



Revista de **INVESTIGACIÓN** Agraria y Ambiental

Volumen 15 Número 1 – (Enero - Junio de 2024) • e-ISSN 2145-6453 • ISSN 2145-6097



Universidad Nacional
Abierta y a Distancia



ECAPMA
Escuela de Ciencias
Agrícolas, Pecuarias y
del Medio Ambiente



REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL

VOLUMEN 15 NÚMERO 1 – (ENERO - JUNIO DE 2024)
E-ISSN 2145-6453
ISSN 2145-6097





Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 15, Número 1 – (Enero - Junio de 2024) – e-ISSN 2145-6453 - ISSN 2145-6097

CUERPO DIRECTIVO

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR
Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA
Vicerrector Académica y de
Investigación

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ
Vicerrector de Servicios a Aspirantes,
Estudiantes y Egresados

LEONARDO YUNDA PERLAZA
Vicerrector de Medios y Mediaciones
Pedagógicas

JULIA ALBA ANGEL OSORIO
Vicerrector de Desarrollo Regional
y Proyección Comunitaria

LEONARDO EVEMELETH SANCHEZ TORRES
Vicerrector de Relaciones
Internacionales

JORDANO SALAMANCA BASTIDAS
Decano Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

JUAN SEBASTIÁN CHIRIVÍ SALOMÓN
Líder Nacional de Investigación

CAROLINA GUTIERREZ
Líder Nacional de Investigación Escuela
de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del
Medio Ambiente

EQUIPO EDITORIAL

GERARDO OJEDA
Director Editor

MARGARITA ROSA BONILLA OSPINA
Co-editora

COMITÉ EDITORIAL

JORDI SARDANS

Investigador – Unidad
de Ecología Global
CREAF-CSIC Universitat Autònoma
de Barcelona, España.

EDMUND PERFECT

Department of Earth and Planetary
Sciences.
University of Tennessee, Knoxville,
Estados Unidos.

JÖRG BACHMANN

Institut für Bodenkunde. Leibniz
Universität Hannover, Alemania.

ABÍLIO SOBRAL

Centro de Química.
Universidade de Coimbra, Portugal.

ELISABETE FIGUEIREDO

Departamento de Ciências Sociais,
Políticas e do Território.
Universidade de Aveiro, Portugal.

XAVIER DOMENE

Centre de Recerca Ecològica i Aplica-
cions Forestals - CREAF. Universitat
Autònoma de Barcelona, España.

FILIPA BESSA

Centro de Ciências do Mar e do
Ambiente - MARE.
Universidade de Coimbra, Portugal.

MARCELO GANDINI

Facultad de Agronomía.

Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires,
Argentina.

HENRY ZÚÑIGA BENÍTEZ

Departamento de Ingeniería Quími-
ca. Universidad de Antioquia, Co-
lombia.

CARLOS ABANTO RODRÍGUEZ

Manejo integral del bosque
y servicios ecosistémicos.
Instituto de Investigaciones
de la Amazonía Peruana, Perú.

SUSANA RODRÍGUEZ BURITICÁ

Ecología Espacial. Instituto de Inves-
tigación de Recursos Biológicos Al-
exander von Humboldt, Colombia.

ROLANDO TITO BACCA IBARRA

Departamento de Sanidad Vegetal.
Universidad del Tolima, Colombia.

FERNANDO FERNÁNDEZ MÉNDEZ

Facultad de Ingeniería Forestal.
Universidad del Tolima, Colombia.

JESÚS VARGAS HERNÁNDEZ

Departamento de Ciencias Forestales.
Colegio de Posgrados, México.

EDGAR JOSÉ JAIMES CÁRDENAS

Facultad de Agronomía.
Universidad de Los Andes, Venezuela.

MARTÍN ORLANDO PULIDO

MEDELLÍN

Departamento de Medicina
Veterinaria y Zootecnia.

Universidad Pedagógica
y Tecnológica de Colombia, Colombia.

Corrector de estilo

Lina María Salazar

Diseño y diagramación

Ana María Salamanca

**Información, correspondencia,
suscripciones y canje Revista
de investigación agraria
y ambiental**

Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta
y a Distancia

Calle 14 Sur N. 14-23 Bogotá,
Colombia

Teléfonos: (571) 344 3700 ext.
1529 e-mail: riaa@unad.edu.co

La revista puede consultarse en
su versión electrónica en:

[http://hemeroteca.unad.edu.co/
index.php/riaa/issue/archive](http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/issue/archive)

Presentación

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) es un proyecto editorial de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), que surge en el año 2009 con el fin de comunicar los resultados de investigaciones originales en el área agraria y ambiental realizadas por personas, grupos o instituciones tanto nacionales como internacionales. Con el fin de mantener y afianzar la confianza entre investigadores y público interesado en las temáticas de RIAA, la revista busca su inclusión en prestigiosas bases de datos y sistemas de indexación tanto nacionales como internacionales.

