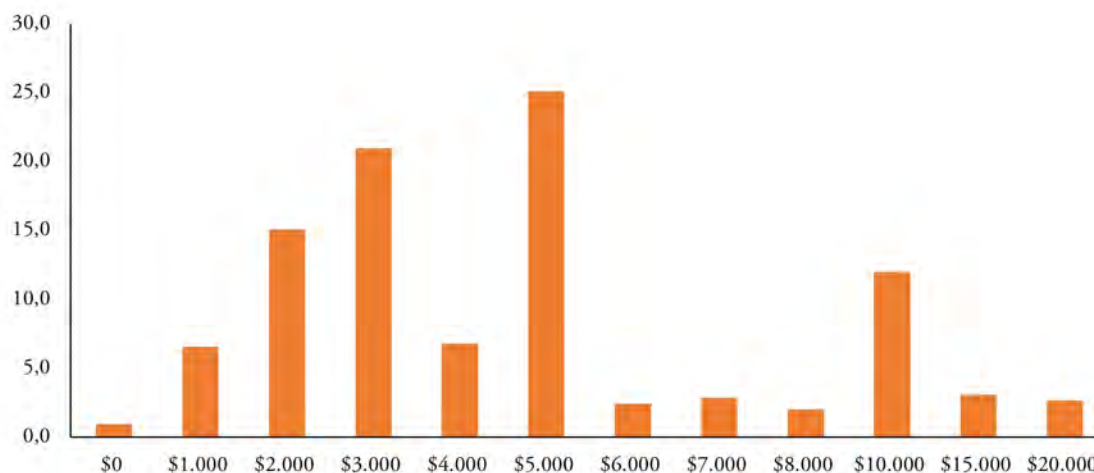


Figura 2. Distribución porcentual del valor de la disposición a pagar DAP en 2022, por una mejora en la calidad de agua y paisaje en los balnearios del río Hacha, Florencia – Caquetá, Colombia en 2022. COP: Peso colombiano.

Tabla 4. Salida modelo Logit, disposición a pagar DAP, por mejora hipotética en la calidad del agua en balnearios del Río Hacha, Florencia, Caquetá, 2022.

Variabes	Coefficiente	Z	Prob z >z*	Media
Intercepto*	+1,56001	4,00	0,0001	
Valor DAP**	-0,06636	-2,12	0,0337	5.193,9
Ingreso**	+0,000332	+2,27	0,0232	2.065,359
Nivel educativo	+0,002233	+0,18	0,8540	2,9738

*,** significancia al 1 y 5 %, respectivamente.

El coeficiente de la variable $VrDAP$ arrojó el signo teórico esperado (negativo) y goza de validez estadística (p-value < 0,005), es decir que, a mayor valor de la DAP ($VrDAP$), disminuye la probabilidad de que la persona esté dispuesta a pagar (relación inversa). El coeficiente hallado en la variable ingreso Ing del encuestado, también estadísticamente relevante (p-value < 0,005), indica que, ante un aumento en el ingreso del individuo, aumenta la probabilidad de que la persona esté dispuesta a pagar (relación positiva). De otro lado, la variable *nivel educativo*, no explica el comportamiento de la DAP del encuestado (p-valor > 0,05). Para estimar la medida de bienestar económico DAP total, se aplicó la ecuación 4 en el promedio de los datos, cuyo valor promedio fue \$9.984,04 mensual. Debido a que el número de hogares fue de 460, entonces, el potencial de recaudo mensual sería de \$4'592.661,2 (1.074,32 dólares).

Los indicadores de calidad de agua hallados dejan claro que existe un tramo de la cuenca del río Hacha en el corredor vial, que permite realizar actividades de recreación, según la normatividad ambiental colombiana, en los meses con menor precipitación, en los cuales, se concentra un mayor turismo informal. En otras zonas, cercanas al ordenamiento urbano, ya en la zona baja del río Hacha, lejos de los puntos de muestreo del presente estudio, Ortegón-Cárdenas *et al.* (2011) indican que existen altos niveles de contaminación microbiana, situación que afecta la calidad del recurso para cualquier tipo de uso. Esto ocurre, debido a que en la zona baja del río no existe una promoción de balnearios; sin embargo, prevalece un turismo local informal, aunque reducido, está relacionado con la población más vulnerable económicamente, que visita estas zonas, debido a la cercanía de los cordones urbanos no planificados y de escaso control de las autoridades. Al momento de diseñar políticas públicas para el aprovechamiento sostenible de la zona, se deberán considerar que las orientaciones pueden ser diferentes en cada uno de los puntos de recreación, justamente, por las condiciones de demanda, acceso, cercanía a centros urbanos y vertimientos no controlables existentes.

El modelo de costo viaje arrojó en la situación actual un EC por hogar de \$889, valor inferior a la DAP hallada de \$9.984,04. La diferencia entre estos valores (\$9.095), se puede atribuir a que en el primer método se estiman los valores de uso directo e indirecto, mientras que en el segundo, la valoración contingente incorpora el valor económico total que considera los usos directos, indirectos y el no uso. Ambos modelos evidencian la generación de beneficios económicos por los servicios ecosistémicos recreativos y en la posibilidad del mejoramiento de la calidad de agua y paisaje en los balnearios, ubicados en el corredor vial del río Hacha.

En el modelo para la DAP solo se encontró la variable Ing como factor incidente, así como en los estudios de Aguilar *et al.* (2018), Lorenzo Varela *et al.* (2018) y Flórez-Yepes *et al.* (2020), quienes indicaron que la DAP depende del ingreso y su relación es positiva, a mayor nivel de ingreso, existe mayor probabilidad de una DAP. En el ámbito nacional, los resultados de la presente investigación fueron coherentes con el valor hallado por Moreno-Sánchez *et al.* (2012), quienes determinaron una DAP entre \$4.800 y \$7.680 y

el estudio de Bello *et al.* (2013), con una DAP entre \$3.432,93 a \$72.754, en servicios recreativos y belleza escénica en sistemas hídricos de los Andes colombianos.

Los resultados del presente trabajo frente al contexto Latinoamericano fueron consistentes con los estudios de Chaves Esquivel (2008), quien obtuvo una DAP por servicios de recreación en el río Tempisque de \$9.493, en Costa Rica; en Paspuel Malté & Tobar Cazares (2017), la DAP por mejorar la calidad de agua osciló entre \$4.780 y \$90.000, en Ecuador. También en Perú, se destacan los estudios de Tudela-Mamani (2017), en la valoración de la calidad del agua en sistemas residuales, donde halló una DAP de \$5.687,01; Bullón García (2018) estimó una DAP de \$2.774 a \$5.629, por los cambios de los atributos del sistema del servicio de agua potable que inciden en el cambio de bienestar económico de los usuarios domésticos del área Metropolitana de Huancayo, Perú. El trabajo de Sánchez (2008) empleó los métodos de valoración contingente y costo de viaje. Dicho estudio determinó una DAP entre \$3.178,1 y \$4.883,82, en la valoración de realizada en la Laguna de Mucubají, en Venezuela.

Los estudios de Hanauer & Reid (2017), Toledo *et al.* (2018) y Neckel *et al.* (2020), destacan la conveniencia de aplicar varios métodos de valoración ambiental para complementar los análisis e identificar, tanto daños ambientales como los costos económicos y apoyar la toma de decisiones en los análisis costo-beneficio. Estos argumentos, desde la economía sobre las mejoras ambientales apoyan la viabilidad en la instauración de política ambiental, ya sea para el diseño de impuestos o tasas, como lo sugieren Cook *et al.* (2018), implementación de política vía cantidades, como en Muñoz-Pizza (2020) o justificaría la viabilidad frente a la implementación en Colombia de los pagos por servicios ecosistémicos PSE, que trata el Decreto 1007 de 2018 de la Presidencia de Colombia, como una estrategia en la adaptación y la mitigación al cambio climático.

Al evidenciar la generación de beneficios económicos para la demanda local por mejoras en la calidad de agua con fines recreativos, se puede intuir que las mejoras en el acceso, la conservación y la mejora en la calidad del cuerpo hídrico y paisajístico generará oportunidades, que se pueden traducir en negocios turísticos rentables y ambientalmente sostenibles, acordes con las agendas de desarrollo regional y en coherencia con la política nacional de crecimiento verde y la política mundial, contemplada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esta información debe servir como elemento comparativo para ordenar los proyectos en función de factores, como la prioridad, los beneficios sociales y ambientales.

Agradecimientos. Los autores agradecen la valiosa contribución de los comentarios y sugerencias realizados por los evaluadores anónimos, que permitieron mejorar de forma sustancial la calidad de este artículo. **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. **Contribución de los autores.** Yelly Yamparli Pardo Rozo: conceptualización, curaduría, validación, análisis formal y visualización de los datos,

desarrollo de la investigación, diseño metodológico, administración y supervisión del proyecto, manejo del software, redacción del borrador inicial y revisión y edición del documento. Leonardo Alonso Saldaña Fonseca: curaduría, validación y análisis formal de los datos, desarrollo de la investigación, diseño metodológico, administración del proyecto, manejo del software, redacción del borrador inicial y revisión y edición del documento. Marlon Peláez Rodríguez: análisis formal y validación de los datos, adquisición de fondos, diseño metodológico, administración y supervisión del proyecto, manejo del software y redacción del borrador inicial y revisión y edición del documento.

REFERENCIAS

1. AGUILAR, F.X.; OBENG, E.A.; CAI, Z. 2018. Water quality improvements elicit consistent willingness-to-pay for the enhancement of forested watershed ecosystem services. *Ecosystem Services*. 30:158-171. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.012>
2. ALFRANCA, Ó. 2020. La valoración del agua y la aplicación del método de las preferencias declaradas: valoración contingente vs. experimentos de elección. agua y territorio. 15(2021):101-114. <https://doi.org/10.17561/at.15.4726>
3. BELLO, C.; RUÍZ-AGUDELO, C.A.; MADRIÑAN-VALDERAMA, L.F. 2013. Aproximación a la valoración de algunos de los servicios ecosistémico de los andes colombianos, a partir de una transferencia de benéficos por meta-análisis. *Capital Natural de Colombia* Número 4. Ed. Conservación Internacional. Colombia. Bogotá, D.C. 94p.
4. BULLÓN GARCÍA, V. 2018. Efectos de la valoración de los atributos del servicio de agua potable en el cambio de bienestar económico de los usuarios domésticos del área metropolitana de Huancayo. *Prospectiva universitaria*. 15(1):145-156. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2018.15.865>
5. CHAVES ESQUIVEL, E. 2008. Valoración del agua en la cuenca del río Tempisque: un ejemplo sobre el método de valoración contingente. *Uniciencia*. 22(1-2):19-31.
6. CONSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. 1998. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*. 25(1):3-15. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(98\)00020-2](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(98)00020-2)
7. COOK, D.; EIRÍKSDÓTTIR, K.; DAVÍÐSDÓTTIR, B.; KRISTÓFERSSON, D.M. 2018. The contingent valuation study of Heiðmörk, Iceland – Willingness to pay for its preservation. *Journal of Environmental Management*. 209:126–138. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.045>
8. CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN EL SUR DE LA AMAZONIA, CORPOAMAZONIA. 2018. Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica POMCA Río Hacha. 440p. Disponible desde Internet en: <https://www.corpoamazonia.gov.co/images/2018/consultas/hacha/APRESTAMIENTO20190412.pdf>
9. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, DANE. 2022. Proyecciones de población con la actualización post COVID-19 calculadas con base en los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV-2018. Disponible en internet en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
10. FLÓREZ-YEPES, G.Y.; OSPINA-PARRA, J.A.; ALZATE-ÁLVAREZ, A.M.; CHÁVEZ-MARÍN, M.C.; GALLO-CARDONA, C.; VIDAL-SIERRA, C.A.; SERNA-MENDOZA, C.A.; SOTO-VALLEJO, I.; CASTRO-DÍAZ, R.; DELGADO, L.E. 2020. Valoración económica de los servicios ecosistémicos de humedales Altoandinos: tres métodos de aplicación. Centro Editorial Universidad Católica de Manizales. Disponible desde Internet en: <https://www.ucm.edu.co/valoracion-economica-de-los-servicios-ecosistemicos-de-humedales-altoandinos-tres-metodos-de-aplicacion/>
11. FREEMAN, A.; HERRIGES, M.; KLING, C. 2016. The measurement of environmental and resources values. Tercera edición. Editorial RFF PRESS Resources for the future. Estados Unidos. 460p.
12. HANAUER, M.M.; REID, J. 2017. Valuing urban open space using the travel-cost method and the implications of measurement error. *Journal of Environmental Management*. 198(2):50-65. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.005>
13. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA, IDEAM. 2011. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y aguas subterráneas. Disponible desde Internet en: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dllm_download&p=3834
14. LARREA MURRELL, J.A.; ROMEU ÁLVAREZ, B.; LUGO MOYA, D.; ROJAS BADÍA, M. 2022. Aspectos fundamentales del monitoreo de calidad de las aguas: el río Almendares como caso de estudio. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 53(2):148-159.
15. LORENZO VARELA, J.M.L.; BÖRJESSON, M.; DALY, A. 2018. Quantifying errors in travel time and cost by latent variables. *Transportation*

- Research Part B: Methodological. 117:520-541. <https://doi.org/10.1016/J.TRB.2018.09.010>
16. MORELOS-GÓMEZ, J.; CARDONA-ARBELÁEZ, D.; LORA-GUZMÁN, H. 2020. Análisis del comportamiento del turismo informal en la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*. 11(1):63-71. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n1.2020.11683>
 17. MORENO-SÁNCHEZ, R.; MALDONADO, J.H.; WUNDER, S.; BORDA-ALMANZA, C. 2012. Heterogeneous users and willingness to pay in an ongoing payment for watershed protection initiative in the Colombian Andes. *Ecological Economics*. 75:126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.01.009>
 18. MUÑOZ-PIZZA, D.M.; VILLADA-CANELA, M.; RIVERA-CASTAÑEDA, P.; REYNA-CARRANZA, M.A.; OSORNIO-VARGAS, A.; MARTÍNEZ-CRUZ, A.L. 2020. Stated benefits from air quality improvement through urban afforestation in an arid city – A contingent valuation in Mexicali, Baja California, Mexico. *Urban Forestry & Urban Greening*. 55(2020):126854. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126854>
 19. NECKEL, A.; LIMA, J.; POL, P.; KUJAWA, H.; ARALDI, J.; PACHECO, E. 2020. Estimation of the economic value of urban parks in Brazil, the case of the City of Passo Fundo. *Journal of Cleaner Production*. 264(5):121369. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121369>
 20. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS. 2021. La OMS publica las Directrices sobre la calidad del agua para usos recreativos, coincidiendo con la llegada del verano y el calor. Disponible desde Internet en: <https://www.who.int/es/news/item/13-07-2021-who-launches-guidelines-for-recreational-water-quality-as-summer-heats-up>
 21. ORTEGÓN-CÁRDENAS, L.H.; LÓPEZ-CASTILLO, A.G.; PELÁEZ-RODRÍGUEZ, M. 2011. Coliformes totales y fecales como herramienta para evaluar la calidad de agua de la cuenca del río Hacha en Florencia, Caquetá. *Momentos de Ciencia*. 8(1):2-7.
 22. PARDO ROZO, Y.Y.; MUÑOZ RAMOS, J.; VELÁSQUEZ RESTREPO, J.E. 2022. Valoración económica de servicios ecosistémicos en bosques de sistemas agropecuarios del piedemonte amazónico colombiano. *Revista Desarrollo y Sociedad*. 91(2):143-169. <https://doi.org/10.13043/DYS.91.4>
 23. PASPUEL MALTE, V.J.; TOBAR CAZARES, L.J. 2017. Valoración económica del servicio ambiental hídrico: para la ciudad de Tulcán. *Revista Publicando*. 4(2):135-148.
 24. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. 1984. Decreto 1594 de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Disponible desde Internet en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18617>
 25. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. 2018. Decreto 1007 de 2018. Por el cual se modifica el Capítulo 8 del Título 9 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la reglamentación de los componentes generales del incentivo de pago por servicios ambientales y la adquisición y mantenimiento de predios en áreas y ecosistemas estratégicos que tratan el Decreto Ley 870 de 2017 y los artículos 108 y 111 de Ley 99 de 1993, modificados por los artículos 174 de la Ley 1753 de 2015 y 210 de la Ley 1450 de 2011, respectivamente. Disponible desde Internet en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=86901>
 26. RAMOS-ORTEGA, L.M.; VIDAL, L.A.; VILARDY Q., S.; SAAVEDRA-DÍAZ, L. 2008. Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*. 13(3):87-98. <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028004007.pdf>
 27. REID, W. 2005. Living beyond our means. natural assets and human well-being. Statement from the board. Millennium Ecosystem Assessment Publications. 24p.
 28. RIPKA DE ALMEIDA, A.; DA SILVA, C.L.; HERNÁNDEZ SANTOYO, A. 2018. Métodos de valoración económica ambiental: instrumentos para el desarrollo de políticas ambientales. *Universidad y Sociedad*. 10(4):246-255.
 29. SÁNCHEZ, J. 2008. Valoración contingente y costo de viaje aplicados al área recreativa laguna de Mucubají. *Economía*. 33(26):119-150.
 30. SANDOVAL CHÁVEZ, D.A.; CÓRDOVA Y VÁZQUEZ, A.; CERVANTES RENDÓN, E.; CERVERA GÓMEZ, L.E.; REYES ESCALANTE, A.Y. 2021. Valoración económica de la multifuncionalidad de los parques urbanos. *Revista de Economía*. 38(96):89-119. <https://doi.org/10.33937/reveco.2021.176>
 31. TOLEDO, D.; BRICEÑO, T.; OSPINA, G. 2018. Ecosystem service valuation framework applied to a legal case in the Anchicaya region of Colombia. *Ecosystem Services*. 29(2018):352-359. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.022>

32. TUDELA-MAMANI, J.W. 2017. Estimación de beneficios económicos por el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Puno (Perú). *Revista Desarrollo y Sociedad*. 79(2017):189-238. <https://doi.org/10.13043/dys.79.6>
33. URIBE, E.; MENDIETA, J.; RUEDA, H.; CARRIAZO, F. 2003. Introducción a la valoración ambiental y estudios de caso. CEDE – COLCIENCIAS. Bogotá, Colombia. Ediciones Uniandes. 227p.
34. ZULPIKAR, F.; TAMBUNAN, L.A.; RAHMI UTAMI, S.; EL KIYAT, W. 2018. Economic valuation of marine tourism in small island using travel cost method (Case study: Untung Jawa Island, Indonesia). *Omni-Akuatika*. 14(1):28-35. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2018.14.1.465>



Observaciones en cautiverio de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna* en el departamento del Magdalena

Observations in captivity of the jellyfish *Lychnorhiza* aff. *lucerna* in the department of Magdalena

Santiago González-Rojas^{1*} ; Pedro Porto² ; Adriana Rodríguez-Forero² ; Sigmer Quiroga³ 

¹Universidad del Magdalena, Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura -GIDTA-, Grupo de Investigación en Manejo y Conservación de Fauna, Flora y Ecosistemas Estratégicos Neotropicales -MIKU-. Santa Marta - Magdalena, Colombia; e-mail: sangor21@gmail.com

²Universidad del Magdalena, Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura -GIDTA-. Santa Marta - Magdalena, Colombia; e-mail: portopedroluis@gmail.com; arodriguez@unimagdalena.edu.co

³Universidad del Magdalena. Santa Marta - Magdalena, Colombia; e-mail: sigmerquiroga@unimagdalena.edu.co

*autor de correspondencia: sangor21@gmail.com

Cómo citar: González-Rojas, S.; Porto, P.; Rodríguez-Forero, A.; Quiroga, S. 2023. Observaciones en cautiverio de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna* en el departamento del Magdalena. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2224. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2224>

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 3 de 2022

Aceptado: octubre 10 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

En los últimos años se ha evidenciado un notable aumento en las poblaciones de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna* en el departamento del Magdalena, lo que ha tenido un impacto en la pesca artesanal y el turismo. El conocimiento que se tiene sobre la biología básica de estos organismos sigue siendo limitado, por lo que se hace necesario profundizar en la comprensión acerca de esta medusa y su historia de vida. El objetivo de esta investigación fue realizar ensayos preliminares para evaluar la viabilidad del mantenimiento en cautiverio de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna*, implementando sistemas de acuarios y estrategias de reproducción que han sido usados en otras especies de medusas. Se realizaron ensayos de fertilización *in vitro* y la fecundación fue exitosa con la observación de embriones en su primer clivaje. Las medusas fueron mantenidas en cautiverio en sistemas Kreisel por un periodo de 60 días, en este tiempo, las medusas disminuyeron hasta el 30 % de su tamaño. Se confirmó que los acuarios Kreisel y Pseudo-Kreisel son idóneos para el mantenimiento de esta especie filtradora, debido a que proporcionan las condiciones mínimas necesarias para estos organismos.