Misión

La misión de RIAA es fomentar la comunicación y colaboración entre investigadores nacionales e internacionales a través de la divulgación y transferencia de conocimiento relacionado con las ciencias agrarias y del medio ambiente, con el fin de fortalecer la generación de nuevo conocimiento.

Público al que se dirige

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) es una publicación oficial de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), destinada a publicar artículos resultantes de las investigaciones originales en el área agraria y ambiental y en las áreas de conocimiento afines, en temas relacionados con los avances en producción animal, agricultura y uso sostenible de los recursos naturales. Como ejemplos de áreas afines citamos, entre otras, ética, ecología, sociología, geo-grafía, historia, derecho, educación y economía, cuando se ocupan de perspectivas del desarrollo, de estilos de agricultura, de historia agraria, de desarrollo sustentable, de bioética y ética ambiental, de educación ambiental y extensión rural, de política agraria y ambiental, de legislación ambiental, forestal y agraria o de contribuciones significativas e innovadoras con visión sistémica, interdisciplinaria y/o transdisciplinaria. La publicación circula en formato impreso y en forma electrónica con acceso libre.

Periodicidad

RIAA es una publicación semestral (Enero-Junio y Julio-Diciembre).



Cesión De Derechos

RIAA, al momento de recibir la postulación de un manuscrito por parte de su autor, ya sea a través de correo electrónico o postal, considera que puede publicarse en formatos físicos y/o electrónicos y facilitar su inclusión en bases de datos, hemerotecas y demás procesos de indexación.

Se autoriza la reproducción y citación del material de la revista, siempre y cuando se indique de manera explícita el nombre de la revista, los autores, el título del artículo, volumen, número y páginas.

Las ideas y conceptos expresados en los artículos son responsabilidad de los autores y en ningún caso reflejan las políticas institucionales de la UNAD.

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental es indexada en las siguientes bases de datos especializadas.

	La Base Bibliográfica Nacional - BBN Publindex , que hace parte del Sistema Nacional de Indexación y Homologación, es dirigida por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias. Está constituida por la información integrada por las revistas especializadas de CT+I sobre su producción, donde se hace visible para consulta en línea la información bibliográfica recolectada de los documentos hasta el nivel de resumen.
 CAB Abstracts	CABI es una organización intergubernamental sin fines de lucro, que proporciona información y servicios de carácter científico en el mundo desarrollado y en desarrollo. CAB Abstracts: es una base de datos que ayuda a documentar la literatura publicada en el mundo, en: agricultura, medio ambiente, ciencias veterinarias, ciencias vegetales, micología y parasitología, economía aplicada, ciencias de la alimentación, salud humana, nutrición y temas relacionados.
Veterinary Science Database	The veterinary Science Database cubre todos los aspectos de la medicina veterinaria y las enfermedades de los animales domésticos y salvajes por antropodos, helmintos, protozoos y hongos.
	Environment index: Base de datos de información en temáticas relacionadas con: agricultura, ciencias del mar y agua dulce, ecología de ecosistemas, geografía, energía, fuentes renovables de energía, recursos naturales, contaminación y gestión de residuos, tecnología ambiental, legislación ambiental, políticas públicas, planificación urbana e impactos sociales.
	Fuente Académica Plus es una base de datos que abarca las principales disciplinas académicas, ofrece revistas en español y portugués para la investigación académica. Ofrece muchas revistas de calidad de América Latina, Portugal y España, incluyendo el texto completo activo de 13 títulos A1 de Qualis.
	ACADEMIC SEARCH COMPLETE ofrece una gran colección de revistas académicas multidisciplinarias en texto completo, proporcionando a los usuarios acceso a información crítica de muchas fuentes únicas. Además, incluye texto completo revisado por pares. El contenido académico cubre una amplia gama de importantes áreas incluyendo antropología, ingeniería, derecho, ciencias y muchas más.
	REDIB (RED IBEROAMERICANA DE INNOVACIÓN Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO) es una plataforma para la agregación de contenidos científicos y académicos en formato electrónico en el espacio Iberoamericano. REDIB proporciona acceso y facilita la difusión y ejecución del trabajo científico. Los destinatarios de esta información son tanto la comunidad académica y sociedad en general, así como los responsables de la política científica y aquellos encargados de ponerla en práctica y analizarla.
	PERIÓDICA es una base de datos bibliográfica creada en 1978 en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La base de datos se actualiza diariamente y más de 10 mil registros son agregados cada año. Ofrece alrededor de 336 mil registros bibliográficos de artículos originales, informes técnicos, estudios de caso, estadísticas y otros documentos publicados en cerca de 1 500 revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.
	Dialnet es una base de datos de acceso libre, creada por la Universidad de La Rioja (España), que difunde producción científica hispana.
	BASE es uno de los motores de búsqueda más voluminosos del mundo, especialmente para recursos web académicos. BASE proporciona más de 120 millones de documentos de más de 6,000 fuentes. Puede acceder a los textos completos de aproximadamente el 60% de los documentos indexados de forma gratuita (Acceso abierto). BASE es operado por la Biblioteca de la Universidad de Bielefeld.
	GALE Academic Onefile proporciona millones de artículos de más de 17,000 revistas académicas y otras fuentes autorizadas, incluidos videos de BBC Worldwide Learning a miles de podcasts y transcripciones de CNN. Incluye más de 11.000 revistas revisadas por pares (más de 8.000 en texto completo) y conjuntos de referencias importantes, como Gale Encyclopaedia of Science y Encyclopaedia of World Biography.
	Google Académico proporciona una forma sencilla de realizar búsquedas amplias de literatura académica. Desde un solo lugar, puede buscar en muchas disciplinas y fuentes: artículos, tesis, libros, resúmenes y opiniones judiciales, de editoriales académicas, sociedades profesionales, repositorios en línea, universidades y otros sitios web. Google Scholar lo ayuda a encontrar trabajos relevantes en el mundo de la investigación académica.



 	<p>ProQuest conserva amplia y variada información, tanto de archivos históricos, como de los avances científicos actuales y maneja tecnologías digitales que optimizan la búsqueda, intercambio y gestión de la información. THE AGRICULTURAL & ENVIRONMENTAL Science Database de ProQuest es un recurso interdisciplinario de contenido de texto completo junto con la indexación experta de la literatura mundial en estos campos y disciplinas relacionadas. Cuenta con revistas revisadas por pares, publicaciones comerciales, revistas, literatura gris, documentos de trabajo, documentos de conferencias y procedimientos. Además, la base de datos de ciencias agrícolas y ambientales incluye declaraciones y resúmenes de impacto ambiental en texto completo y AGRI-COLA, la base de datos bibliográfica de literatura científica agrícola líder en el mundo. La base de datos proporciona una solución única para la investigación agrícola y disciplinas afines que incluyen: economía agrícola, ciencias animales y veterinarias, acuicultura y pesca, agricultura y sistemas agrícolas, alimentación y nutrición humana, silvicultura, y ciencias vegetales.</p>
	<p>OCLC (Online Computer Library Centre) es una cooperativa de 72,035 bibliotecas de 171 países con el doble objetivo de mejorar el acceso a la información y reducir el costo de las bibliotecas. El CRAI de la URV se unió a OCLC en mayo de 2014 cooperando con Worldcat Local. Más de 1.4 millones de artículos con acceso de un clic al texto completo (cuando los recursos están suscritos por la URV o son de acceso abierto) o las referencias bibliográficas que permiten ubicar y ordenar el artículo a través del servicio de préstamo interbibliotecario. Además, más de 40 millones de elementos digitales de fuentes confiables como Google Books y archivadores y repositorios digitales líderes como OAster, ArchiveGrid y HathiTrust y con más de 25 millones de libros en bibliotecas de todo el mundo.</p>
 DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS	<p>Directory of Open Access Journals (DOAJ) lista revistas de acceso libre, científicas y académicas, que cumplen con estándares de alta calidad al utilizar la revisión por pares o control de calidad editorial y que sean gratuitas para todos al momento de su publicación, sobre la base de la definición de acceso libre adoptada en la Budapest Open Access Initiative (BOAI).¹² El objetivo del DOAJ es "incrementar la visibilidad y facilitar el uso de revistas científicas y académicas de acceso libre, de manera que se promueve su mayor uso e impacto. Debido a que el acceso libre es un fenómeno mundial, el DOAJ incluye publicaciones de todo el mundo en muchos idiomas. Es posible navegar por las revistas o buscar por artículos en el interior de muchas revistas, por medio de una interfaz. En mayo de 2009, la base de datos bibliográfica contenía 4.177 revistas, de las cuales 1.531 estaban catalogadas a nivel de artículo.</p>
 Índice de revistas en consolidación ameliCA	<p>AmeliCA es una infraestructura de comunicación para la publicación académica y la ciencia abierta, sostenida de forma cooperativa y centrada en el modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica. AmeliCA (premio Sparc a la innovación 2019) es impulsada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y liderada por el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) y un conjunto de instituciones académicas.</p>
 Open Academic Journals Index	<p>Open Academic Journals Index (OAJI) es una base de datos de texto completo de revistas científicas de acceso abierto. Fundador - International Network Center for Fundamental and Applied Research, Estados Unidos. La misión es desarrollar una plataforma internacional para indexar las revistas científicas de acceso abierto. El Índice Global Actual de la Revista (CGIJ) OAJI se crea teniendo en cuenta las tendencias y los desafíos mundiales actuales en el campo de la indexación de las revistas científicas. CGIJ OAJI considera las bases de datos de citas cienciométricas (WoS, Scopus), así como la base de datos básica de acceso abierto (DOAJ).</p>
	<p>ROAD es un servicio ofrecido por el Centro Internacional ISSN con el apoyo del Sector de Comunicación e Información de la UNESCO. Lanzado en diciembre de 2013, ROAD ofrece acceso gratuito a los registros bibliográficos de ISSN que describen los recursos académicos en Acceso Abierto: revistas, series monográficas, actas de congresos, repositorios académicos y blogs académicos. Estos registros, creados por la red ISSN (89 centros nacionales en todo el mundo + el Centro Internacional), se enriquecen con información extraída de bases de datos de indexación y abstracción, directorios (DOAJ, Latindex, registro de Keepers) e indicadores de revistas (Scopus).</p>
	<p>Galardón obtenido por RIAA en el año 2018 como una de las revistas colombianas con mayor visibilidad internacional</p>

REVISORES ACADÉMICOS

Volumen 15, Número 1, año 2024.