Palabras clave: Historia de vida; *Lychnorhizidae*; Rasgos de vida; Scyphozoa; Sistemas Kreisel.

ABSTRACT

In recent years, there has been a noticeable increase in the populations of the jellyfish *Lychnorhiza* aff. *lucerna* in the department of Magdalena, Colombia, impacting artisanal fishing and tourism. The understanding of the basic biology of these organisms remains limited, emphasizing the necessity to delve deeper into comprehending this jellyfish and its life history. The aim of this research was to conduct preliminary trials to assess the feasibility of maintaining the jellyfish *Lychnorhiza* aff. *lucerna* in captivity by employing aquarium systems and reproduction strategies used in other species of jellyfish. *In vitro* fertilization trials were conducted, resulting in successful fertilization observed through embryos in their first cleavage. The jellyfish were maintained in Kreisel systems for a 60 days period, during which their size decreased by up to 30 %. It was confirmed that Kreisel and Pseudo-Kreisel aquariums are suitable for sustaining this filter-feeding species, as they provide the necessary minimum conditions for these organisms.

Keywords: Kreisel systems; Life history; *Lychnorhizidae*; Scyphozoa; Traits life history.

INTRODUCCIÓN

Las medusas son organismos marinos que tienen un gran potencial para su uso en acuicultura y acuarifilia (Merquiol *et al.* 2019). Son organismos con ciclo de vida relativamente corto y con requerimientos básicos para su mantenimiento, lo que las hace ideales para su estudio y cría (Duarte *et al.* 2022). Por lo tanto, estos organismos se utilizan como modelos biológicos en una gran variedad de campos, incluyendo, la biomedicina, la cosmética y la farmacología (Duarte *et al.* 2022). Las toxinas de estos organismos se almacenan en los nematocistos, que contienen una variedad de compuestos bioactivos con potencial para su uso en el tratamiento de enfermedades (Merquiol *et al.* 2019).

Las medusas del género *Lychnorhiza* aff. *lucerna* hacen parte del orden Rhizostomeae, son organismos que carecen de tentáculos, y poseen una boca central, ocho brazos orales con múltiples aberturas bucales y una cavidad gastrovascular en forma de cruz (Kramp, 1961). La familia Lychnorhizidae se encuentra constituida por tres géneros, *Anomalorhiza* Light, 1921, registrada para las costas de Filipinas, *Pseudorhiza* von Lendenfeld, 1882, para el sur de Australia y *Lychnorhiza* Haeckel, 1880, que se reporta para el archipiélago Indo-Malayo, Uruguay, Brasil, Argentina y Colombia (Cedeño-Posso & Lecompte, 2013). Actualmente, se registran tres especies para el género: *L. malayensis*, *L. arubae* y *L. lucerna*. En la costa Caribe de Colombia, específicamente, en el departamento del Magdalena, se ha registrado la presencia de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna*. En los últimos años, los pescadores artesanales han presenciado afloramientos de esta especie, que pueden afectar sus labores de pesca y la afluencia turística de la región (Cedeño-Posso & Lecompte, 2013).

L. aff. lucerna se presenta durante todo el año y los aumentos repentinos en sus poblaciones pueden ocasionar cambios en la estructura de los ecosistemas (Arai, 1997; Bosch-Belmar *et al.* 2020); por ejemplo, disminuyen algunas poblaciones de peces, afectando directamente los niveles tróficos superiores (Purcell & Sturdevant, 2001; Bosch-Belmar *et al.* 2020). No se conocen las causas precisas de estos afloramientos, pero se especula que pueden estar asociados con el cambio climático global, tal como ocurre con otras especies de medusas (Dong, 2019).

El mantenimiento y reproducción en cautiverio de las medusas puede proporcionar información base para entender la ecología y biología de estos organismos, así como, información que permita entender las dinámicas que influyen en el crecimiento de sus poblaciones. En general, las medusas son difíciles de mantener en cautiverio, pero, se han hecho avances significativos en los últimos años, por lo esta es un área de investigación emergente. El mantenimiento de las medusas tiene el potencial de proporcionar una fuente sostenible de estos organismos para su uso en investigación y aplicaciones comerciales (Purcell *et al.* 2013). Mantener la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna* en condiciones de laboratorio sigue siendo un desafío, debido a que es necesario satisfacer sus requerimientos nutricionales y replicar las condiciones de su hábitat (Ramondenc *et al.* 2019).

El sistema para el mantenimiento en cautiverio puede inhibir el crecimiento y el desarrollo de las medusas, por lo que es importante tener el flujo de agua constante y a baja velocidad, para evitar fricciones con las superficies del acuario (Purcell *et al.* 2013). Actualmente, los sistemas para el mantenimiento de las medusas en cautiverio se basan en tanques Kreisel (Greve, 1968), que mantienen a los organismos en suspensión en la columna de agua, gracias a corrientes circulares (Widmer, 2008), pero la forma de los contenedores se modifica de acuerdo con la especie criada. En el caso de *Lychnorhiza* aff. *lucerna* por su mecanismo de captura de las presas que son atrapadas por los cnidocitos presentes en la cavidad gastrovascular, los requerimientos funcionales de los acuarios son menores (Arai, 1997).

Son pocos los estudios centrados en la biología reproductiva, la alimentación y el mantenimiento en cautiverio de otras especies de medusas. Cargo *et al.* (1980) observaron la reproducción asexual del escifistoma de la medusa *Chrysaora quinquecirrha*, encontrando que, a bajas temperaturas alrededor de los 18 °C se generaban nuevos pólipos y al elevar las temperaturas, estos pólipos fueron inducidos a la estrobilación. Avian (1986) realizó experimentos *in vitro* del desarrollo de las etapas reproductivas y la fertilización de *Pelagia noctiluca*, encontrando que la temperatura afecta el desarrollo de este organismo, el cual, disminuye a temperaturas cercanas a los 14 °C en comparación con pruebas a 19 °C. Lucas & Lawes (1998) estudiaron la reproducción sexual del escifozoo *Aurelia aurita* en relación con la temperatura y la alimentación, encontrando que estas dos variables influían en las características y estrategias reproductivas, además, evidenciaron que la variación en la calidad y cantidad de huevos depende de factores genéticos.

Por otro lado, se han realizado experimentos de inducción a la reproducción en la especie *L. lucerna*, en donde se sometieron a una disminución de la temperatura de 22 a 16 (Schiariti *et al.* 2008). En general, las diferentes etapas de vida de las medusas se mantienen con diferentes organismos, como *Artemia* sp. copépodos y microalgas (Schiariti *et al.* 2008).

En la presente investigación se evaluó la viabilidad de la reproducción y mantenimiento en cautiverio de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna*, para establecer los protocolos básicos de mantenimiento y reproducción de estos organismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron ejemplares de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna* en la Isla de Salamanca, en el municipio de Pueblo Viejo (departamento de Magdalena), ubicado en 10°59'05" N, 74°18'16" O. La porción costera de la Isla de Salamanca se comunica directamente con la gran marisma "Ciénaga Grande de Santa Marta".

Se seleccionaron medusas maduras con un diámetro de la umbrela entre 10 y 14 cm y con gónadas de coloración naranja y verde, para aumentar la probabilidad de elegir hembras y machos, respectivamente (Schiariti *et al.* 2008). Los especímenes fueron rápidamente transportados en contenedores con agua de mar y

refrigerados con bolsas de hielo a 20 °C hasta las instalaciones del laboratorio de acuicultura de la Universidad del Magdalena. Una vez en el laboratorio, se midieron y pesaron; el sexo se determinó mediante biopsias de tejido gonadal, analizadas al microscopio (Schiariti *et al.* 2008). Se tomaron medidas del diámetro y la altura de la umbrela una vez a la semana, para monitorear el crecimiento (Acevedo *et al.* 2013).

Se ensayaron dos metodologías para llevar a cabo la fecundación: 1) Método *in vitro*: porciones de gónadas de hembras y machos, lavadas con agua de mar microfiltrada, fueron mezcladas en cajas de Petri, con el fondo previamente recubierto con agar-agar y conteniendo agua de mar microfiltrada y autoclavada (Schiariti *et al.* 2008), 2) Método de incubación: porciones de gónadas fueron colocadas directamente en contenedores de 500 ml, con agua de mar microfiltrada y con aireación moderada (Schiariti *et al.* 2008). En los dos métodos se mantuvieron a la temperatura y salinidad registradas en la zona de estudio al momento de la captura (27 °C y 30 de salinidad). Ambos métodos fueron monitoreados cada 2 horas.

Por otro lado, las medusas se mantuvieron en tres acuarios (100 L), con dimensiones de 90x90x30 cm (Hamner *et al.* 1995). Dentro de cada acuario, se instaló una lámina circular de acrílico de 10 mm de espesor y un tubo horizontal, con orificios, conectado al sistema de bombeo, con la finalidad de generar un flujo de agua laminar, lento y circular (Hamner *et al.* 1995). Un sistema de circulación secundario se ubicó en el fondo del acuario, dentro de un espacio separado de la cámara principal por medio de una lámina acrílica de 5 mm de espesor, con un orificio de 50 mm y protegida con una malla de 500 µm, para evitar la succión de las medusas. Un sistema de filtración se ubicó junto a los acuarios para ayudar a eliminar las impurezas en el cultivo, como restos de comida, heces y material

orgánico (Acevedo *et al.* 2013). Los parámetros fisicoquímicos del agua, temperatura (°C) y salinidad (UPS) se midieron diariamente, con un refractómetro (Aichose) y un multiparámetro. Las medusas se alimentaron con nauplios de *Artemia* sp. y microalgas del género *Nannochloropsis* sp.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante diciembre de 2020 y marzo de 2021 se capturaron 74 medusas maduras. 55 organismos se utilizaron en ensayos de mantenimiento en cautiverio y 19 en ensayos de fecundación *in vitro*. La talla de todas las medusas capturadas varió entre 45,78 y 120,91 mm de diámetro de la umbrela (media de $77,31 \pm 14,95$ mm); la longitud de los brazos orales varió entre 47,71 y 179,58 mm ($93,79 \pm 28,15$ mm) (Figura 1).

Ensayo de reproducción *in vitro* de *Lychnorhiza* aff. *lucerna*.

Como resultado de los ensayos de reproducción *in vitro* solo se logró comprobar la fecundación con la observación de embriones después del primer clivaje, pero ninguno logró superar este estadio. En ninguno de los cinco ensayos de fertilización *in vitro* se logró el desarrollo hasta el estado de plánula. En los tres ensayos realizados en cajas de petri, en las primeras 4 horas, la salinidad y la turbidez aumentaron rápidamente, ocasionando la formación de cristales de sal y la destrucción de los huevos sin ser fecundados. En los dos ensayos restantes, que se realizaron en frascos de 500 ml con poca aireación, las condiciones del agua se mantuvieron más constantes y se logró la fecundación, observándose embriones en su primer clivaje holoblástico y otros con clivaje irregular (Figura 2). Sin embargo, en ningún caso, se observaron estados más avanzados de desarrollo.

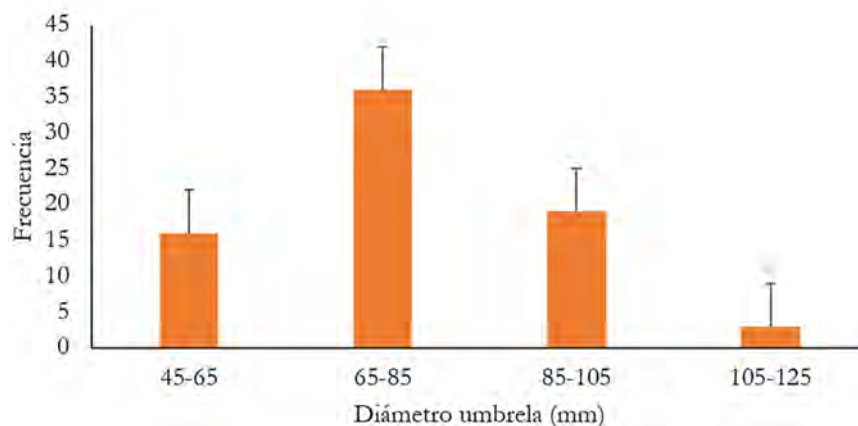


Figura 1. Estructura de tallas del diámetro de la umbrela de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna* en el sector costero de la Isla de Salamanca, Colombia.

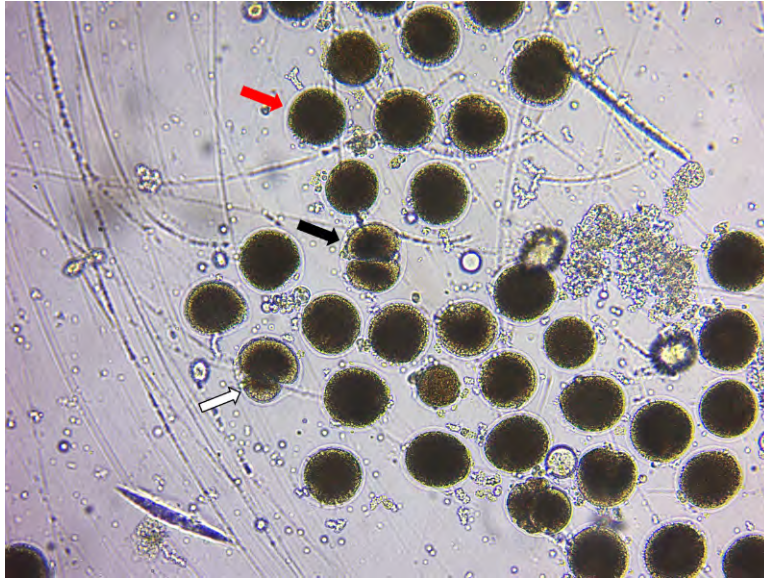


Figura 2. Ensayo de fertilización *in vitro* de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna*. Flecha de color rojo indica huevos no fecundados; flecha de color negro indica embriones en etapa de primer clivaje holoblástico; flecha blanca embriones con clivaje irregular.

Ensayo de mantenimiento de *Lychnorhiza* aff. *lucerna*. Los especímenes de ambos sexos se mantuvieron en los tanques Kreisel y Pseudo-Kreisel por un período de 60 días. Durante este tiempo, las medusas disminuyeron progresivamente de tamaño, las gónadas, la umbrela y los brazos orales disminuyeron con el tiempo. El diámetro inicial de la umbrela de la medusa estaba entre 65,74 y 100,03mm y al final del período de 60 días, la umbrela disminuyó en más de un 40 % en machos y hembras.

A pesar de esto, los organismos mostraron estar en buenas condiciones y no se evidenciaron deformaciones. Se observó un correcto funcionamiento del sistema de cultivo, debido a que las corrientes de agua permitieron el movimiento de las medusas y la suspensión de estas en la columna de agua, evitando la fricción con las paredes del acuario y el estancamiento. En general, la temperatura y salinidad de los sistemas de acuarios varió entre 25,10 a 28,20 °C ($26,24 \pm 0,59$ °C) y 30,00 a 40,00 UPS ($35,58 \pm 2,52$), respectivamente. Por otro lado, los valores de pH, amoníaco ($\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-) fueron de 8,4, < 0,25, < 0,25 y < 0,40, respectivamente. Finalmente, no se observaron huevos, larvas o pólipos de las medusas cautivas, ni en el sistema, ni en el filtro de depuración de agua.

A nivel mundial, el cultivo de medusas se remonta a 1932 en el viejo continente, esta idea surgió con el objetivo de observar a estos organismos, promover su uso como especies ornamentales y potenciar su uso como modelos científicos (Lange *et al.* 2016). En Colombia existen pocos trabajos enfocados en este tema y solo existen dos lugares donde se tienen acuarios especializados en medusas, el Parque Explora de la ciudad de Medellín y las instalaciones del Mundo Marino de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (Lecompte *et al.* 2010).

El cultivo de medusas en laboratorio requiere simular las condiciones de los ecosistemas donde viven las medusas. Los sistemas de

mantenimiento deben generar corrientes que mantengan a las medusas suspendidas en la columna de agua y sin generar burbujas, debido a que, estas pueden alojarse bajo la umbrela, obligando a las medusas a salir a la superficie. Además, los sistemas no deben tener elementos sólidos dentro del acuario, la calidad del agua debe ser constante y el sistema de filtración del agua debe ser óptimo. Finalmente, una dieta variada de organismos es fundamental para el mantenimiento de las medusas (Raskoff *et al.* 2003; Purcell *et al.* 2013), características que se consideraron durante el desarrollo de esta experiencia.

Este estudio se realizó con medusas capturadas entre los meses de enero y marzo, momento, en el cual, las medusas tienen el tamaño promedio de madurez, las gónadas se encuentran visiblemente desarrolladas y la fecundidad relativa es máxima (Schiariti *et al.* 2008). Aunque las pruebas realizadas no tuvieron éxito, se observaron algunos huevos fertilizados, que indican que el proceso de fertilización es posible. Los mejores resultados se obtuvieron en las pruebas de fertilización utilizando recipientes de 500 ml, ya que es más fácil controlar la salinidad y la temperatura.