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental – RIAA, reconoce a los revisores su tiempo y esfuerzo para evaluar los trabajos que se someten a esta revista. Gracias por su destacada colaboración y sus valiosas aportaciones.

Alejandro Ruiz Marín, Universidad Autónoma del Carmen, México

Angela Patricia Moreno, Abonamos | Sobiotech, Colombia

Armstrong Fernández, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú

Ayari Pasquier, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, México

Benito Albarrán Portillo, Universidad Autónoma del Estado de México, México

Carlos Alberto Abaunza, AGROSAVIA - Corporación colombiana de investigación agropecuaria, Colombia

David Contreras Márquez, Universidad de Cundinamarca, Colombia

David Saavedra Mora, Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA, Colombia

Deisy Tolosa, AGROSAVIA - Corporación colombiana de investigación agropecuaria, Colombia

Diego Suescún Carvajal, Universidad Industrial de Santander, Colombia

Dora Edith Valencia, Universidad de Sonora, México

Edwin Castro Rincón, AGROSAVIA - Corporación colombiana de investigación agropecuaria, Colombia

Emiro Suarez Paternina, AGROSAVIA - Corporación colombiana de investigación agropecuaria, Colombia

Francia Milena Mejía, Universidad del Quindío, Colombia

Grey Cecilia Castellar, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia

Irene Gómez, El Colegio de la Frontera Sur (ECO-SUR), México

Jaime Garzón, Universidad de Maine, Estados Unidos

Jenny Olga Arrea, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú

Jorge Ávila Stagno, Universidad de Concepción, Chile

Jorge Bañuelos Gimeno, Universidad Autónoma de Madrid, España

Jose Igor Hleap, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Juan Leonardo Cardona, AGROSAVIA - Corporación colombiana de investigación agropecuaria, Colombia

Juan Valdelamar Villegas, Universidad de Cartagena, Colombia

Julio César Morales, Universidad de Guadalajara, México

Julio Díaz José, Universidad Veracruzana, México

Luis Camilo Blanco, Universidad Santo Tomás, Colombia

Luis Gabriel Quintero, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Luis Ortega, Universidad de Nariño, Colombia

Luz Deisy Marín, Universidad EAFIT, Colombia

Manuel Galvis Rueda, Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia, Colombia

María Angelica Álvarez, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia

María Eugenia de la Torre, Universidad Autónoma Metropolitana, México

Marilcen Jaime Guerrero, Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia, Colombia

Miguel Ángel Enríquez, Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Mónica L. Chávez, Universidad Autónoma de Coahuila, México

Paulino Sánchez, Universidad Autónoma de Guerrero, México

Pedro Martínez Gómez, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura – Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, España

Renzo Ramírez, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Sammy Sidney Rocha, Universidade Estadual do Piauí, Brasil

Vinicio Carrión, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

Índice

Editorial

Director Editorial – Editor in chief: Gerardo Ojeda. Coeditora - Coeditor: Margarita Bonilla

10

Área Agrícola

1. VARIACIÓN ANUAL DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS COMERCIALIZADOS EN UN MERCADO LOCAL DEL MUNICIPIO DE QUIBDO, PACÍFICO COLOMBIANO

ANNUAL VARIATION OF PHYTOGENETIC RESOURCES MARKETED IN A LOCAL MARKET IN THE MUNICIPALITY OF QUIBDO, COLOMBIAN PACIFIC

Alicia Mena Marmolejo, Eyda Annier Moreno Mosquera, Sheila Largacha Viveros

11

2. SEMILLAS DE MORINGA (*Moringa oleifera*) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA

MORINGA SEEDS (*Moringa oleifera*) AND CASSAVA STARCH (*Manihot esculenta*) FOR WATER CLARIFICATION

Iván Darío Mercado Martínez, Katerine Riaños Donado, María Carolina Meza Leones

29

3. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA DE ACCESIONES DE MORERA (*Morus spp.*) EMPLEANDO MARCADORES MICROSATÉLITES

CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF THE GENETIC VARIABILITY OF MULBERRY (*Morus spp.*) ACCESSIONS USING MICROSATELLITE MARKERS

Julián David Trochez Solarte, Iván Enrique Paz, Martha Almanza Pinzón, Ximena Ruiz Erazo

49

4. TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN EMERGENTES EN CAFÉS ESPECIALES: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

EMERGING RESEARCH TRENDS IN SPECIALTY COFFEE: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Esteban Largo Ávila, Carlos Hernán Suárez Rodríguez, Juan David Rubiano Granada