Las pruebas de fertilización del presente trabajo se realizaron con base en el trabajo de Schiariti *et al.* (2008), donde los autores probaron la fertilización manteniendo las condiciones fisicoquímicas de los cultivos como las obtenidas en campo, las cuales estuvieron entre 19-22 °C de temperatura y salinidades de 17 UPS. En el presente estudio, la temperatura y la salinidad estuvieron entre 27,30-34,50 °C y 28,00-36,00 UPS, respectivamente, casi el doble del estudio mencionado anteriormente; el elevado aumento de la salinidad se debió a la rápida evaporación del agua, lo que imposibilitó el correcto desarrollo de los embriones. Se considera que es posible realizar el ciclo de vida de la medusa *Lychnorhiza* aff. *lucerna*, manteniendo la salinidad a <20 UPS y la temperatura entre 20-28 °C.

En el presente trabajo se alimentó a la medusa con *Artemia* sp. y como complemento (suplemento) microalgas del género *Nannochloropsis* sp.; a pesar de ello, el tamaño de los organismos disminuyó en más de un 30 % en un periodo de 60 días, resultados que difieren con trabajos como el de Lilley *et al.* (2014) en donde lograron la fecundación in vitro de los huevos de la medusa *Pelagia noctiluca* y los especímenes fueron mantenidos por aproximadamente dos años, alcanzando un diámetro de umbrela de 0 a 7 cm. Esto, probablemente, se deba a la alimentación, ya que la medusa *Pelagia noctiluca* se mantuvo con una mezcla de organismos, como copépodos, una mezcla de arrastre de zooplankton y otras especies de medusas.

Agradecimientos. Los autores agradecen al grupo de investigación MIKU y GIDTA y a la convocatoria del Fondo patrimonial para la investigación FONCIENCIAS 2018 de la Vicerrectoría de investigación de la Universidad del Magdalena, por el apoyo para el desarrollo del proyecto “Ensayos de mantenimiento y reproducción en cautiverio de la medusa *Lychnorhiza* sp. (Scyphozoa: Rhizostomeae)”. **Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no hay conflictos de intereses. **Contribución de los autores:** Santiago González Rojas: conceptualización, diseño de la metodología, análisis de datos, conducción de la investigación y escritura borrador original. Pedro Porto: diseño de la metodología y conducción de la investigación. Adriana Rodríguez-Forero: conceptualización, escritura, revisión y edición del manuscrito, y administración y supervisión del proyecto. Sigmer Quiroga: conceptualización, diseño de la metodología, y escritura, revisión y edición del manuscrito.

REFERENCIAS

1. ACEVEDO, M.J.; FUENTES, V.L.; OLARIAGA, A.; CANEPA, A.; BELMAR, M.B.; BORDEHORE, C.; CALBET, A. 2013. Maintenance, feeding and growth of *Carybdea marsupialis* (Cnidaria: Cubozoa) in the laboratory. *Journal of experimental marine biology and ecology*. 439:84-91. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.10.007>
2. ARAI, M. 1997. A functional biology of Scyphozoa. Springer Science & Business Media (Canada) p.316
3. AVIAN, M. 1986. Temperature influence on in vitro reproduction and development of *Pelagia noctiluca* (Forskål). *Italian Journal of Zoology*. 53(4):385-391. <https://doi.org/10.1080/11250008609355528>
4. BOSCH-BELMAR, M.; MILISENDA, G.; BASSO, L.; DOYLE, T.K.; LEONE, A.; PIRAINO, S. 2020. Jellyfish impacts on marine aquaculture and fisheries. *reviews in fisheries science & aquaculture*. 29:242-259. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1806201>
5. CARGO, D.G.; RABENOLD, G.E. 1980. Observations on the asexual reproductive activities of the sessile stages of the sea nettle *Chrysaora quinquecirrha* (Scyphozoa). *Estuaries*. 3(1):20-27. <https://doi.org/10.2307/1351931>
6. CEDEÑO-POSSO, C.M.; LECOMPTE PÉREZ, O.P. 2013. Primer registro de medusas del género *Lychnorhiza* (Cnidaria: Scyphozoa: Rhizostomeae: Lychnorhizidae) en el Mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*. 42(2):387-393.
7. DUARTE, I.M.; MARQUES, S.C.; LEANDRO, S.M.; CALADO, R. 2022. An overview of jellyfish aquaculture: for food, feed, pharma and fun. *Reviews in Aquaculture*. 14(1):265-287. <https://doi.org/10.1111/raq.12597>
8. DONG, Z. 2019. Blooms of the moon jellyfish *Aurelia*: Causes, Consequences and Controls. En: Sheppar, C. (ed.) *World Seas: Environmental Evaluation*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00008-5>
9. GREVE, W. 1968. The “planktonkreisel”, a new device for culturing zooplankton. *Marine Biology*. 1:201-203. <https://doi.org/10.1007/BF00347112>
10. HAMNER, W.M.; JONES, M.S.; HAMNER, P.P. 1995. Swimming, feeding, circulation and vision in the Australian box jellyfish, *Chironex fleckeri* (Cnidaria: Cubozoa). *Marine and Freshwater Research*. 46(7):985-990. <https://doi.org/10.1071/MF9950985>
11. KRAMP, P. 1961. Synopsis of medusae of the world. *Journal of the marine biological Association of the United Kingdom*. 40:1-469.
12. LANGE, J.; TAI, M.; KAISER, R. 2016. Husbandry of jellyfish, from the beginning until today. *Der Zoologische Garten*. 85(1-2):52-63. <https://doi.org/10.1016/j.zoolgart.2015.09.009>
13. LECOMPTE, O.; VILLAMIL, L.; CEDEÑO, C. 2010. Un acuario para las medusas. *Expediño*. 4:1-10.
14. LILLEY, M.K.S.; FERRARIS, M.; ELINEAU, A.; BERLINE, L.; CUVILLIERS, P.; GILLETTA, L.; THIÉRY, A.; GORSKY, G.; LOMBARD, F. 2014. Culture and growth of the jellyfish *Pelagia noctiluca* in the laboratory. *Marine Ecology Progress Series*. 510:265-273. <https://doi.org/10.3354/meps10854>
15. LUCAS, C.H.; LAWES, S. 1998. Sexual reproduction of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in relation to temperature and variable food supply. *Marine Biology*. 131(4):629-638. <https://doi.org/10.1007/s002270050355>
16. MERQUIOL, L.; ROMANO, G.; IANORA, A.; D'AMBRA, I. 2019. Biotechnological applications of Scyphomedusae. *Marine Drugs* 17:604. <https://doi.org/10.3390/md17110604>
17. PURCELL, J.E.; STURDEVANT, M.V. 2001. Prey selection and dietary overlap among zooplanktivorous

- jellyfish and juvenile fishes in Prince William Sound, Alaska. *Marine Ecology Progress Series*. 210:67-83. <https://doi.org/10.3354/meps210067>
18. PURCELL, J.E.; BAXTER, E.J.; FUENTES, V.L. 2013. Jellyfish as products and problems of aquaculture. En: Allan, G.; Burnell, G. (eds.) *Advances in aquaculture hatchery technology*. Woodhead Publishing. p. 404-430. <https://doi.org/10.1533/9780857097460.2.404>
19. RAMONDENC, S.; FERRIEUX, M.; COLLET, S.; BENEDETTI, F.; GUIDI, L.; LOMBARD, F. 2019. From egg to maturity: a closed system for complete life cycle studies of the holopelagic jellyfish *Pelagia noctiluca*. *Journal of Plankton Research*. 41(3):207-217. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbz013>
20. RASKOFF, K.A.; SOMMER, F.A.; HAMNER, W.M.; CROSS, K.M. 2003. Collection and culture techniques for gelatinous zooplankton. *The Biological Bulletin*. 204(1):68-80. <https://doi.org/10.2307/1543497>
21. SCHIARITI, A.; KAWAHARA, M.; UYE, S.; MIANZAN, H.W. 2008. Life cycle of the jellyfish *Lycnorbiza lucerna* (Scyphozoa: Rhizostomeae). *Marine Biology*. 156(1):1-12. <https://doi.org/10.1007/s00227-008-1050-8>
22. WIDMER, C.L. 2008 *How to keep jellyfish in aquariums: An introductory guide for maintaining healthy jellies*. Wheatmark. 212p.

Caracterización estructural, térmica y morfológica de *Crescentia cujete* (totumo) con potencial uso como polímero biodegradable

Structural, thermal and morphological characterization of *Crescentia cujete* (totumo) with potential use as biodegradable polymer

Raúl Fernando Sánchez-Aguilar¹; Yineer Alexis Castillo²; Sandro Alberto Ibarra-Sanchez³; Javier Andrés Muñoz-Chaves^{2*}

¹Corporación Universitaria Comfacauca - Unicomfacauca, Facultad de Ingeniería. Popayán - Cauca, Colombia; e-mail: raulsanchez@unicomfacauca.edu.co

²Corporación Universitaria Comfacauca - Unicomfacauca, Facultad de Ingeniería. Popayán - Cauca, Colombia; e-mail: yineercastillo@unicomfacauca.edu.co, jmunoz@unicomfacauca.edu.co,

³Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV. Rio de Janeiro, Brasil; e-mail: adjp_sais@pq.uenf.br

*autor de correspondencia: jmunoz@unicomfacauca.edu.co

Cómo citar: Sánchez-Aguilar, R.F.; Castillo, Y.A.; Ibarra-Sanchez, S.A.; Muñoz-Chaves, J.A. 2023. Caracterización estructural, térmica y morfológica de *Crescentia cujete* (totumo) con potencial uso como polímero biodegradable Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2398. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2398>

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 5 de 2023

Aceptado: diciembre 5 de 2023

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Actualmente, se reconoce que los plásticos derivados de productos petroquímicos son uno de los mayores problemas sociales y ambientales, debido al uso excesivo y a la dificultad de su descomposición, lo que ha aumentado la preocupación por encontrar alternativas a estos materiales. De esta forma, este trabajo se centra en la caracterización por medio de DRX, FRX FTIR, DSC, TGA y análisis cualitativo de biodegradabilidad del fruto de *Crescentia cujete* (totumo), a fin de establecer bases para ser considerado una alternativa de uso, como polímero biodegradable. Los resultados de la caracterización estructural evidenciaron que se trata de un material semicristalino, compuesto, principalmente, de celulosa tipo I, con una cristalinidad del 29 %. Se determinó que la estabilidad térmica de este material alcanza los 175 °C, con la pérdida de humedad, siendo la única observación hasta esta temperatura. Se confirmó la presencia de hemicelulosa y celulosa a temperaturas superiores y su posterior descomposición. El estudio de biodegradabilidad indicó la presencia de un ataque microbiano a las 72 horas de monitoreo, evidenciado por la aparición de un hongo en la superficie del material, lo que causó cambios en la emisión de dióxido de carbono y monóxido de carbono. Después de 200 horas se observó una disminución del volumen del hongo, lo que sugiere que este se propagó al interior del material, dando

origen puntos negros de descomposición en la superficie de las muestras. Así, el totumo se podría considerar como una alternativa de material lignocelulósico, para la preparación de materiales poliméricos biodegradables.

Palabras clave: Bioplástico; Celulosa; Materiales alternativos; Polímeros biodegradables; Residuo lignocelulósico.

ABSTRACT

Currently, it is recognized that plastics derived from petrochemicals are one of the biggest social and environmental problems due to their excessive use and difficulty in decomposition, which has increased the concern to find alternatives to these materials. This study characterizes the fruit of *Crescentia cujete* (calabash tree) as a biodegradable polymer through DRX, FTIR, DSC, TGA, and qualitative biodegradability analysis. The structural characterization revealed a semi-crystalline material composed mainly of type I cellulose, with a crystallinity of 29 %. The material's thermal stability was determined to be up to 175 °C, with moisture loss being the only observation at this temperature. The presence of hemicellulose and cellulose at higher temperatures and their subsequent decomposition were confirmed. The biodegradability study indicated the presence of microbial attack at 72 hours

of monitoring, evidenced by the appearance of a fungus on the material surface, causing changes in CO₂ and CO emissions. After 200 hours, a decrease in the volume of the fungus was observed, suggesting that it spread inside the material, giving rise to black spots of decomposition on the surface of the samples. Thus, calabash tree could be considered as an alternative lignocellulosic material for the preparation of biodegradable polymeric materials.

Keywords: Alternative materials; Biodegradable polymer; Bioplastic; Cellulose; Lignocellulosic waste.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos de origen petroquímico representan una de las mayores problemáticas socioambientales, debido a su uso indiscriminado y su lenta biodegradabilidad, que afectan el medio ambiente, lo que ha incrementado la búsqueda de alternativas, que cada día están tomando más fuerza. Según la Organización de Naciones Unidas - ONU (2018), se estima que para el 2030, la producción de plástico será, aproximadamente, de 619 millones de toneladas anuales, datos inquietantes, pero que, a su vez, causan mayor interés hacia la creación de materiales biodegradables, que no contaminen el medio ambiente y beneficien el entorno.

En este sentido, es importante resaltar que el proceso de biodegradabilidad de los materiales depende de características esenciales, tal como la velocidad de degradación, donde se debe tener en cuenta las condiciones del medio, la estructura polimérica, la tipología del componente de descomposición, además de las propiedades mecánicas, físicas y químicas, como el pH, la cristalinidad, el peso molecular y la temperatura (Rodríguez, 2012; Meneses *et al.* 2007). Un material es catalogado como biodegradable, de acuerdo con la norma ASTM D5488-944 (ASTM, 1994), por su capacidad de descomposición, transformándose en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, por medio de procesos aeróbicos o anaeróbicos (Meneses *et al.* 2007).

En este sentido, dentro de la naturaleza se encuentran elementos orgánicos con la característica esencial de biodegradabilidad, dentro de los cuales, se destacan los polímeros naturales, que permiten una fácil transformación en procesos agroindustriales, debido a que cuentan con una cadena orgánica (hidrocarbonada) lineal o ramificada, conformada por la unión de diversos monómeros, para formar copolímeros (Acquavia *et al.* 2021).

Entre los materiales poliméricos que se encuentran en la corteza terrestre se destacan el almidón y la celulosa, provenientes de diferentes partes de las plantas, como microfibras, maderas y semillas. La celulosa es considerada como uno de los polímeros naturales más abundante de la naturaleza; estructuralmente, se caracteriza por ser un polímero de elevado peso molecular y compuesto por largas cadenas de unidades de D-glucosa unidas entre sí, por enlaces β-1, 4-glucosídicos (Zielińska *et al.* 2021). Adicional, este polímero presenta adecuadas propiedades de gran interés tecnológico, como son la biocompatibilidad, la biodegradabilidad y la capacidad de renovación (Amalraj *et al.* 2018; Bahloul *et al.* 2021). En cuanto a su clasificación se encuentra la celulosa tipo I o nativa de origen

natural, con estructura ordenada e insoluble al agua, que se subdivide en tipo monoclinica, proveniente de plantas superiores y el tipo triclinica característica de algas y bacterias. Cabe resaltar, que a partir de la celulosa nativa y por medio de tratamientos químicos, se obtienen otras clases de celulosas, como las denominadas tipo II o celulosa regenerada (Seddiqi *et al.* 2021).

Una de las mayores fuentes de polímeros naturales son las biomásas lignocelulósicas provenientes de la madera (Froschauer *et al.* 2013) y otros productos de origen vegetal, como el bagazo de caña de azúcar (Nkosivele *et al.* 2018), la cascarilla de arroz (Yunus, 2019), el pseudotallo de plátano (Thi Thuy Van *et al.* 2022), las hojas de la corona de la piña (Tanpichai *et al.* 2019), las cáscaras del coco (Rosa *et al.* 2010) o el tallo de la planta de tomate (Kassab *et al.* 2020b). Estos materiales son ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina y son utilizados en una variedad de aplicaciones, como la fabricación de papel, cartón, paneles de fibra de madera y productos biodegradables.

En este punto, es significativo resaltar que algunas características de estos polímeros se pueden modificar, luego de aplicar diferentes tratamientos, como el índice de cristianización en el pseudotallo del plátano, que pasó del 57,87 al 82,14 %, después del tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) (Thi Thuy Van *et al.* 2022), o el porcentaje de cristalización de las hojas de la corona de la piña, el cual, pasó del 64,48 al 81,3 %, con tratamientos (Tanpichai *et al.* 2019), o el índice de cristalinidad del tallo de la planta tomate, donde el material crudo exhibió un índice de cristalinidad del 37 % y fue posible obtener microfibras de celulosa, con el 64 % de cristalinidad (Kassab *et al.* 2020b).

En este sentido, este artículo hace énfasis en la caracterización del epicarpio del fruto del árbol de *Crescentia cujete* (Bignoniaceae), con el objetivo de evaluar su uso, como polímero biodegradable. Este árbol se caracteriza por tener un aspecto leñoso y de poco follaje, una especie característica de climas tropicales (Balogun & Sabiu, 2021). Con relación a su fruto, crece directamente del tallo y puede alcanzar un diámetro que oscila entre los 5 y 35 cm, con un epicarpio duro y leñoso y un mesocarpio gelatinoso que, generalmente, se usa en aplicaciones de medicina alternativa (Espitia-Baena *et al.* 2011). En Colombia, el fruto de *C. cujete* es conocido como “totumo” y se encuentra en las regiones Andina, Amazónica, Caribe, Orinoquia y Pacífica, entre los 20 y 1.500 m s.n.m., con temperatura medias anuales, que oscilan entre los 21 y 28 °C y en diferentes ecosistemas, como bosque seco, bosque húmedo, bosque subhúmedo, parcialmente inundados, piedemonte y sabanas (Arango-Ulloa *et al.* 2009).

En este estudio, se presenta la caracterización estructural y morfológica del epicarpio del fruto de *C. cujete*, a través de difracción de rayos-X (DRX) y espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), así como su comportamiento térmico, a través de calorimetría diferencial de barrido (DSC) y termogravimetría (TGA). Adicionalmente, se evalúa, bajo el desprendimiento de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO), la biodegradación cualitativa del material, en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio, el fruto del totumo fue recolectado en el municipio de Patía, de la región Pacífica colombiana. Se procedió con la extracción de la pulpa y de sus semillas, a fin de obtener el epicarpio totalmente limpio. El epicarpio, al presentar una textura dura y quebradiza, fue sometido a un proceso de triturado manual, con el fin de disminuir su tamaño; posteriormente, se sometió a una trituración en un molino manual casero, obteniendo una muestra en polvo. Se tamizó el material, con el objetivo de obtener un particulado homogéneo y con menores dimensiones. Este proceso se realizó con tamices de malla para partículas, de 850, 600 y 425 μm . El material particulado resultante se sometió a un nuevo proceso de molienda, esta vez, en un molino de bolas de zirconio (U.S STONEWARE - OR 11413), operando a una frecuencia de 70 Hz, durante 24 h, obteniéndose un material particulado, pasante en tamiz de 106 μm .

El material en polvo del totumo fue sometido a análisis químico, a través de un espectrómetro de fluorescencia de rayos-X (FRX), por energía dispersiva marca Shimadzu EDX – 720. Para el análisis estructural, se usó un difractómetro de rayos-X marca Bruker D8 Advance ECO, usando radiación $K\alpha$ de Cu (1,54 Å), con paso de 0,02 $^\circ/\text{min}$, en el rango de 5 a 90 en 2θ . La intensidad de los picos de difracción de los planos (002) y (100) fueron usados para determinar el índice de cristalinidad, de acuerdo con Ahvenainen *et al.* (2016) y por medio de medio de la ecuación 1.

$$CrI = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde, es la intensidad máxima del plano de difracción (002), aproximadamente, entre 22 a 23 $^\circ$ en 2θ y es el pico de difracción mínimo, asociado a la parte amorfa, que se ubica en 2θ entre 18 a 19 $^\circ$.