71

5. EFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS SOBRE ALGUNAS CARACTÉRISTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y FISIOLÓGICAS EN EL CRECIMIENTO DE FRUTOS DE CIRUELA VARIEDAD HORVIN

EFFECT OF CLIMATIC CONDITIONS ON SOME PHYSICOCHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PLUM FRUITS HORVIN VARIETY GROWTH

Mayerlin Orjuela Angulo, Javier Giovanni Álvarez Herrera, Jesús Hernán Camacho Tamayo

97

6. LOS MERCADOS CAMPESINOS COMO ESTRATEGIA DE SUSTENTABILIDAD EN LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA

FARMERS MARKETS AS A STRATEGY FOR SUSTAINABILITY IN THE FOOD SYSTEMS OF CUNDINAMARCA, COLOMBIA

Liza Lorena Quiján Ayala, Álvaro Acevedo Osorio

115

7. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DE GRANO DE *Theobroma cacao* L. EN RESPUESTA A PROCESOS DE BENEFICIO EN MUNICIPIOS DEL NORTE DEL HUILA, COLOMBIA

THE EVALUATION OF THE PHYSICAL AND SENSORY QUALITY OF THE *Theobroma cacao* L. BEANS IN RESPONSE TO PROCESSING IN NORTHERN HUILA MUNICIPALITIES, COLOMBIA

Leidy Machado Cuellar, Eliana Lizeth Medina, Kathryn Yadira Guzman, Claudia Mercedes Ordoñez

137

8. EVALUACIÓN POR FTIR DE EXTRACTOS DE PROPÓLEOS DE ABEJAS SIN AGUIJÓN DE BOCHALEMA – NORTE DE SANTANDER

FTIR EVALUATION OF PROPOLIS EXTRACTS FROM STINGLESS BEES FROM BOCHALEMA – NORTE DE SANTANDER

María Camila Gamboa Rodríguez, Amanda Lucía Chaparro García, Diana Alexandra Torres Sánchez

157

9. ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA EN UNA PRADERA DE KIKUYO MEDIANTE EL USO DE SENsoRES REMOTOS

ESTIMATION OF BIOMASS IN A PRAIRIE OF KIKUYU GRASS USING REMOTE SENSORS

Álvaro A. Bernal, Amanda Acero Camelo, Alex Fernando Gutiérrez

175

Área Pecuaria

10. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE FILETE Y COMPOSICIÓN DE CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*)

EVALUATION OF FILLET YIELD AND COMPOSITION OF WHITE PIRAPITINGA (*Piaractus brachypomus*)

Liliana Patricia Mancera Rodríguez

191

11. PRODUCTIVIDAD Y ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE METANO EN VACAS DE LECHE EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON PAPA (*Solanum tuberosum*)

THE PRODUCTIVITY AND METHANE EMISSION ESTIMATION IN DAIRY COWS ON PASTURE SUPPLEMENTED WITH POTATO (*Solanum tuberosum*)

Duvan Sanabria Bautista, Román Maza Ortega, Juan Leonardo Cardona Iglesias, Viviana Lucia Cuaran

211

Área Ambiental

12. BACTERIAS FILAMENTOSAS PRODUCTORAS DE ENZIMAS HIDROLÍTICAS AISLADAS DE RIZOSFERAS Y UN SISTEMA DE COMPOSTAJE

HYDROLYTIC ENZYME-PRODUCING FILAMENTOUS BACTERIA ISOLATED FROM RHIZOSPHERES AND A COMPOSTING SYSTEM

Víctor Manuel Osorio, Jessica Johanna Obando, Elizabeth Castrillón Duque, José Gregorio Martínez

229

13. RELACIÓN ENTRE MATERIAL PARTICULADO, VARIABLES METEOROLÓGICAS E INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS EN LA ZONA NORTE DE OCAÑA

RELATIONSHIP BETWEEN PARTICULATE MATERIAL, WEATHER VARIABLES, AND ACUTE RESPIRATORY INFECTIONS IN THE NORTH ZONE OF OCAÑA

Alexander Armesto Arenas, Julio Eduardo Cañón Barriga

251

14. TOXICITY OF GLYPHOSATE AND ITS DEGRADATION PRODUCTS IN AQUATIC ECOSYSTEMS: A REVIEW

TOXICIDAD DEL GLIFOSATO Y SUS PRODUCTOS DE DEGRADACIÓN EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS: UNA REVISIÓN

Evenly J. Herrera Gudiño, Mayra Alejandra Gomez Arguello, Francisco J. Molina Perez

281

15. PREDICCIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO MEDIANTE RANDOM FOREST: CASO DE ESTUDIO CUENCA RÍO GRANDE, ANTIOQUIA

PREDICTION OF SOIL EROSION BY RANDOM FOREST: CASE STUDY OF THE RIO GRANDE BASIN, ANTIOQUIA

Laura Isabel Arango Carvajal

317

CÓMO CITAR - HOW TO CITE

341

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES – GUIDE FOR AUTHORS

343



Editorial

Estimados lectores

Reciban un cordial saludo. Queremos agradecer su preferencia por la Revista de Investigación Agraria y Ambiental para la difusión de su investigación, desde las varias áreas de conocimiento que acogemos en este número.