Con el fin de identificar los grupos funcionales del material se usó espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), utilizando un equipo Nicolet TM IS TM 10 de Termo Fisher

Scientific. Los espectros fueron tomados en el rango de 500 a 4000 cm^{-1} , siendo las muestras preparadas en combinación con bromuro de potasio (KBr). En cuanto a la caracterización térmica se utilizó termogravimetría (TGA), usando un equipo TGA Q5000 TA Instruments. La medida se realizó en un rango de temperatura 25 a 900 $^\circ\text{C}$, con una velocidad de calentamiento de 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$, en flujo de argón (Ar), de 25 mL/min. Adicionalmente, se realizaron medidas de calorimetría diferencial de barrido (DSC), en un equipo Netzsch DSC 200 F3 Maia, con flujo constante de Ar y a una velocidad de calentamiento de 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$. La morfología del material fue estudiada usando un microscopio electrónico de barrido SHIMADZU modelo SSX – 550.

Por otro lado, es de conocimiento que, para determinar la biodegradabilidad de un material de forma cualitativa, es importante tener en cuenta que el desprendimiento de carbono, por parte del material de estudio, es convertido en dióxido de carbono (CO_2), por la actividad microbiana del inóculo. De esta forma, se implementó una cámara de observación monitoreada por un sistema de adquisición basado en Arduino, donde se realizó la medición, en partes por millón (ppm), de CO_2 y CO, así como la variación de temperatura dentro de la cámara, durante un tiempo de 480 horas (20 días). Esta medición se realizó sobre muestras del polvo del epicarpio de la *C. kujete*, con las cuales, se conformaron, por medio de compactación uniaxial, discos de 30mm de diámetro y 5mm de altura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica. La figura 1 presenta la caracterización morfológica, a través de microscopía electrónica de barrido, del material de partida. Aquí, es posible observar el material después del proceso de molienda húmeda a temperatura ambiente en etanol, que produce un polvo altamente deformado e irregular, con una distribución de tamaño no homogénea y de morfología similar a escamas, lo cual, se asume puede ser debido al proceso previo de triturado manual.

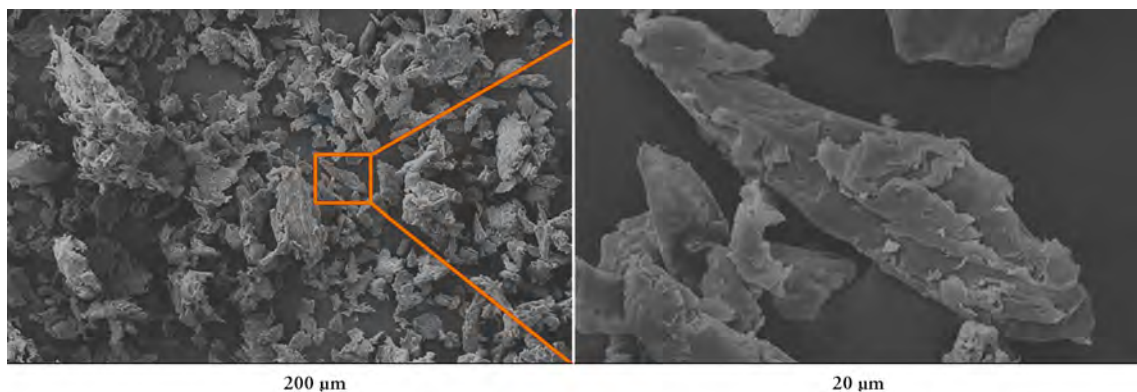


Figura 1. Imágenes por MEB del material particulado de *Crescentia kujete*.

Análisis composicional. En el análisis cuantitativo, a través de fluorescencia de rayos-X (FRX) por energía dispersiva, se evidenciaron los diferentes elementos que componen el material, notando que entre los materiales de mayor concentración están el potasio (K), con un 32,2 %; calcio (Ca), con el 25,2 % y sodio (Na), con un 15,9 %, seguidos de los materiales intermedios, como el hierro (Fe), cloro (Cl), azufre (S) y el estaño (Sn), con porcentajes del 7,2 - 6,6 - 4,3 - 3,8 %, respectivamente y, además, se encontraron algunos elementos químicos, con porcentajes menores al 2 %, como el fósforo (P), cobre (Cu), zinc (Zn) y silicio (Si).

Caracterización estructural. La figura 2a presenta el difractograma de rayos-X (DRX) del material de estudio, donde se pueden observar tres picos característicos, ubicados en los valores de 2θ alrededor de 15,7, 22,2 y 34,5 °, correspondientes a las reflexiones de los planos cristalográficos (002), (110) y (004), respectivamente. De acuerdo con Bahloul *et al.* (2021), estos picos son característicos de la celulosa tipo I, donde los picos alrededor de 15 ° y 34 ° son característicos de la parte amorfa del polímero, donde se encuentran la lignina y la hemicelulosa, además de la celulosa amorfa (De Dios Naranjo *et al.* 2017; Sandoval Arreola *et al.* 2022). Por otro lado, la parte cristalina de la celulosa es representada por el pico que se encuentra alrededor de los 22 ° (Ilyas *et al.* 2018). Con énfasis en lo anterior, se puede afirmar que el epicarpio de la *C. cujete* es un material semicristalino, con un porcentaje de cristalinidad del 29 %,

determinado a partir de la ecuación 1, utilizando las intensidades de los picos en valores de $2q = 22,28$ y $15,76$ °.

En la figura 2b, se observa el espectro FTIR realizado al polvo del totumo, exhibiendo una banda alrededor de 3452 cm^{-1} , atribuida a la flexión O-H del agua adsorbida (Long, 2004; De Oliveira *et al.* 2019), así como un pico alrededor de 2922 cm^{-1} , relacionado con las vibraciones de C-H presentes en la celulosa (De Oliveira *et al.* 2019). Se observa, también, una banda en 1732 cm^{-1} , asociada a las vibraciones de estiramiento del C=O en el acetato de la celulosa, presentes en la hemicelulosa y la lignina, que corresponden a la parte amorfa del material (Kassab *et al.* 2020a; Kassab *et al.* 2020c). La banda alrededor de 1510 cm^{-1} es asociada con la hemicelulosa, por el estiramiento de C=O en acetonas no conjugadas y la lignina por el estiramiento del C=C en el anillo aromático, de acuerdo con los trabajos realizados por Shafawati & Siddiquee (2013), Lam *et al.* (2017), Debiagi *et al.* (2020) y Lin *et al.* (2020). La banda alrededor de 1450 cm^{-1} se asocia a la flexión de CH de la celulosa y estiramiento simétrico dentro de los anillos aromáticos de polisacáridos de celulosa, además de la flexión C-H de celulosa (Zhang *et al.* 2017; El Achaby *et al.* 2018; Kassab *et al.* 2020a). En cuanto a la banda de 1237 cm^{-1} es atribuida a las vibraciones de los estiramientos de los grupos CO de la lignina (Alemdar & Sain, 2008; Johari *et al.* 2016).

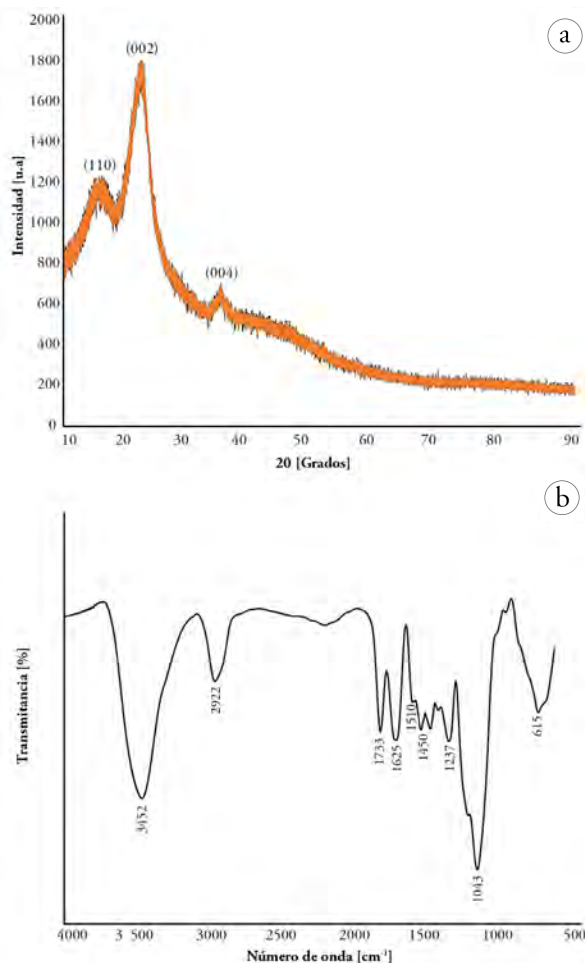


Figura 2. a) Difractograma de rayos -X del epicarpio de *Crescentia cujete*, mostrando los picos en 15.76 °, 22.28 ° y 34.55 °, asociados a los planos (110), (002) y (004), respectivamente; b) Espectro de infrarrojo (FTIR) del epicarpio de *Crescentia cujete*.

Caracterización térmica. El termograma de la figura 3a está dividido en tres etapas, siendo la primera asociada a la pérdida de agua; la segunda, a la disminución de peso por medio de carbohidratos y pectinas de bajo peso molecular; la tercera etapa, a la descomposición de los polisacáridos de alto peso molecular (Araújo *et al.* 2020).

De esta forma, se puede evidenciar una primera pérdida de masa de alrededor de 6,88 %, entre 25-125 °C, asociada a la pérdida intermolecular de agua (Álzate Carvajal *et al.* 2013; Bahloul *et al.* 2021). A seguir, es observado un punto de estabilidad térmica entre 125-175°C, evidenciando la estabilidad térmica de procesos, en este rango de temperaturas. Para temperaturas mayores se presenta una representativa pérdida de masa, dividida en tres etapas, así: entre 175 – 225 °C, una disminución del 4,73 %, seguido de 26,43 % entre 225 - 289 °C y, finalmente, una pérdida del 37,82 %, entre 290 - 375 °C.

Pelissari *et al.* (2014) reportan que en la región comprendida entre 220 y 300 °C ocurre la despolimerización de la hemicelulosa y la descomposición de las unidades glucosídicas de la celulosa; adicionalmente, en la región de 200 a 400 °C, se presenta la degradación de la celulosa. En este sentido, según Herrera *et al.* (2019), en la obtención de nanocristales de celulosa, a partir de puntas de abacá, se logró determinar que la descomposición de la celulosa se da entre 280 – 380 °C, debido a que se descomponen los enlaces β 1-4 glucosídicos, formando residuos de carbón;

de la misma manera, Puttaswamy *et al.* (2017) presentaron la descomposición de la celulosa entre 280 – 360 °C, a partir de residuos de la cáscara de café.

Finalmente, ocurre una disminución del 23,67 % a temperaturas por encima de 385 hasta 525 °C, asociada a la degradación de la lignina (Ovalle-Serrano *et al.* 2018), así como la oxidación y la descomposición del residuo carbonizado (Herrera *et al.* 2019; Araújo *et al.* 2020).

En la curva de calorimetría diferencial de la figura 3b, se observa un primer proceso endotérmico, en 89,1 °C, que se extiende desde 57 hasta 106 °C, asociado a la evaporación de agua. Cabe destacar que análisis sobre residuos de cascarilla de arroz (Hafid *et al.* 2021) y cáscara de soja (Debiagi *et al.* 2020) destacan que, a estas temperaturas, se presenta la evaporación de sustancias volátiles de bajo peso molecular y el agua, debido al carácter hidrofílico de los residuos lignocelulósicos. El amplio proceso endotérmico alrededor de 225 °C está relacionado con la descomposición de la hemicelulosa, presente en el material (Debiagi *et al.* 2020; Hafid *et al.* 2021). En este sentido, es reportado que la hemicelulosa es formada por varios sacáridos dispuestos en una estructura amorfa aleatoria, rica en ramificaciones, que se pueden desprender de su estructura principal, generando volátiles, tales como CO, CO₂ y algunos hidrocarburos, en temperaturas entre 240 a 345 °C (Pelissari *et al.* 2014).

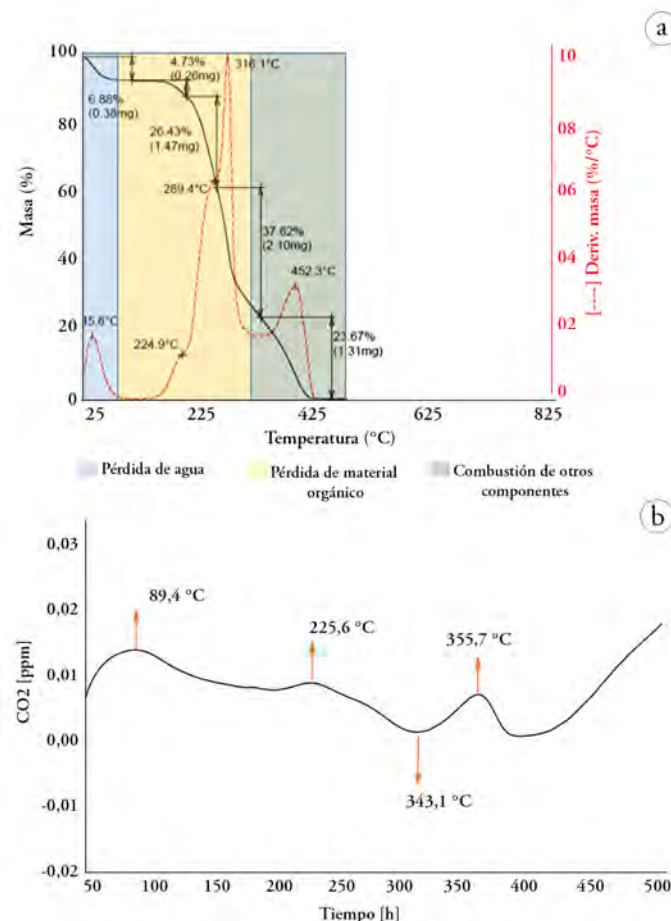


Figura 3. a) Curva del análisis termogravimétrico y b) Curva del análisis calorimétrico del epicarpio de la *Crescentia cujete*.

Por otro lado, es reportado que la celulosa está compuesta de largas cadenas de glucosa sin ramificaciones, que constituye una estructura fuerte y ordenada con mayor estabilidad térmica, razón por la cual, su temperatura de descomposición es más alta con relación a la hemicelulosa (Pelissari *et al.* 2014). Así, el proceso endotérmico entre 343 a 370 °C, centrado en 355 °C, se relaciona con la descomposición de la celulosa, una vez que, como es reportado en la literatura, entre 290 a 375 °C, ocurre la reducción de tamaño de las cadenas de glucosa, debido a la reducción de enlaces glicosídicos, es decir, se presenta la despolimerización de la celulosa por la ruptura de las unidades glucosídicas y seguida de la formación de levoglucosano, producto de la pirólisis de la celulosa (De Dios Naranjo *et al.* 2017; Pech-Cohuo *et al.* 2018). El incremento final

en la curva de DSC, para temperaturas mayores a 400 °C, puede estar asociado al proceso de descomposición y de carbonización del residuo. Se destaca que todas las reacciones están en concordancia con lo observado en los resultados de TGA/DTG.

Evaluación cualitativa de biodegradabilidad. El ensayo para evaluar la biodegradabilidad del material de forma cualitativa se realizó en cuadruplicado, en la cámara de monitoreo de gases (CO y CO₂) implementada. Las figuras 4 y 5 muestran el estado de la superficie de las muestras en función del tiempo, así como la evolución de los gases (CO y CO₂), en la cámara de monitoreo, respectivamente.

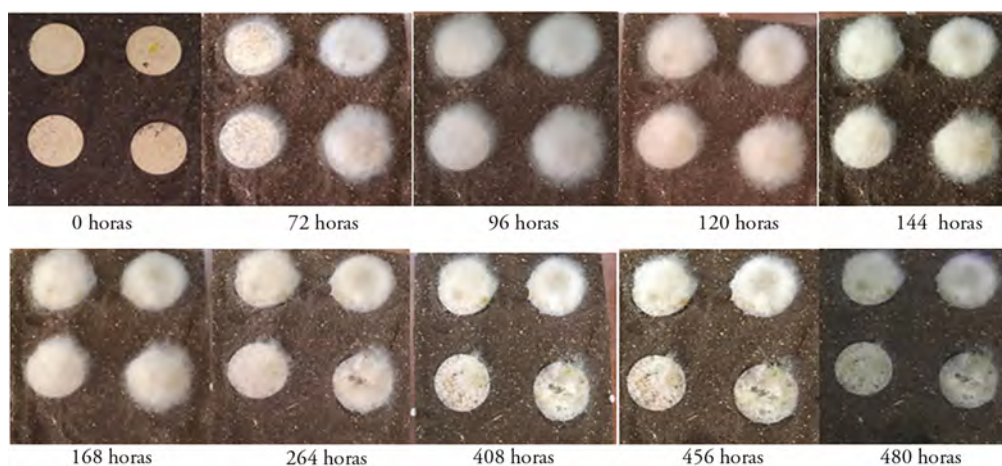


Figura 4. Proceso de evolución de la superficie de las muestras de *Crescentia cujete* durante el proceso de biodegradación.

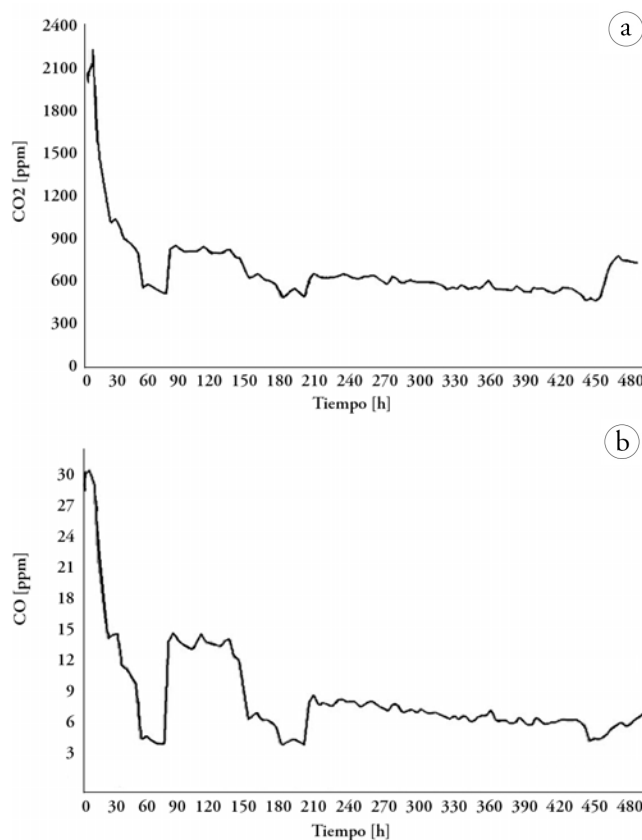


Figura 5. Evolución de la emisión de a) CO₂ y b) CO durante el ensayo de biodegradación de la *Crescentia cujete*.

Durante el proceso de monitoreo del CO₂ se observó variación en sus valores, mostrando que en las primeras 4 horas hay un desprendimiento de alrededor de 2315 ppm, que se le atribuye al material que sirve como inóculo (tierra + abono) y al material conformado dentro de la cámara. Estos materiales en conjunto aportan gran cantidad de dióxido de carbono, en esta primera fase, a lo que se le conoce como efecto *priming*; de acuerdo con García *et al.* (2023) es dado por el cambio de la fisiología de la comunidad microbiana, a corto plazo, en la producción de CO₂. Transcurridas 60 horas del ensayo se presentó un descenso hasta 425 ppm de CO₂, decrecimiento atribuible al inicio de la aparición del hongo en la superficie de las muestras; pasadas 72 horas del ensayo, todas las pastillas del totumo tienen presencia evidente de hongo (Figura 4), salvo algunas diferencias entre las pastillas del totumo conformadas, lo que se puede atribuir a su porosidad, debido a la no uniformidad del tamaño de partícula del material compactado.

Posteriormente, en 96 horas, el hongo tuvo una tonalidad gris y la emisión de CO₂ se mantuvo casi estable hasta las 120 horas, con un valor que varió desde 730 hasta 750 ppm, pero a diferencia que el hongo presentó una tonalidad más clara; a partir de ahí, se nota que la intensidad del hongo aumenta visualmente, siendo más blanco, como se observa al cabo de 144 horas. Siguiendo el ensayo de monitoreo de emisión de CO₂ en el proceso de biodegradación, se evidenció que en 148 horas hubo una disminución de 570 ppm de CO₂, conservando la tonalidad del hongo.

Posteriormente, alrededor de 190 horas, la emanación de CO₂ fue de 395 ppm, aumentando hasta llegar a 200 horas, con un valor de 550 ppm. En este punto, se observa una disminución del volumen del hongo, el cual, puede ser asociado a su esparcimiento al interior del material. A partir de este momento, la emisión de CO₂ presentó una variación mínima hasta llegar a las 420 horas, con una emisión de CO₂ de 460 ppm, que ocurrió en paralelo con la aparición de puntos negros en la superficie de las muestras, lo cual, se prolongó hasta el fin del ensayo. La emisión del monóxido de carbono (CO), en el ensayo de biodegradación del material, presentó un comportamiento similar a la del dióxido de carbono (CO₂), por lo que sus variaciones se atribuyeron al contacto inicial del material y el inóculo, así como al surgimiento del hongo en la superficie de las muestras en las primeras 180 horas de monitoreo, seguido de la presencia de puntos negros de degradación en la superficie.

En este sentido, la *C. kujete*, al ser considerada una biomasa lignocelulósica, que tiene una estructura semicristalina, se tiene que las enzimas del inóculo atacan, en primera instancia, la región amorfa externa, considerada una estructura débil, en comparación con la región cristalina (interna), estimada como una estructura fuerte. De esta forma, dado que esta estructura interna es menos accesible a la acción de los microorganismos, se puede dificultar su interacción; sin embargo, dado el intervalo de tiempo del estudio de biodegradación, se puede considerar que la velocidad de degradación se encuentra dentro de los intervalos iniciales conocidos de otros residuos lignocelulósicos no maderables, tales como el maíz (3-6 meses) (Pescod *et al.* 2010), la caña de azúcar (2-6 meses) (Prabhavathi & Ramakrishna Parama, 2019), el banano

(1-2 meses) (Shafawati & Siddiquee, 2013) y el café (6-12 meses) (Campos de Bomfim *et al.* 2022).

Como conclusión, con base en la caracterización por medio de DRX y FTIR realizada a la *C. kujete* fue posible evidenciar, tanto picos asociados a planos de difracción de la parte cristalina del material como bandas de absorción asociadas a vibraciones de lignina, de hemicelulosa y de celulosa, por lo cual, es posible concluir que se trata de un material lignocelulósico semicristalino, compuesto de celulosa tipo I, con un porcentaje de cristalinidad del 29 %.

Los análisis térmicos muestran que la *C. kujete* presenta una estabilidad térmica hasta los 175 °C, pues hasta esta temperatura solo se evidencia pérdida de humedad del material. En temperaturas superiores, se confirman la presencia y la descomposición de la hemicelulosa y la celulosa, cuyas reacciones se encuentran en 225 y 355 °C, respectivamente.

El estudio cualitativo de biodegradabilidad del material mostró variaciones en la emisión de CO₂ y CO, a partir de las 72 horas de monitoreo, tiempo que coincide con el ataque microbiano, evidenciado por la aparición del hongo en la superficie del material. Pasadas 200 horas se evidenció una disminución del volumen del hongo, asociado a su esparcimiento al interior del material, con subsecuente aparición de puntos negros en la superficie de las muestras.

De esta forma, el fruto del totumo puede ser considerado un residuo lignocelulósico, que presenta un proceso de biodegradación dentro del intervalo de inicio de otros residuos lignocelulósicos no maderables, lo que lo hace atractivo como alternativa para la extracción de celulosa y que podría llevar a la síntesis de materiales poliméricos biodegradables.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la Corporación Universitaria Comfacauca Unicomfauca, a la Red Tecnoparque SENA y al proyecto de Jóvenes Investigadores e Innovadores en el Departamento del Cauca. **Financiación:** Este estudio fue financiado por el proyecto de Jóvenes Investigadores e Innovadores en el Departamento del Cauca. **Contribuciones de autor:** Conceptualización, R. Sánchez, Y. Castillo, S. Ibarra y J.A. Muñoz; metodología, R. Sánchez, Y. Castillo; software, R. Sánchez, Y. Castillo; validación, R. Sánchez, Y. Castillo, S. Ibarra; análisis formal, R. Sánchez, Y. Castillo, S. Ibarra y J.A. Muñoz; investigación, R. Sánchez, Y. Castillo; redacción y preparación del borrador original, R. Sánchez, Y. Castillo; redacción: revisión y edición, S. Ibarra, J.A. Muñoz; supervisión, J.A. Muñoz. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado por todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ACQUAVIA, M.A.; PASCALE, R.; MARTELLI, G.; BONDONI, M.; BIANCO, G. 2021. Natural

- polymeric materials: A solution to plastic pollution from the agro-food sector. *Polymers*. 13(1):1-39. <https://doi.org/10.3390/polym13010158>
2. AHVENAINEN, P.; KONTRO, I.; SVEDSTRÖM, K. 2016. Comparison of sample crystallinity determination methods by X-ray diffraction for challenging cellulose I materials. *Cellulose*. 23(2):1073-1086. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0881-6>
 3. ALEMDAR, A.; SAIN, M. 2008. Biocomposites from wheat straw nanofibers: Morphology, thermal and mechanical properties. *Composites Science and Technology*. 68(2):557-565. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.05.044>
 4. ÁLZATE CARVAJAL, E.; QUINTERO CASTAÑO, V.D.; LUCAS AGUIRRE, J.C. 2013. Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*Erytina edulis* Triana ex Micheli). *Temas Agrarios*. 18(2):21-35. <https://doi.org/10.21897/rta.v18i2.714>
 5. AMALRAJ, A.; GOPI, S.; THOMAS, S.; HAPONIUK, J.T. 2018. Cellulose Nanomaterials in Biomedical, Food, and Nutraceutical Applications: A Review. *Macromolecular Symposia*. 380(1):1-9. <https://doi.org/10.1002/masy.201800115>
 6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM. 1994. Standard test method for determination of relative haze of high-transmission plastics (ASTM D5488-94).
 7. ARANGO-ULLOA, J.; BOHORQUEZ, A.; DUQUE, M.C.; MAASS, B.L. 2009. Diversity of the calabash tree (*Crescentia cujete* L.) in Colombia. *Agroforestry Systems*. 76(3):543-553. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9207-0>
 8. ARAÚJO, D.; CASTRO, M.C.R.; FIGUEIREDO, A.; VILARINHO, M.; MACHADO, A. 2020. Green synthesis of cellulose acetate from corncob: Physicochemical properties and assessment of environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*. 260:120865. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120865>
 9. BAHLOUL, A.; KASSAB, Z.; EL BOUCHTI, M.; HANNACHE, H.; QAISS, A.E.K.; OUMAM, M.; EL ACHABY, M. 2021. Micro- and nano-structures of cellulose from eggplant plant *Solanum melongena* L. agricultural residue. *Carbohydrate Polymers*. 253:117311. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117311>
 10. BALOGUN, F.O.; SABIU, S. 2021. A Review of the phytochemistry, ethnobotany, toxicology, and pharmacological potentials of *Crescentia cujete* L. (Bignoniaceae). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2021:6683708. <https://doi.org/10.1155/2021/6683708>
 11. CAMPOS DE BOMFIM, A.S.; DE OLIVEIRA, D.M.; WALLING, E.; BABIN, A.; HERSANT, G.; VANEECKHAUTE, C.; DUMONT, M.J.; RODRIGUE, D. 2022. Spent Coffee Grounds Characterization and Reuse in Composting and Soil Amendment. *Waste*. 1(1):220. <https://doi.org/10.3390/waste1010002>
 12. DE DIOS NARANJO, C.; ALAMILLA-BELTRÁN, L.; GUTIÉRREZ-LOPEZ, G.F.; TERRES-ROJAS, E.; SOLORZA-FERIA, J.; YEE-MADEIRA, H.T.; FLORES-MORALES, A.; MORA-ESCOBEDO, R. 2017. Aislamiento y caracterización de celulosas obtenidas de fibras de *Agave salmiana* aplicando dos métodos de extracción ácido-alcali. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(1):31-43.
 13. DE OLIVEIRA, J.P.; BRUNI, G.P.; MELLO EL HALAL, S.L.; BERTOLDI, F.C.; GUERRA DIAS, A.R.; ZAVAREZE, E. 2019. Cellulose nanocrystals from rice and oat husks and their application in aerogels for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*. 124:175-184. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.205>
 14. DEBIAGI, F.; FARIA-TISCHER, P.C.S.; MALI, S. 2020. Nanofibrillated cellulose obtained from soybean hull using simple and eco-friendly processes based on reactive extrusion. *Cellulose*. 27(4):1975-1988. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02893-0>
 15. ELACHABY, M.; KASSAB, Z.; BARAKAT, A.; ABOULKAS, A. 2018. Alfa fibers as viable sustainable source for cellulose nanocrystals extraction: Application for improving the tensile properties of biopolymer nanocomposite films. *Industrial Crops and Products*. 112:499-510. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.049>
 16. ESPITIA-BAENA, J.E.; DURAN-SANDOVAL, H.R.; FANDIÑO-FRANKY, J.; DÍAZ-CASTILLO, F.; GÓMEZ-ESTRADA, H.A. 2011. Química y biología del extracto etanólico del epicarpio de *Crescentia cujete* L. (totumo). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 16(4):337-346.
 17. FROSCHAUER, C.; HUMMEL, M.; IAKOVLEV, M.; ROSELLI, A.; SCHOTTENBERGER, H.; SIXTA, H. 2013. Separation of hemicellulose and cellulose from wood pulp by means of ionic liquid/cosolvent systems. *Biomacromolecules*. 14(6):1741-1750. <https://doi.org/10.1021/bm400106h>
 18. GARCÍA, R.; GULIYEV, V.; TANUNCHAI, B.; UDOVENKO, M.; MENYAILO, O.; GLASER, B.; PURAHONG, W.; BUSCOT, F.; BLAGODATSKAYA, E. 2023.

- Degradation of bio-based and biodegradable plastic and its contribution to soil organic carbon stock. *Polymers*. 15(3):660 <https://doi.org/10.3390/polym15030660>
19. HAFID, H.S.; OMAR, F.N.; ZHU, J.; WAKISAKA, M. 2021. Enhanced crystallinity and thermal properties of cellulose from rice husk using acid hydrolysis treatment. *Carbohydrate Polymers*. 260:117789. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117789>
 20. HERRERA, M.; SINCHÉ, L.; BONILLA, O. 2019. Obtención de Nanocelulosa a partir de Celulosa de Puntas de Abacá. *Afinidad*. 76(586).
 21. ILYAS, R.A.; SAPUAN, S.M.; ISHAK, M.R. 2018. Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from sugar palm fibres (*Arenga Pinnata*). *Carbohydrate Polymers*. 181:1038-1051. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.045>
 22. JOHARI, A.P.; KURMVANSHI, S.K.; MOHANTY, S.; NAYAK, S.K. 2016. Influence of surface modified cellulose microfibrils on the improved mechanical properties of poly (lactic acid). *International Journal of Biological Macromolecules*. 84:329-339. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.038>
 23. KASSAB, Z.; ABDELLAOUI, Y.; SALIM, M.H.; EL ACHABY, M. 2020a. Cellulosic materials from pea (*Pisum Sativum*) and broad beans (*Vicia Faba*) pods agro-industrial residues. *Materials Letters*. 280:128539 <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128539>
 24. KASSAB, Z.; KASSEM, I.; HANNACHE, H.; BOUHIFID, R.; QAISS, A.E.K.; EL ACHABY, M. 2020b. Tomato plant residue as new renewable source for cellulose production: extraction of cellulose nanocrystals with different surface functionalities. *Cellulose*. 27(8):4287-4303. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03097-7>
 25. KASSAB, Z.; SYAFRI, E.; TAMRAOUI, Y.; HANNACHE, H.; EL KACEM QAISS, A.; EL ACHABY, M. 2020c. Characteristics of sulfated and carboxylated cellulose nanocrystals extracted from *Juncus* plant stems. *International Journal of Biological Macromolecules*. 154:1419-1425. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.023>
 26. LAM, N.T.; CHOLLAKUP, R.; SMITTHIPONG, W.; NIMCHUA, T.; SUKYAI, P. 2017. Characterization of cellulose nanocrystals extracted from sugarcane bagasse for potential biomedical materials. *Sugar Tech*. 19(5):539-552. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0507-1>
 27. LIN, Q.; HUANG, Y.; YU, W. 2020. An in-depth study of molecular and supramolecular structures of bamboo cellulose upon heat treatment. *Carbohydrate Polymers*. 241:116412. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116412>
 28. LONG, D.A. 2004. Infrared and Raman characteristic group frequencies. Tables and charts George Socrates John Wiley and Sons, Ltd, Chichester, Third Edition, 2001. Price £135. *Journal of Raman Spectroscopy*. 35(10):905-905. <https://doi.org/10.1002/jrs.1238>
 29. MENESES, J.; CORRALES, C.; VALENCIA, M. 2007. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*. 8(5):57-67.
 30. NKOSIVELE, Z.; MZIMELA, T.; LINGANISO, L.Z.; REVAPRASADU, N.; MOTAUNG, T.E. 2018. Comparison of Cellulose Extraction from Sugarcane Bagasse Through Alkali 3 . Results and Discussion. *Materials Research*. 21(6):7. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0750>
 31. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, ONU. 2018. O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta. Noticias ONU. Disponible desde Internet en: <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>
 32. OVALLE-SERRANO, S.A.; BLANCO-TIRADO, C.; COMBARIZA, M.Y. 2018. Exploring the composition of raw and delignified Colombian fique fibers, tow and pulp. *Cellulose*. 25(1):51-165. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1599-9>
 33. PECH-COHUO, S.C.; CANCHE-ESCAMILLA, G.; VALADEZ-GONZÁLEZ, A.; FERNÁNDEZ-ESCAMILLA, V.V.A.; URIBE-CALDERON, J. 2018. Production and modification of cellulose nanocrystals from agave tequilana weber waste and Its effect on the melt rheology of PLA. *International Journal of Polymer Science*. <https://doi.org/10.1155/2018/3567901>
 34. PELISSARI, F.M.; DOAMARAL SOBRAL, P.J.; MENEGALLI, F.C. 2014. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from banana peels. *Cellulose*. 21(1):417-432. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0138-6>
 35. PESCOD, M.B.; DENNY, P. 2010. Environmental management for cocoa production: a training manual for cocoa farmers. *Environmental Science and Health, Part B*. 45:48-56. <https://doi.org/10.1080/03601230903400602>
 36. PRABHAVATHI, N.; RAMAKRISHNA PARAMA, V.R. 2019. Effect of sugar industry solid waste pressmud and bio compost on soil physical and chemical properties at different intervals during finger millet crop. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry Pressmud*. 8(3):3038-3042.
 37. PUTTASWAMY, M.; SRINIKETHAN, G.; SHETTY, V.K. 2017. Biocomposite composed of PVA reinforced with cellulose microfibrils isolated from biofuel industrial dissipate: *Jatropha Curcus* L. seed shell. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5(2):1990-1997. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.04.004>

38. RODRIGUEZ, A. 2012. Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 22(3):69-72.
39. ROSA, M.F.; MEDEIROS, E.S.; MALMONGE, J. A.; GREGORSKI, K.S.; WOOD, D.F.; MATTOZO, L.H.C.; GLENN, G.; ORTS, W.J.; IMAM, S.H. 2010. Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior. *Carbohydrate Polymers*. 81(1):83-92.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.01.059>
40. SANDOVAL ARREOLA, M.M.; GALEANA GONZÁLEZ, E.J.; ROQUE BARBOSA, L.E.; ORTIZ RODRÍGUEZ, G. 2022. Extracción y caracterización de celulosa a partir de la planta del plátano. *Brazilian Journal of Development*. 8(12):78810-78819.
<https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-130>
41. SEDDIQI, H.; OLIAEI, E.; HONARKAR, H.; JIN, J.; GEONZON, L.C.; BACABAC, R.G.; KLEIN-NULEND, J. 2021. Cellulose and its derivatives: towards biomedical applications. In *Cellulose*. 28(4):1893-1931.
<https://doi.org/10.1007/s10570-020-03674-w>
42. SHAFAWATI, S.N.; SIDDIQUEE, S. 2013. Composting of oil palm fibres and *Trichoderma* spp. As the biological control agent: A review. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 85:243-253.
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.08.005>
43. TANPICHAJ, S.; WITAYAKRAN, S.; BOONMAHITTHISUD, A. 2019. Study on structural and thermal properties of cellulose microfibrils isolated from pineapple leaves using steam explosion. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 7(1):102836.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.102836>
44. THI THUY VAN, N.; GASPILLO, PAG-ASA.; THANH, H.G.T.; NHI, N.H.T.; LONG, H.N.; TRI, N.; THI TRUC VAN, N.; NGUYEN, TIEN-THANH.; KY PHUONG HA, H. 2022. Cellulose from the banana stem: optimization of extraction by response surface methodology (RSM) and characterization. *Heliyon*. 8(12):e11845.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11845>
45. YUNUS, M.A. 2019. Extraction cellulose from rice husk. *Jurnal Akta Kimia Indonesia*. 12(2):79.
<https://doi.org/10.20956/ica.v12i2.6559>
46. ZIELIŃSKA, D.; SZENTNER, K.; WAŚKIEWICZ, A.; BORYSIK, S. 2021. Production of nanocellulose by enzymatic treatment for application in polymer composites. *Materials*. 14(9):2124.
<https://doi.org/10.3390/ma14092124>
47. ZHANG, J.; LUO, N.; WAN, J.; XIA, G.; YU, J.; HE, J.; ZHANG, J. 2017. Directly converting agricultural straw into all-biomass nanocomposite films reinforced with additional in situ-retained cellulose nanocrystals. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 5(6):5127-5133.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b00488>



University scientific production: The case of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (Bogotá, Colombia)

Producción científica universitaria: el caso de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (Bogotá, Colombia)

Luz Piedad Romero-Duque^{1*}; Germán Anzola Montero²

¹Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Formación Avanzada. Bogotá, Colombia; e-mail: luz.romero@udca.edu.co

²Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Rectoría. Bogotá, Colombia

*corresponding author: luz.romero@udca.edu.co

How to cite: Romero-Duque, L.P.; Anzola Montero, G. 2023. University scientific production: The case of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (Bogotá, Colombia). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 26(2):e2478. <http://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2478>

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

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

Received: June 18, 2023

Accepted: October 5, 2023

Edited by: Helber Adrián Arévalo Maldonado

ABSTRACT

The research and scientific production of Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A was analyzed based on the intellectual capital approach, global academic rankings, research, and scientific production in the last 40 years. The Scimago Graphica tool and the VOSviewer software were used for the bibliometric and content analysis of the scientific publications available in the Scopus database. The bibliometric analysis showed that there are 534 scientific documents in the Scopus database, with at least one author affiliated with U.D.C.A. Of these, 84 % can be found in SciELO and 56 % on Pubindex. Most documents (70 %) are in English, and 27 % are in Spanish. The citations of 7 articles account for 64.4 % (37,147) of the total citations. Authors with affiliation U.D.C.A have collaborated with researchers from 72 countries. Based on intellectual capital and scientific production, U.D.C.A is currently in model 2.0 and is transitioning towards model 3.0, drawn by three areas: Medicine, Environmental Sciences, and Veterinary. These areas have focused on inter-institutional cooperation, internationalization, regionalization, and globalization. However, they must incorporate business development, digital technologies, virtual learning, knowledge capitalization, and entrepreneurship. The other areas of knowledge need to reconsider the type and scope of research they develop to be relevant to the academic community and society.