Como desde los últimos 14 años, continuamos con nuestra política de acceso abierto, libre y gratuito de todos nuestros artículos, lo cual no podría ser posible sin el respaldo institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Compartimos que recientemente nuestro índice H ha llegado a 29, según Scholar Google, registrando un aumento de 10 puntos entre 2020 y el presente año. Agradecemos profundamente a todos nuestros lectores por el apoyo recibido.

En el presente volumen, los lectores podrán disfrutar de artículos pertenecientes a las líneas principales de investigación de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA. En el caso del área agrícola, presentamos artículos relacionados con recursos genéticos, semillas e interacciones entre medio y diferentes tipos de cultivos, así como la caracterización química de productos apícolas. En el área pecuaria, el número presenta artículos sobre rendimientos en el cultivo de Cachama y la relación entre producción de leche y gases de efecto invernadero. Finalmente, en el área ambiental presentamos artículos sobre compostaje, contaminación ambiental, erosión y toxicidad en ecosistemas acuáticos.

Esperamos que los artículos presentados aquí, representen un aporte significativo al conocimiento de las diferentes áreas del saber incluidas en la revista.

¡Saludos cordiales!

Gerardo Ojeda

Editor en jefe – Editor in chief

Margarita Bonilla

Co-editora – Co-editor



Área Agrícola

Área: agrícola

Fecha de envío: 6/9/2022

Fecha de aceptado: 19/4/2023

DOI: 10.22490/21456453.6166

VARIACIÓN ANUAL DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS COMERCIALIZADOS EN UN MERCADO LOCAL DEL MUNICIPIO DE QUIBDÓ, PACÍFICO COLOMBIANO

ANNUAL VARIATION OF PHYTOGENETIC RESOURCES MARKETED IN A LOCAL MARKET IN THE MUNICIPALITY OF QUIBDO, COLOMBIAN PACIFIC

Alicia Mena Marmolejo¹

Eyda Annier Moreno Mosquera²

Sheila Largacha Viveros³

¹Ph.D. Universidad

Tecnológica del Chocó, Facultad de Ciencias Naturales, Grupo investigación Ecología de Bosques Tropicales, Chocó, Colombia. d-aliciamena@utch.edu.co

²Ph.D. Universidad Tecnológica del Chocó, Facultad de Ciencias

Naturales, Grupo investigación Recursos Naturales y Toxicología Ambiental, Semillero en Biodiversidad, Chocó, Colombia. d-eyda.moreno@utch.edu.co

³Bióloga, Universidad Tecnológica del Chocó, Facultad de Ciencias Naturales, Semillero en Biodiversidad, Chocó, Colombia. sheila.largachav018@utch.edu.co

Citación: Marmolejo, A., Moreno, E. y Largacha, S. (2024). Variación anual de los recursos fitogenéticos comercializados en un mercado local del municipio de Quibdó, Pacífico colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 11 - 28.
<https://doi.org/10.22490/21456453.6166>

RESUMEN

Contextualización: los recursos fitogenéticos constituyen la base de la seguridad alimentaria del mundo, por ello la necesidad de ahondar en su conocimiento y proponer estrategias para su conservación.

Vacío de conocimiento: las plazas de mercado funcionan como centro de aco-gio de la diversidad biológica productiva de las regiones; no obstante, estos escenarios están centralizados y dicha diversidad tiende a erosionarse por procesos de aculturación.

Propósito: el objetivo de este estudio fue conocer la variación anual de los recursos fitogenéticos agrícolas, comercializados en una plaza de mercado del Pacífico colombiano, a fin de propender por su uso y valoración.

Metodología: durante un año cada quince días se recorrió la plaza de mercado de Quibdó, donde se reconocieron los recursos fitogenéticos agrícolas comercializados. Una vez en la plaza, se realizaron recorridos entre las 8:30 a.m. y 11:00 a.m., considerando la cantidad de puestos activos en el momento de aplicación del cues-

tionario. La determinación taxonómica de cada especie y sus datos de origen se realizó con la ayuda de bases electrónicas y consulta en línea en herbarios. Mientras que la práctica de cultivo se determinó considerando los datos reportados para el departamento del Chocó en la encuesta nacional agropecuaria-ENA.

Resultados y conclusiones: se identificaron 47 especies, 35 géneros y 29 familias, de orígenes diversos, periodicidad y tipos de cultivo; sin embargo, no todos los recursos fitogenéticos comercializados en la plaza de mercado presentan disponibilidad anual. Los meses con mayor diversidad de especies fueron diciembre ($S=39$), enero ($S=38$), febrero y marzo ($S=37$). La falta de planificación agrícola en el municipio hace que la variación de los recursos fitogenéticos amenace su persistencia, esto ocurre con especies con poca disponibilidad y desconocidas por las nuevas generaciones, siendo esta también una causa de erosión o pérdida de los recursos fitogenéticos en la región.