Keywords: Academic ranking; Intellectual capital; Scientific impact; Scientometrics; University model.

RESUMEN

Se analizó la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A con base en el enfoque de capital intelectual, rankings académicos globales, investigación y producción científica de los últimos 40 años. Para el análisis bibliométrico y de contenido de las publicaciones científicas disponibles en la base de datos Scopus, se utilizó la herramienta Scimago Graphica y el software VOSviewer. El análisis bibliométrico arrojó que existen 534 documentos científicos en la base de datos Scopus con, al menos, un autor afiliado a la U.D.C.A. De ellos, el 84 % se encuentra en SciELO y el 56 % en Pubindex. La mayoría de los documentos (70 %) están en inglés y el 27 %, en español. Las citas de 7 artículos suponen el 64,4 % (37.147) del total de citas. Autores con afiliación U.D.C.A han colaborado con investigadores de 72 países. Con base en capital intelectual y producción científica, la U.D.C.A se encuentra actualmente en el modelo 2.0 y transita hacia el modelo 3.0, dibujado por tres áreas: Medicina, Ciencias Ambientales y Veterinaria. Estas áreas se han centrado en la cooperación interinstitucional, la internacionalización, la regionalización y la globalización; sin embargo, deben incorporar el desarrollo empresarial, las tecnologías digitales, el aprendizaje virtual, la capitalización del conocimiento y el emprendimiento. Las otras áreas del conocimiento necesitan reconsiderar el tipo y el alcance de la investigación que desarrollan, para que sea relevante para la comunidad académica y la sociedad.

Palabras clave: Capital intelectual; Cienciometría; Clasificación académica; Impacto científico; Modelo Universitario.

INTRODUCTION

In the current economic landscape, creating value in organizations and generating financial wealth heavily relies on knowledge-based resources. Academic institutions are no exception to this trend, where intellectual capital is critical. Intellectual Capital (IC) determines an institution's value and "allows an organization to transform a bundle of material, financial, and human resources in a system capable of creating stakeholder value" (European Commission, 2004). IC serves as the input and output of the complete production process and is primarily intangible (de Frutos-Belizón *et al.* 2020). Intellectual capital comprises three distinct dimensions (Quintero-Quintero *et al.* 2021). The first dimension pertains to human capital, which encompasses the skills and expertise of an organization's employees. The second dimension is structural capital, which comprises the internal components and systems that enable an organization to function effectively. Lastly, the third dimension relates to relational capital, which encompasses the external parts of the organization, such as its relationships with customers, suppliers, and other stakeholders.

According to de Frutos-Belizón *et al.* (2020), within the academic sphere, human capital comprises three key components: firstly, the theoretical and methodological knowledge, skills, competencies, and abilities gained through formal scientific education and research; secondly, the social structure of the researcher's network, which complements their skills and enables knowledge-sharing among team members; and finally, the knowledge stored in databases, team practices and procedures, and shared values and ethics among team members. All these factors, whether directly or indirectly, impact scientific production. Evaluating researchers' scientific production at an institutional level indicates academic performance and the institution's reputation (Shehatta & Mahmood, 2016). Moreover, it provides essential information about the university's ongoing activities and whether they are meeting the goals of doing world-class research, participating in regional development, or having a social impact, among others (Tanveer *et al.* 2019).

Many antecedents analyze universities' scientific production. For instance, Quintero-Quintero & Quintana-Arevalo (2022) conducted a worldwide systematic review of scientific output in higher educational institutions by utilizing various sources and databases. Similarly, analyses have been carried out on the scientific production of universities in Iran (Aminpour & Heydari, 2009; HajiHashemi *et al.* 2016; Nouri & Danesh, 2010; Okhovati *et al.* 2018; Rahmati-Roodsari & Sohrabi, 2013; Rasolabadi *et al.* 2015; Siamian *et al.* 2013), Romania (Repanovici, 2011), Spain and Portugal (Costa & Rodríguez-Bravo, 2016; Rubio, 1992), Mexico (Delgado-Carreón *et al.* 2021; Tarango *et al.* 2015), and Peru (Estrada Araoz *et al.* 2022; Millones-Gómez *et al.* 2021; Rivera-Lozada *et al.* 2022; Roman-Gonzalez & Vargas-Cuentas, 2018; Roque *et al.* 2022). In the case of Colombia, studies have been carried out on intellectual capital and scientific production in public universities (Quintero-Quintero *et al.* 2021), the impact of the scientific output of top universities (Orbegozo *et al.* 2022), the efficiency of the scientific production in universities (Bayona-

Rodríguez *et al.* 2018), and the growth of the scientific output in universities (Bucheli *et al.* 2012).

Since intellectual capital (a concept developed in the enterprise and industry sector) has been introduced in the university sector as a mechanism of self-evaluation of the university's quality and performance, and scientific production, as a result of human capital, is one of the indicators of university's quality, the aim of this paper is to reflect on the research and scientific production of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A) in its 40 years of existence. The reflection begins with comprehending U.D.C.A's university model, which centers around an approach to intellectual capital. Additionally, this reflection evaluates international academic rankings and U.D.C.A's advancements in this realm. This was achieved by delineating and scrutinizing its scientific output, both broadly and by specialized fields of study.

MATERIALS AND METHODS

For the development of this reflection, scientific publications were considered as evidence of the research work by professors, students, and graduates of any academic level (college and postgraduate). A search was made in the Scopus database for the list of documents with at least one author affiliated with the U.D.C.A, regardless of the publication date. Based on these documents, a bibliometric, content, and scope analysis of the research developed in the U.D.C.A was performed.

The bibliometric analysis was performed in two ways. The first bibliometric analysis determined the number of documents based on the year, document type, language, Latin-American database indexed, open access type, and factor index type (JCR, H Index, and Scopus-Quartile). This analysis was made with Scimago Graphica (Hassan-Montero *et al.* 2022), a no-code tool that creates complex visualizations for simple interactions of drag and drop. The second bibliometric analysis was of the content analysis. It was performed using VOSviewer software developed by Leiden University Library (Netherlands) and is available as a free download for Windows, Mac, and Linux (van Eck & Waltman, 2010). This study used VOSviewer version 1.6.19 (VOSviewer, 2023) to analyze bibliometric data and identify patterns and trends. A keyword co-occurrence analysis was performed, which involved creating a network with nodes representing words and edges representing the co-occurrence of the words within the documents. The objective of keyword co-occurrence analysis is to extract frequency data in multiple documents to form a network of relationships among the keywords to identify and highlight the primary trend of research in the domain. In this study, the analysis was performed based on the U.D.C.A's knowledge areas: Health (medicine, nursing, and sports), Management and Commerce, Basic Sciences (Chemistry and Pharmaceutical Chemistry, and Data Science), Management and Commerce, Education, Agricultural Sciences (agronomy, veterinary, and zootechnics), and Environmental Sciences. The journals were classified into these six knowledge areas, and additional analysis was performed for all journals classified as multidisciplinary. The overlay visualization feature weighted by

citations was used to compare and combine the data differently to display multiple layers on the same map. Overall, these analyses allowed people to gain insights into the relationships and patterns within the data.

RESULTS AND DISCUSSION

There is growing discourse on the need to transform global university models beyond their traditional functions, resulting in significant changes in work, organization, and management methods. Therefore, university models have evolved from the initial University 1.0 to the modern-day University 3.0 (Boehm, 2022). As per Lukovics & Zuti (2015), University 1.0 focused on creating professionals, University 2.0 on creating professionals and scientists, and University 3.0 on creating professionals, scientists, and entrepreneurs simultaneously. Lukovics & Zuti (2015) also introduced University 4.0, where universities serve as both the catalyst and engine of the economy. These changes aim to modify the role of universities in society and the economy (Shtykhno *et al.* 2022), imposing a significant challenge.

The U.D.C.A has earned high recognition of quality from the Ministerio de Educación Nacional of Colombia. The university has approximately 5,000 students and 149 professors, 31 with Ph.D. and 84 with a master's degree. The institution is committed to investing 2,3 % of its tuition towards research initiatives. Notably, the university has already developed software and is in the process of securing its first patent. Furthermore, they are actively engaged in several innovation projects. Additionally, it recently launched two doctoral programs in Sustainability Sciences and Animal Science, representing important knowledge areas of growth for the university. Based on Lukovics & Zuti (2015) university models, U.D.C.A falls under model 2.0 and is moving towards model 3.0.

Another significant challenge imposed on universities is to be in some academic rankings, like Times World University Rankings, QS World University Rankings, Academic Ranking of World Universities (ARWU), and Webometrics Ranking. These rankings have been used to compare university quality using different metrics, datasets, methods, and indicators (Hudec, 2017).

However, while being ranked highly in university rankings could be seen as a prestigious achievement, the validity of these rankings has been the subject of much debate. Universities' rankings often need more transparency regarding information sources and data reliability, as they heavily rely on universities' information, which may not always be objective or comprehensive (Anowar *et al.* 2015). Hudec (2017) indicate that factors such as the university's type, size, model, and context are often not considered, which can significantly impact its overall ranking. The U.D.C.A is not ranked in the top systems, including Scimago Institutions Rankings, which only consider universities that publish over 100 yearly documents. However, the results show progress in the U.D.C.A's scientific production.

Based on the bibliometric analysis, 534 scientific documents authored by authors affiliated with U.D.C.A were found in the

SCOPUS database (Figure 1). The oldest record is from 1999 with the paper "Lack of beneficial effects of bethanechol, imipramine or furosemide on the seminal plasma of three stallions with urospermia", published in the journal *Reproduction in Domestic Animals* (Hoyos Sepúlveda *et al.* 1999). Since then, the number of papers published by authors affiliated with U.D.C.A has significantly increased since 2015, with a range of growth from 77 to 139 % between years (Figure 1). A study by Arias-Pérez *et al.* (2019) analyzed the relationship between intellectual capital management and research group performance in public and private universities in Colombia. The research indicated that individuals with advanced levels of human capital produced the most significant scientific output. Furthermore, according to Quintero-Quintero *et al.* (2022), public universities in Colombia with more authors or researchers tended to publish more scientific articles in Scopus. The increase in publication rates may be attributed to U.D.C.A's efforts to strengthen its team by hiring top-notch researchers across various disciplines since 2015 (Figure 1).

From the 534 scientific documents authored by individuals affiliated with U.D.C.A found in the Scopus database, a significant majority (88 %) are original articles, while reviews account for 6.2 %, and book chapters, case studies, or editorials make up 1.7 %. The remaining documents comprise editorials, letters, errata, conference papers, data papers, and notes (Figure 1). This result agrees with Bayona-Rodríguez *et al.* (2018), who found that articles are the most produced scientific products by universities in Colombia. The study showed a significant increase in new knowledge-generation products between 2009 and 2015, which included articles (60 %), book chapters (220 %), books (58 %), and other products (194 %).

On the other hand, 70 % of the papers were published in English and 27 % in Spanish (Figure 1). These results are consistent with Salatino (2023), who found that of 62.446.772 papers reported in Scopus in 2022, only 0.9 % (542,959) were published in Spanish. Additionally, 23 Latin American countries accounted for 2,502,340 papers, 4 % of the papers published in Scopus. Colombians wrote 5.9 % of these 4 % scientific papers. Colombia is one of Latin America's peripheral centers, along with Argentina, Brazil, Chile, and Mexico. According to Salatino (2023) most Latin Americans (82 %) have published their work in English in journals indexed in Scopus; of them, a smaller percentage (9 %) have published in Portuguese, and even fewer (8.8 %) have published in Spanish. Even the OLIVA Project, the Latin American Observatory of Research Evaluation Indicators, recorded that 23.9 % of papers in journals indexed by Redalyc and SciELO were published in English; in comparison, 43.7 % were published in Spanish, 32.9 % in Portuguese, and only 0.2 % in French (Gallardo, 2022). This is relevant because English is not the official language in Latin American countries with the most research and internationalization capacities (Salatino, 2023) However, although the global science system and the dominance of the English language promote disparities globally regarding knowledge production (Chankseliani, 2023), all these findings are unsurprising because the English language controls science, and authors like Horn (2017) suggest

that publishing in English is necessary for researchers to gain visibility. It appears that this is what authors affiliated with UDCA are targeting.

On the other hand, according to Salatino (2023), the number of Latin American journals included in mainstream indexing bases (Scopus, WoS Core Collection) is negligible concerning the total number of journals published in the region. However, Scientific communities in Latin America have been strengthening since the mid-20th century by creating and organizing bibliographic indexes such as LA-LILACS, DOCPAL, REPIDISCA, AGRINTER-SIDALC, Clase, Periódica, Latindex, and BIBLAT. More recently, initiatives such as SciELO have emerged to promote the dissemination of local and regional scientific knowledge (Beigel *et al.* 2024). Nevertheless, the most important thing is their commitment to developing open science (Packer, 2020).

Of the 534 papers authored by authors affiliated with U.D.C.A found in the Scopus database, 165 were published in 75 Latin American journals (84.4 % are listed in SciELO, 56 % in Publindex, Figure 2), and 110 were published in 34 Colombian journals. Among these, 30 journals are open-access “Gold” (Immediate Open Access publication by the journal or book publisher), “Green” (A version of the publication is archived online), and 30 are open-access “Green.” This result is significant because the public cannot access two-thirds of the scholarly literature published, as it is locked behind a paywall (Pourret, 2020). In this sense, it is essential to define the type and scope of the scientific production of the U.D.C.A, and the proportion that it should be oriented to the regional and local public, especially considering that the regional and local journals often have a low JCR index or are not included in the Journal Citation Reports (JCR) (Figure 3).

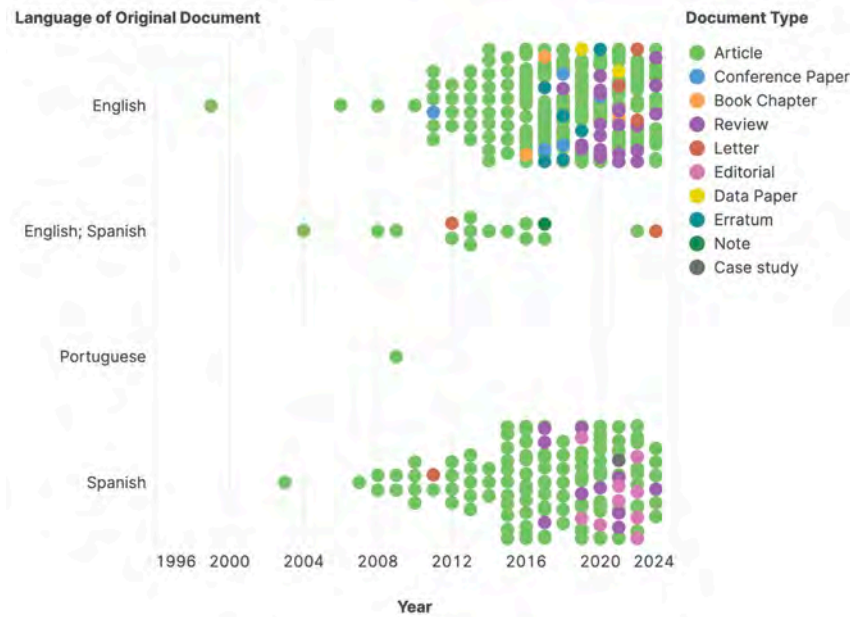


Figure 1. Articles published in the Scopus database by authors affiliated with the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, by document type, and the document’s language.

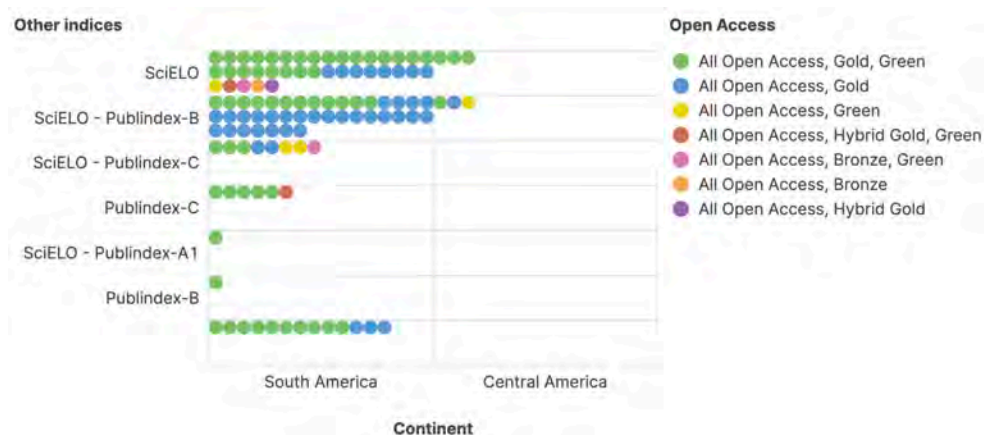


Figure 2. Journals indexed in SciELO and Publindex, and the open access status, in which authors affiliated with the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A published in the last 40 years.



Figure 3. Impact measurement metrics of journals where authors affiliated with the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A publish. JCR, HIndex, Scopus-Quartile.

The JCR is a tool within the Web of Science (WoS) that evaluation agencies widely use to assess the quality of scientific production. It calculates a Journal's Impact Factor by dividing the citations it received in the JCR year by the total number of articles published two years prior. An Impact Factor of 1.0 means that, on average, the articles published one or two years ago have been cited once. Authors affiliated with U.D.C.A have published in journals whose JCR ratings range from not being included in the JCR to a maximum of 17.9 (Figure 3). The journals with the highest JCR were Nature (17.9), The Lancet (15.65), and The Lancet Respiratory Medicine (11.12); all of them are from the United Kingdom. In these journals, 22 papers were published by consortia of authors (100 or more, including at least one author affiliated with U.D.C.A). The papers published by authors affiliated with U.D.C.A have been cited 37,147 times. However, only seven papers account for 64.4 % of those citations, as the data indicates

(Figure 3). These six papers corresponded to meta-analysis studies conducted by author consortia. In this type of paper, the authors and institutions are not easily identified, but they are essential for scientific research rankings due to the high citation index.

Authors from U.D.C.A. have collaborated with authors from 72 countries, divided into three clusters (Figure 4). The first cluster consists of countries from America (shown in blue), the second cluster includes countries from Europe and Asia, and the third cluster is a mix of countries from Africa, Oceania, and Australia, with the addition of the Russian Federation (shown in red). Although some authors affiliated with U.D.C.A strong collaboration with international authors, this result might be overestimated since many of these relationships may not exist. They could be the result of the meta-analysis studies, in which each author shares their original data to be analyzed by the principal authors of the research

to establish worldwide or regional patterns. It is improbable that the authors of these meta-analyses will collaborate again. The above does not apply to established and consolidated consortia authors like the GBD Collaborator Network, a scientific effort of the Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) at the University of Washington. GDB measures the impact of diseases,

injuries, and risk factors on health by age, gender, and location. They also quantify the comparative magnitude of health loss due to conditions, injuries, and risk factors by age, sex, and geographies for specific points in time. At least one author affiliated with U.D.C.A is part of this collaboration network. These authors must remain connected with the U.D.C.A.

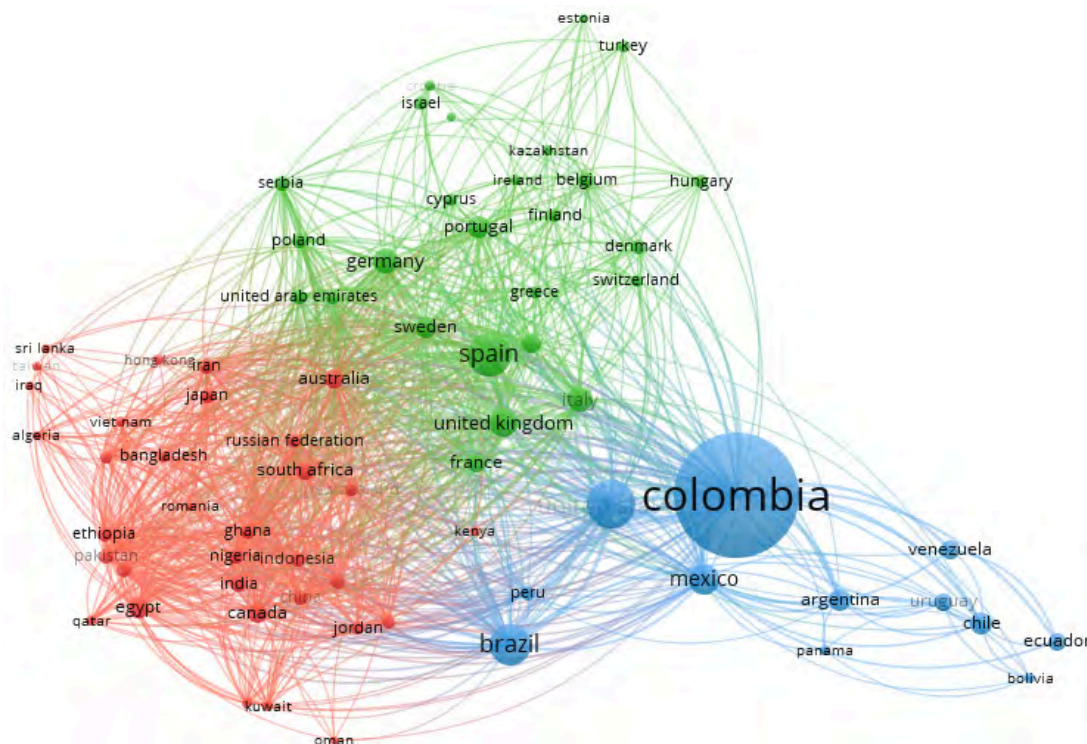


Figure 4. International collaboration network of authors affiliated with the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A in publications indexed in the Scopus database. The network corresponds to circles representing authors by country's co-occurrence. The size of the circle represents the number of documents published (the larger the circle, the more documents it covers). The distance between two nodes represents the strength of their connection (a lesser distance shows a more robust bond).

Meta-analysis often relies on data papers, which are articles that describe data resources and the methods used to obtain them (Cao, 2022). These articles are easily accessible, comprehensible, and usable to ensure open access to data (Jie *et al.* 2020). Data papers are essential for conducting meta-analysis, a quantitative method that identifies patterns of underlying relationships and causality, leading to the development of general principles and cumulative knowledge (Guzzo *et al.* 1987). Despite the importance of data papers, only two publications in this category have been recorded from authors affiliated with U.D.C.A. These publications are "Trees and shrubs of the Tropical Dry Forest of the Magdalena River upper watershed (Colombia)," published in Biodiversity Data Journal (Romero-Duque *et al.* 2019), and "Missing data estimation in extreme rainfall indices for the Metropolitan Area of Cali - Colombia: An approach based on artificial neural networks," published in Data in Brief (Ocampo-Marulanda *et al.* 2021).

Based on the areas of knowledge listed in Scopus, authors affiliated with U.D.C.A have published documents in 102 different fields. The most popular knowledge areas were Multidisciplinary (13 %),

Medicine (miscellaneous) (11.4 %), and Veterinary (miscellaneous) (11 %). All other knowledge areas accounted for less than 5 % of the papers (Figure 5). The Scopus database contains 2,102 keywords for documents from 88 knowledge areas, but 87 % have only been used once. Analyzing these keywords can help identify the research topics that authors affiliated with U.D.C.A.

According to U.D.C.A's knowledge areas, the Health field has the highest number of publications (176) and citations (35,043) compared to other fields. It includes three subareas, namely Medicine, Nursing, and Sports. The Medicine subarea has 102 keywords classified into five clusters (Figure 6a). Immunology, vaccines, parasites, malaria, and Plasmodium shown in the first cluster (yellow-green) are the primary focus of recent research in this field. The second cluster (purple) includes keywords related to genetics, clinical studies or trials, and topics related to body performance. In contrast, the Nursing subarea has 317 keywords in 25 papers, but only 12 meet the requirement of having at least three co-occurrences. Unfortunately, there are no impactful keywords in this area. The Sports subarea contains 68 keywords in 11 papers, but

none meet the requirement of having at least three co-occurrences. Mean propulsive velocity, muscle strength, and physical fitness had two co-occurrences.

There is only one keyword cluster in the Management and Commerce knowledge area, which can be attributed to the limited number of published papers (4 papers; Figure 6b). Additionally, only one of these papers has received at least a single citation. The primary keywords in this knowledge area are complex systems, models and modeling, decision-making, and well-being. A similar situation was observed in the Education knowledge area, which also has only one cluster, and the primary keywords are related to higher education, pedagogical styles, education for sustainable development, and professional development. Therefore, it is crucial to enhance the scientific output in the Nursing and Sports subareas and the Management, Commerce, and Education knowledge areas at U.D.C.A.

Basic Sciences knowledge shows 1,467 keywords in 5 clusters (Figure 6c). The publications classified in this area are similar, or even the same, as those classified under Medicine. This can be attributed to the research focus of the GIBGA research group, which is mainly centered around cancer, genotoxicity, *Helicobacter pylori*, human physiology, and anatomy. Recent research in this field has been focused on various topics such as molecular diagnosis, nucleic acid amplification, genetics, detection limits, sensitivity and specificity, isolation and purification, histocompatibility, immunology, protein binding, and synthetic peptides. With the recent addition of chemical and data analysis researchers, the scientific productivity of this area is expected to diversify and have a more significant impact, especially in the context of using materials for various environmental processes and applying Big Data tools.

In this work, it was presented the results of the agronomy and veterinary subareas separately. Although it can be challenging to determine the boundary between these two areas of agricultural

sciences, it is necessary to make a clear distinction. The Agronomy subarea exhibits 88 keywords distributed among 12 clusters (Figure 6d). Recent publications by authors affiliated with U.D.C.A reveal that the primary trend in this domain is agroforestry and cultivation/harvest. However, cultivation and harvest are the most cited topics, while agroforestry is the least cited. Due to the high citation index of these topics, researchers at U.D.C.A should focus on developing subjects such as soil, ancient crops, production technology, pests and diseases, biomass, carbon sequestration, climate change, and genotype.

On the other hand, the Veterinary knowledge subarea comprises 204 keywords distributed among six clusters (Figure 6e). The central clusters and the cluster at the bottom right (injury, cats, acetabulum fracture) are the most frequently published topics. Based on the average citation score, the research cluster at the bottom right, which covers injury, cats, and acetabulum fracture, is the primary trend in this field. However, scattered keywords (marked in yellow and light green) should also be considered as part of the primary trend, such as bacteria, Hexapoda, cryptosporidiosis, and nucleotide sequence. Researchers in this knowledge area should focus on the progress of these topics to direct their research accordingly.

The Environmental Sciences knowledge area is divided into 7 clusters containing 633 keywords (Figure 6f). Recent publications by authors affiliated with U.D.C.A suggest that the primary research focus in this field is climate change and related topics. The second trend is toward sustainability, sustainable development, education for sustainable development, urban planning, ecosystem services, and geography. The most frequently cited topics in this field are urban planning, ecosystem services, ecology, biodiversity, land use, and land-use change. Although this knowledge area has gained significant recognition, expanding research efforts toward environmental technologies, modeling, and Big Data analysis is essential to further advance in this field of study.

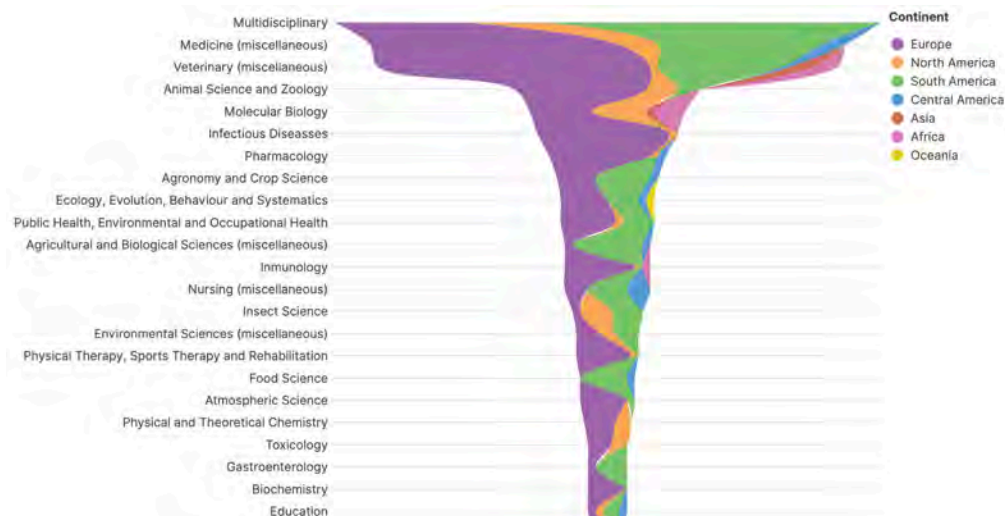


Figure 5. Knowledge areas, with most papers published by authors affiliated with the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A in journals organized by subcontinent or continent.

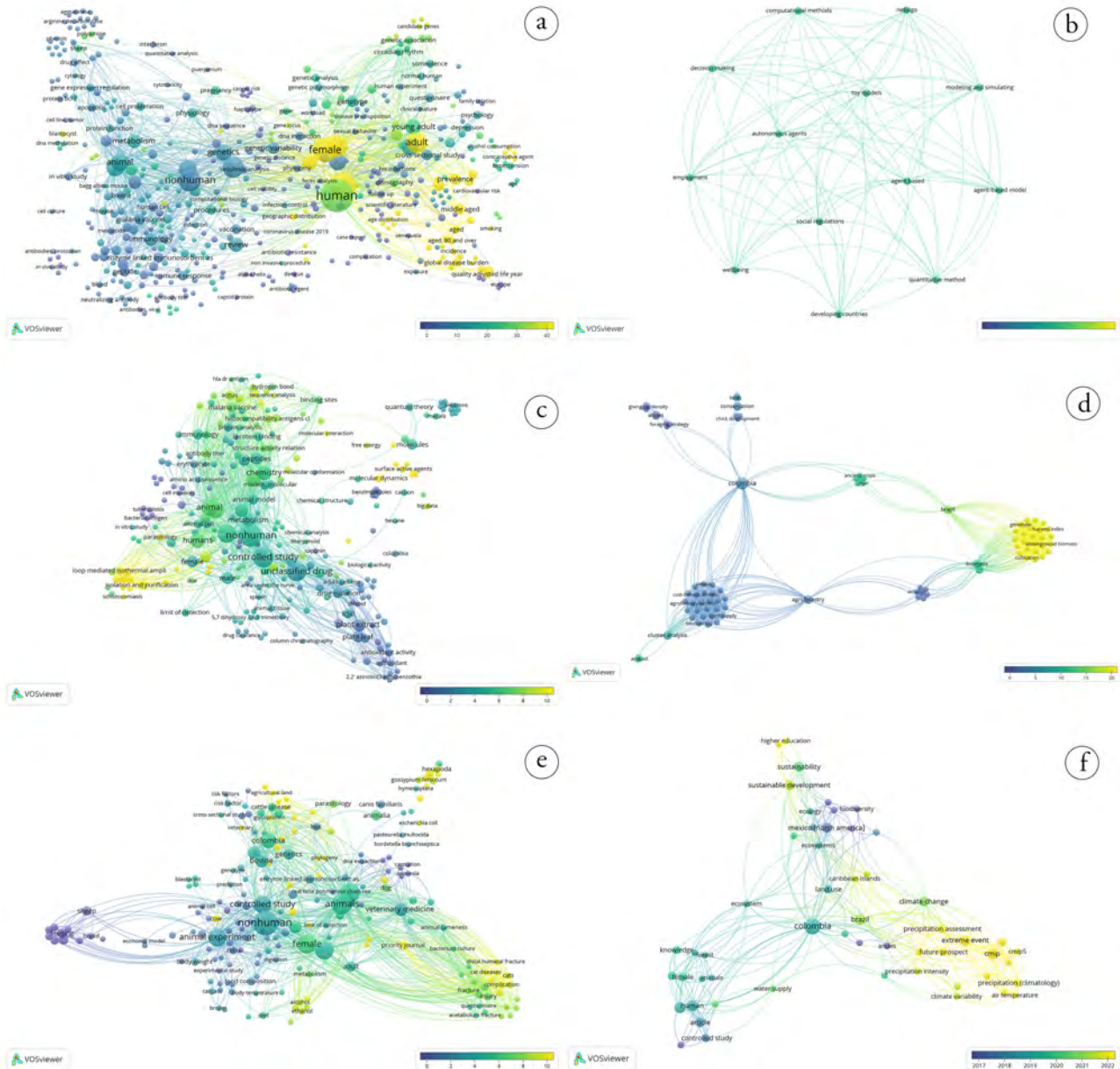


Figure 6. Index keywords co-occurrence network of publications indexed in the Scopus database by authors affiliated with the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A., by knowledge area. a) Health; b) Management and Commerce; c) Basic Sciences; d) Agronomy; e) Veterinary and f) Environmental Sciences.

The size of the circles represents the average citation of documents published (the larger the circle, the more citations it has). The distance between two nodes represents the strength of their connection (a lesser distance shows a more robust bond).

The Scopus database classifies publications as Multidisciplinary, and based on this classification, 621 keywords were identified and grouped into 7 clusters. However, out of these 621 keywords, only 31 have been found to have at least three co-occurrences. These keywords are related to genetics, metabolism, and the study of human subjects, including males, females, and young and adolescent individuals. Due to the diversity of study objects, it is impossible to identify any research trend. Furthermore, many of these keywords overlap with those already identified for different areas of knowledge. Therefore, this category doesn't contribute to the field of research.

This study assesses the scientific output of the U.D.C.A across various fields, analyzing documents authored by authors affiliated with U.D.C.A. The study also examines the impact of the U.D.C.A's scientific production on the global scientific community, evaluates its progress in international academic rankings, and offers recommendations for future research and scientific output that can aid the institution in transitioning toward the University 3.0 model with greater ease.

The scientific research conducted by the U.D.C.A has started to make a significant global impact, especially in Medicine, Environmental Sciences, and Veterinary knowledge areas. Some of their researchers have made noteworthy contributions to meta-analysis in these fields, as evidenced by the high citation rate of their documents. The impact of their scientific research on the academic community worldwide is undeniable. These three areas of the U.D.C.A have begun to focus on increasing inter-institutional cooperation, internationalization, regionalization, and globalization. However, developing business, digital technologies, virtual learning, knowledge capitalization, and entrepreneurship for the academic community in these areas still requires attention.

This situation results from the permanent effort made during the 40 years of existence of the U.D.C.A to strengthen its substantive mission of research. Effort results have seen almost exponential growth since 2015 (Figure 1) and coincide with the opening of postgraduate programs since 2011, the consolidation of research groups, and the strengthening of institutional policies on the matter, actions that have led to an increase in infrastructure and technical and economic capacities assigned to research. For this reason, recently, results have been obtained related to the development of technological products, software methodologies, pedagogical innovation, and the application for a patent, which are also part of scientific production, not reported in Scopus (Estupiñan *et al.* 2023).

The suggested research aims to establish the U.D.C.A. as a benchmark for exceptional scientific production in the country and the region. The U.D.C.A. needs to increase its scientific output in several knowledge areas, promote inter-institutional collaboration, and generate commercially viable innovations. It is worth noting that while this document proposes research suggestions for all knowledge areas at the U.D.C.A., further studies are necessary to evaluate the impact of research on the country and the region. Additionally, research plans should consider indices that measure social impact, such as patent citations, policy documents, and scholarly articles, and Web-based metrics “altmetrics” that analyze mentions on social media platforms (Bornmann, 2017).