Palabras clave: biodiversidad, comercio local, conservación, mercado de agricultores, seguridad alimentaria

ABSTRACT

Contextualization: Plant genetic resources are the basis of food security in the world; hence, the need to deepen its knowledge and propose strategies for its conservation.

Knowledge gap: Marketplaces serve as collection centers for the productive biological diversity of the regions. However, those settings are centralized, and such diversity tends to erode due to acculturation processes.

Purpose: This study aimed to know the annual variation of plant genetic resources commercialized in a marketplace of the Colombian Pacific in order to promote their use and value.

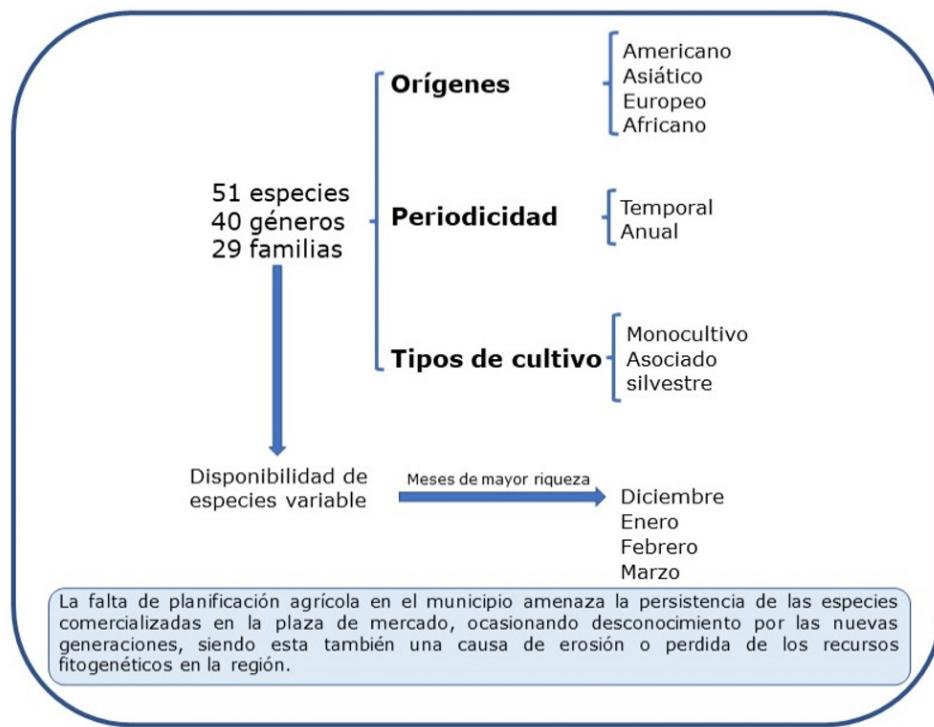
Methodology: Every two weeks, the Quibdó marketplace was visited for one year. There the plant genetic resources that were traded were recognized. Once in the marketplace, tours were carried out between 8:30 a.m. and 11:00 a.m., taking into account the number of stalls active during the questionnaire implementation. The taxonomic determination was carried

out of each species and its origin data with the help of electronic databases and online herbal consultation. In contrast, the crop practice was determined considering the reported data from the Choco Department in the national agricultural survey (ENA for its Spanish acronym).

Results and conclusions: 47 species, 35 genera, and 29 families were identified of diverse origins, periodicity, and crop types. Not all plant genetic resources traded at the marketplace are available annually. December ($S=39$), January ($S=38$), February and March ($S=37$) were the months with the highest diversity of species. The lack of agricultural planning in the municipality causes the plant genetic resources variation to thread their persistence. This occurs with species with little availability and that are unknown to new generations, which is also a cause of erosion or loss of plant genetic resources in the region.

Keywords: biodiversity, conservation, local trade, farmers market, food security

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

Los recursos fitogenéticos asociados a la seguridad alimentaria y a los procesos agrícolas comprenden esa parte de la biodiversidad potencialmente útil y su relación con las especies silvestres, las cuales se deben conservar para garantizar alimentación a la población mundial (Zuliani *et al.*, 2018).

Según la Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014), aproximadamente el

90% de las granjas en todo el mundo son de carácter familiar y se ubican en zonas rurales de países en desarrollo. Se han identificado diferentes sistemas de distribución de alimentos que permiten cubrir las necesidades de abastecimiento en términos espaciales y socioeconómicos para la población en los centros de consumo (Rebolledo y Narváez, 2015). Los mercados de agricultores, plazas de mercado y mercados móviles son espacios especializados en la comercialización de frutas y

verduras en todo el mundo (McCormack, 2010; Rebolledo y Narváez, 2015; Zuccas *et al.*, 2016); estos lugares son escenarios dinámicos para el comercio de alimentos y, en diversos países, han evolucionado hacia ventas mayoritariamente directas de remitentes a compradores finales (Bellante, 2017; Zuccas *et al.*, 2016), lo que reduce los costos y aumenta la asequibilidad y compra de productos por parte de las comunidades desatendidas (McCormack, 2010).