Finally, as a knowledge producer, it is crucial to establish the extent to which U.D.C.A aims to provide scope to their scientific research. UDCA should analyze their contribution to regional scientific knowledge because the number of papers published in non-Latin American journals in English, or another language is higher than those published in Latin American journals in Spanish. Directing essential scientific research with an open-access vision for resolving regional problems would be an excellent contribution from the U.D.C.A.

Acknowledgments: The authors would like to thank Luis Hernando Estupiñan and Henny Santiago for providing valuable feedback on the manuscript and the two reviewers for their valuable contributions. **Conflict of interest:** The authors acknowledge that no conflict of interest may compromise the validity of the results and reflections presented as they have prepared and reviewed

the manuscript. **Author's contribution:** Luz Piedad Romero-Duque: conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, validation, visualization, writing-original draft, writing-review & editing. Germán Anzola Montero: conceptualization, writing-original draft, writing-review & editing.

REFERENCES

1. AMINPOUR, F.; HEYDARI, M. 2009. Scientific production of Isfahan University of Medical Sciences. *Health Information Management*. 6(1):35-42.
2. ANOWAR, F.; HELAL, M.A.; AFROJ, S.; SULTANA, S.; SARKER, F.; MAMUN, K.A. 2015. A critical review on world university ranking in terms of top four ranking systems. En: Elleithy, K.; Sobh, T. (eds) *New trends in networking, computing, e-learning, systems sciences, and engineering*. Lecture Notes in Electrical Engineering. volumen 312. Springer. p.559-566 https://doi.org/10.1007/978-3-319-06764-3_72
3. ARIAS-PÉREZ, J.; LOZADA, N.; HENAO-GARCÍA, E. 2019. Gestión del capital intelectual y desempeño de grupos de investigación universitarios en un país emergente. El caso de Colombia. *Información Tecnológica*. 30(4):181-188. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000400181>
4. BAYONA-RODRÍGUEZ, H.; BEDOYA, J.; SÁNCHEZ TORRES, F. 2018. Eficiencia en la producción científica de las universidades colombianas. *Serie de Documentos Cede*. 36. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3215466>
5. BEIGEL, F.; PACKER, A.L.; GALLARDO, O.; SALATINO, M. 2024. OLIVA: La producción científica indexada en América Latina. *Diversidad Disciplinar, Colaboración Institucional y Multilingüismo en SciELO y Redalyc (1995-2018)*. *Dados*. 67(1):e20210174. <https://doi.org/10.1590/dados.2024.67.1.307>
6. BOEHM, C. 2022. University 3.0: A conceptual framework for revisiting university futures. En: *Arts and Academia (Great Debates in Higher Education)*, Emerald Publishing Limited, Bingley. p.61-86. <https://doi.org/10.1108/978-1-83867-727-520221004>
7. BORNMAN, L. 2017. Measuring impact in research evaluations: a thorough discussion of methods for, effects of and problems with impact measurements. *Higher Education*. 73:775-787. <https://doi.org/10.1007/s10734-016-9995-x>
8. BUCHELI, V.; DÍAZ, A.; CALDERÓN, J.P.; LEMOINE, P.; VALDIVIA, J.A.; VILLAVECES, J.L.; ZARAMA, R. 2012. Growth of scientific production in Colombian universities: An intellectual capital-based approach. *Scientometrics*. 91(2):369-382. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0627-7>

9. CAO, X. 2022. Data papers: An important type of academic articles. *Resources Data Journal*. 1:10-16. https://doi.org/10.50908/rdj.1.0_10
10. CHANKSELIANI, M. 2023. Who funds the production of globally visible research in the Global South? *Scientometrics*. 128(1):783-801 <https://doi.org/10.1007/S11192-022-04583-4/TABLES/3>
11. COSTA, T.; RODRÍGUEZ-BRAVO, B. 2016. Scientific production of the Portuguese and Spanish universities: a comparative analysis. *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries (QQML)*. 5:347-354.
12. DE FRUTOS-BELIZÓN, J.; MARTÍN-ALCÁZAR, F.; SÁNCHEZ-GARDEY, G. 2020. An intellectual capital approach to explaining the determinants of scientific productivity in the field of management. *European Management Review*. 17(4):943-959. <https://doi.org/10.1111/emre.12406>
13. DELGADO-CARREÓN, C.C.; MACHIN-MASTROMATTEO, J.D.; ROMO-GONZÁLEZ, J.R.; PACHECO-MENDOZA, J. 2021. Creativity-related traits and the scientific production of professors from the Autonomous University of Chihuahua. *Digital Library Perspectives*. 37(2):119-132. <https://doi.org/10.1108/DLP-08-2020-0077>
14. ESTRADA ARAOZ, E.G.; GIERSCH, L.V.; VALENCIA MARTÍNEZ, J.C.; LATORRE, M.F.; CONDORI, W.G.L.; PARICAHUA PERALTA, J.N. 2022. Scientific production in the Scopus database of a public university in the peruvian Amazon. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*. 41(6):437-442.
15. ESTUPIÑAN, L.H.; SANTIAGO, H.M.; PINZÓN, A.D. 2023 El camino de la Investigación en los 40 años de la U.D.C.A. *Periódico de La U.D.C.A.* p.10-11. Disponible desde Internet en: <https://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/periodico/2023/index.html>
16. EUROPEAN COMMISSION. 2004. Improving institutions for the transfer of technology from science to enterprises: conclusions and recommendations. European Commission, Directorate-General for Enterprise and Industry.
17. GALLARDO, O. 2022. La evolución de la producción científica en revistas indexadas en Iberoamérica. Principales tendencias y diferencias del circuito mainstream. Número 23. Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, La Tecnología y la Sociedad de la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 41p.
18. GUZZO, R.A.; JACKSON, S.E.; KATZELL, R.A. 1987. Meta-analysis analysis. *Research in Organizational Behavior*. 9(1):407-442.
19. HAJIHASHEMI, Z.; MALIH, N.; VAFAGEE, R.; SOHRABI, M.R. 2016. Scientific production of Shahid Beheshti University of Medical Sciences in Scopus between 2011-2014. *Social Determinants of Health*. 2(4):155-161. <https://doi.org/10.22037/sdh.v2i4.17599>
20. HASSAN-MONTERO, Y.; DE-MOYA-ANEGÓN, F.; GUERRERO-BOTE, V.P. 2022. SCImago Graphica: a new tool for exploring and visually communicating data. *Profesional de La Informacion*. 31(5) <https://doi.org/10.3145/epi.2022.sep.02>
21. HORN, S.A. 2017. Non-english nativeness as stigma in academic settings. *Academy of Management Learning and Education*. 16(4) <https://doi.org/10.5465/amle.2015.0194>
22. HOYOS SEPÚLVEDA, M.L.; QUIROZ ROCHA, G.F.; BRUMBAUGH, G.W.; MONTIEL, Q.J.; RODRÍGUEZ, M.S.; CANDANOSA DE MORALES, E. 1999. Lack of beneficial effects of bethanechol, imipramine or furosemide on seminal plasma of three stallions with urospermia. *Reproduction in Domestic Animals*. 34(6):489-493. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.1999.tb01408.x>
23. HUDEC, O. 2017. A ranking-free evaluation of universities: An intellectual capital approach. *ICETA 2017 - 15th IEEE International Conference on Emerging ELearning Technologies and Applications, Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICETA.2017.8102487>
24. JIE, X.U.; WENHUI, T.A.N.G.; XINYUE, X.I.A. 2020. Analysis of the status quo and corresponding countermeasures of data publishing based on its practices. *Chinese Journal of Scientific and Technical Periodicals*. 31(11):1331. <https://doi.org/10.11946/cjstp.202005200515>
25. LUKOVICS, M.; ZUTI, B. 2015. New functions of universities in century XXI towards "fourth generation" universities. *Transition Studies Review*. 22(2) <https://doi.org/10.14665/1614-4007-22-2-003>
26. MILLONES-GÓMEZ, P.A.; YANGALI-VICENTE, J.S.; ARISPE-ALBURQUEQUE, C.M.; RIVERA-LOZADA, O.; CALLA-VÁSQUEZ, K.M.; CALLA-POMA, R.D.; REQUENA-MENDIZÁBAL, M.F.; MINCHÓN-MEDINA, C.A. 2021. Research policies and scientific production: A study of 94 Peruvian universities. *PLoS ONE*. 16(5):e0252410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252410>
27. NOURI, R.; DANESH, F. 2010. Scientific production of academic members in web of science during 2000-2005 and effective factors: A case study in Isfahan University of Medical Sciences. *IranDoc Scientific Communication Monthly Journal*. 17(2):2-10.

28. OCAMPO-MARULANDA, C.; CERÓN, W.L.; AVILA-DIAZ, A.; CANCHALA, T.; ALFONSO-MORALES, W.; KAYANO, M.T.; TORRES, R. R. 2021. Missing data estimation in extreme rainfall indices for the Metropolitan area of Cali - Colombia: An approach based on artificial neural networks. *Data in Brief*. 39 <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107592>
29. OKHOVATI, M.; BAZRAFSHAN, A.; ZARE, M.; ABDOLAH, L.; BAZRAFSHAN, M.S.; ZARE, F. 2018. Qualitative and quantitative assessment of the scientific production of Kerman University of Medical Sciences academic members in Scopus database. *Health and Development Journal*. 6(4):268-278.
30. ORBEGOZO, J.M.G.; GONZÁLEZ-MENDOZA, J.A.; ARAUJO, V.L.G. 2022. Impact of the scientific production of the Top 15 universities in Colombia. *Journal of Positive Psychology and Wellbeing*. 6(2):800-805.
31. PACKER, A. L. 2020. The pasts, presents, and futures of SciELO. En: Eve, M. P.; Gray, J. (eds.), *Reassembling scholarly communications: Histories, infrastructures, and global politics of open access*. MIT Press. p.297-316.
32. POURRET, O. 2020. Global flow of scholarly publishing and open access. *Elements*. 16(1):6-7. <https://doi.org/10.2138/GSELEMENTS.16.1.6>
33. QUINTERO-QUINTERO, W.; BLANCO-ARIZA, A.B.; GARZÓN-CASTRILLÓN, M.A. 2021. Intellectual capital: A review and bibliometric analysis. In *Publications* 9:4. <https://doi.org/10.3390/publications9040046>
34. QUINTERO-QUINTERO, W.; BLANCO-ARIZA, A.B.; GARZÓN-CASTRILLÓN, M.A. 2022. Investigation related to intellectual capital and scientific production in Colombia public universities: A review from Scopus. In *Education Research International*. 2022:9039109. <https://doi.org/10.1155/2022/9039109>
35. QUINTERO-QUINTERO, W.; QUINTANA-AREVALO, S. 2022. Scientific production in higher institutions: A systematic review. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology*. 19(4).
36. RAHMATI-ROODSARI, M.; SOHRABI, M. 2013. Scientific production of nutrition school of Shahid Beheshti University of Medical Sciences in Scopus and ISI in 2009-mid2012. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 7(5):79-86.
37. RASOLABADI, M.; KHALEDI, S.; KHAYATI, F.; KALHOR, M.M.; PENJVINI, S.; GHARIB, A. 2015. Scientific production of Medical Universities in the West of Iran: A scientometric analysis. *Acta Informatica Medica*. 23(4) <https://doi.org/10.5455/aim.2015.23.206-209>
38. REPANOVICI, A. 2011. Measuring the visibility of the university's scientific production through scientometric methods: An exploratory study at the Transilvania University of Brasov, Romania. *Performance Measurement and Metrics*. 12(2):106-117. <https://doi.org/10.1108/14678041111149345>
39. RIVERA-LOZADA, O.; RIVERA-LOZADA, I.C.; BONILLA-ASALDE, C.A. 2022. Factors associated with scientific production of professors working at a private university in Peru: An analytical cross-sectional study. *F1000Research*. 11:1219. <https://doi.org/10.12688/f1000research.126143.1>
40. ROMAN-GONZALEZ, A.; VARGAS-CUENTAS, N.I. 2018. Scientific production in the 50 first universities licensed by SUNEDU. *Proceedings of the 2018 IEEE Sciences and Humanities International Research Conference, SHIRCON 2018*. <https://doi.org/10.1109/SHIRCON.2018.8593133>
41. ROMERO-DUQUE, L.P.; ROSERO-TORO, J.H.; FERNÁNDEZ-LUCERO, M.; SIMBAQUEBA-GUTIERREZ, A.; PÉREZ, C. 2019. Trees and shrubs of the tropical dry forest of the Magdalena River upper watershed (Colombia). *Biodiversity Data Journal*. 7:36191. <https://doi.org/10.3897/BDJ.7.e36191>
42. ROQUE, R.H.O.; MACAVILCA, M.C.A.; CRUZ, H.J.P.; MARTÍNEZ, A.P.E.; VÉLIZ, M.Z.E.; VÉLIZ, K.L.E. 2022. Management of research and scientific production in private universities of metropolitan Lima. *Journal of Positive School Psychology*. 6(4):6559-6569.
43. RUBIO, A.V. 1992. Scientific production of Spanish universities in the fields of Social Sciences and Language. *Scientometrics*. 24(1):3-19. <https://doi.org/10.1007/BF02026470>
44. SALATINO, M. 2023. Los circuitos lingüísticos de la publicación científica latinoamericana. *Tempo Social*. 34:253-273. <https://doi.org/10.11606/0103-2070.ts.2022.201928>
45. SHEHATTA, I.; MAHMOOD, K. 2016. Research Collaboration in Saudi Arabia 1980-2014: Bibliometric Patterns and National Policy to Foster Research Quantity and Quality. In *Libri*. 66(1):13-29. <https://doi.org/10.1515/libri-2015-0095>
46. SHTYKHNO, D.A.; KONSTANTINOVA, L.V.; GAGIEV, N.N.; SMIRNOVA, E.A.; NIKONOVA, O.D. 2022. Transformation of university models: Analysis of the development strategies of universities in the world. *Vysshee Obrazovanie v Rossii*. 31(6):27-47. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2022-31-6-27-47>
47. SIAMIAN, H.; FIROOZ, M.Y.; VAHEDI, M.; ALIGOLBANDI, K. 2013. Scientific production of medical sciences universities in north of Iran. *Acta Informatica Medica*. 21(2). <https://doi.org/10.5455/aim.2013.21.113-115>

48. TANVEER, M.; KARIM, A.M.D.; MAHBUB, A. 2019. The use of performance measurement in universities of Pakistan. *Library Philosophy and Practice (e-Journal)*. 3010:1-28.
49. TARANGO, J.; HERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, P.Z.; VÁZQUEZ-GUZMÁN, D. 2015. Evaluation of scientific production in Mexican state public universities (2007-2011) using principal component analysis. *Profesional de La Información*. 24(5):567-576. <https://doi.org/10.3145/epi.2015.sep.06>
50. VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*. 84(2):523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
51. VOSVIEWER. 2023. VOSviewer - Visualizing scientific landscapes. VOSviewer. Disponible desde Internet en: <https://www.vosviewer.com/>

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 2023. Nuestra gratitud a su invaluable colaboración.

En reconocimiento publicamos a continuación sus nombres:

1. Ph.D. Iran Alia Tejocal, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, **México**
2. Ph.D. Helber Enrique Balaguera-López, Universidad Nacional de Colombia, **Colombia**
3. M.Sc. María Laura Barcia Rivera Indarte, Ministerio de Educación y Cultura, **Uruguay**
4. Ph.D. Felipe Barragán Torres, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, **México**
5. Posdoc. Manuel Hernando Bernal Bautista, Universidad del Tolima, **Colombia**
6. Ph.D. Julio Cesar Caicedo Eraso, Universidad de Caldas, **Colombia**
7. Ph.D. Arturo Cortes Cuevas, Universidad Nacional Autónoma de México, **México**
8. Ph.D. Alfonso Cubillos Varela, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, **Colombia**
9. Ph.D. Gerhard Fischer, Universidad Nacional de Colombia, **Colombia**
10. Ph.D. Maria del Carmen Franco Gordo, Universidad de Guadalajara, **México**
11. Posdoc. Felipe Garcés Fiallos, Universidad Técnica de Manabí, **Ecuador**
12. Ph.D. Messaria María Ginestre Pérez, Universidad del Zulia, **Venezuela**
13. Ph.D. Lilibiana María Gomez Luna, Universidad de Oriente, **Cuba**
14. Ph.D. Ramiro González Avalos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, **México**
15. Ph.D. Elsa Marcela Guerrero, Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, **Argentina**
16. Ph.D. Roque Interdonato, Universidad Nacional de Tucumán, **Argentina**
17. Ph.D. Alejandra Martínez Melo, Drexel University, **Estados Unidos**
18. M.Sc. Cristian Moisés Galván Villa, Universidad de Guadalajara, **México**
19. M.Sc. Claudia Molina Zuluaga, Faunativa, **Colombia**
20. M.Sc. Olga Inés Montoya Campuzano, Universidad Nacional de Colombia, **Colombia**
21. Ph.D. Abelardo Morales Briceño, Dubai Equine Hospital, **Emiratos Árabes**
22. Ph.D. Sandra Pascoe Ortiz, Universidad del Valle de Atemajac, **México**
23. Posdoc. René Pedroza Flores, Universidad Autónoma del Estado de México, **México**
24. Ph.D. Sandra Quijas Fonseca, Universidad de Guadalajara, **México**
25. Ph.D. John Freddy Ramírez Casallas, Institución Educativa Técnica La Sagrada Familia, **Colombia**
26. Posdoc. Luiz Ribas Cesar, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, **Brasil**
27. Ph.D. Ramón Rodríguez Macías, Universidad de Guadalajara, **México**
28. Posdoc. Jorge Romero Amado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, **México**
29. Posdoc. Marcio Salla Ricardo, Universidad Federal de Uberlândia, **Brasil**
30. Ph.D. Arturo Sánchez González, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, **México**
31. Ph.D. Miguel Ángel Sarmiento Visgarra, Universidad Nacional de Santiago del Estero, **Argentina**
32. Ph.D. José Américo Saucedo Uriarte, Estación Experimental Agraria El Porvenir, **Perú**
33. Ph.D. Jesús Vargas Radillo, Universidad de Guadalajara, **México**
34. Ph.D. Clorinda Vergara Cobian, Universidad Nacional Agraria La Molina, **Perú**
35. Ph.D. Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas, Universidad Tecnológica de la Habana, **Cuba**

¡Conoce nuestra oferta Académica!

Facultades

- Ciencias
- Ciencias de la Educación
- Ciencias Administrativas
y Comerciales
- Ciencias de la Salud
- Ciencias Agropecuarias
- Ciencias Jurídicas
- Ciencias Ambientales y de la
Sostenibilidad



PREGRADO



POSGRADO



@somosudca



3182001447

www.udca.edu.co

Calle 222
Calle 222 # 55 - 37
PBX (60 1) 6684700
Bogotá, Colombia

Avenida Boyacá
Avenida Boyacá # 66 A - 61
PBX (60 1) 6684700 Ext. 501
Bogotá, Colombia

Alianza CTB - U.D.C.A
Carrera 21 # 53D - 35
PBX (60 1) 3483061
Bogotá, Colombia

¡ CONOCE NUESTRA
NUEVA SEDE !

CARTAGENA

Barrio Pie del Cerro
Cra. 31 No. 18B-55
(60 1) 668 4700 ext 402