En Estados Unidos, el aumento de los mercados de agricultores se relaciona con la percepción de seguridad alimentaria de los consumidores (Yu *et al.*, 2017); en España, las plazas de mercado son una forma de comercialización eficaz para hacer frente a la desaparición de la agricultura familiar, contribuyendo a satisfacer la demanda por alimentos frescos y locales, además revitalizan la economía local (Mauleón, 2011); en países como Tanzania, Zambia y Zimbabue el comercio de frutas autóctona son actividades económicas importantes que se desarrollan en estos espacios (Karaan *et al.*, 2005); así mismo, en Bulgaria, Estados Unidos, Canadá y España, los mercados también se están convirtiendo en un lugar donde las personas se encuentran e interactúan al aire libre, mientras obtienen la comida necesaria (Branzova, 2018).

En América Latina, las plazas de mercado son lugares de comercialización de especies autóctonas y exóticas, según lo documentado por Rebolledo y Narváez (2015), Mostacero-León *et al.* (2019) y Chuqui-

maco (2008). Frente a la creciente globalización, que puede llevar a la pérdida de identidad cultural y la adopción de una cultura global homogénea, las plazas de mercado se convierten en centros de resistencia cultural (Bravo, 2016). Particularmente, en el municipio de Quibdó, las comunidades negras han sido afectadas por una economía extractiva que tiende a desmantelar sus formas tradicionales de producción, lo que ha resultado en una alta incidencia de pobreza monetaria en la región (Plan de Desarrollo Municipal [PDM], 2020). Esto ha dado lugar a una economía de enclave que depende en gran medida de bienes y servicios importados de otras regiones, como Antioquia, el Valle del Cauca y el Eje Cafetero (PDM, 2020).

La plaza de mercado de Quibdó no solo es un importante generador de empleo en el municipio con la tasa de desempleo más alta del país, 20,6% (Departamento Administrativo Nacional De Estadística [DANE], 2019), sino que también es un espacio donde se comercializan cultivos tradicionales, lo que genera actividad económica directa e indirecta y contribuye a la seguridad alimentaria de la población (Cuesta y Henao, 2020). Por lo tanto, la plaza de mercado juega un papel crucial en la promoción de la agricultura local y la preservación de la diversidad cultural y biológica de la región.

En general, estos sistemas de mercado son un vínculo integral entre las zonas rurales y urbanas (Yu *et al.*, 2017), a su vez constituyen un espacio con valores

ecológicos, culturales y sociales muy importantes (Gómez, 2012). Además, actúan como espacios de conservación de la diversidad genética local (Branzova, 2018), pues en ellos se comercializan especies que se consumen localmente pero no ingresan en el sistema mundial de comercio (Jarvis *et al.*, 2008). Es por ello por lo que los objetivos de esta investigación fueron describir la variación anual de los recursos fitogenéticos presentes en la plaza de

mercado de Quibdó, además de llenar vacíos de información sobre la frecuencia de estas especies, que pueda ser utilizada en futuras investigaciones que evalúen su temporalidad, y de esta forma se pueda optimizar su consumo, mediante estrategias organizativas de aprovechamiento, factores determinantes de la Seguridad Alimentaria y Nutricional de los habitantes de la región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: el estudio se llevó a cabo en la plaza de mercado de Quibdó, municipio ubicado en las coordenadas 04°00'50" y 08°41'32" de latitud norte y 77°53'38" de longitud oeste. Esta plaza es un centro importante para la comercialización de especies nativas y cultivadas, además es el principal punto de llegada y almacenamiento de la producción agrícola local (Cuesta y Henao, 2020). Este territorio forma parte del complejo ecorregional conocido como el "Chocó Biogeográfico", que se extiende desde Panamá hasta el norte de Ecuador. Al mismo tiempo, se encuentra en el corredor de conservación Chocó-Manabí, uno de los sitios más importantes en términos de biodiversidad en la región de Tumbes-Chocó-Magdalena (Myers, 2000).

La presente investigación es de carácter descriptivo, con un enfoque mixto que aborda aspectos tanto cualitativos como cuantitativos de la temática estudiada.

A continuación, se detallan los procedimientos relacionados con la recolección y análisis de los datos.

Recolección y procesamiento de la información: durante un año, se registró la presencia de los recursos fitogenéticos que se comercializan en la principal plaza de mercado de Quibdó. Se realizaron visitas dos veces al mes entre febrero de 2019 y enero de 2020 a fin de registrar todas las especies de frutos y tubérculos; se eligió esta plaza debido a su antigüedad y a la importancia que tiene en la comercialización de recursos fitogenéticos de la región; se registraron las especies ofrecidas en cada momento, y el recorrido se realizó entre las 8:30 a.m. y las 11:00 a.m., dependiendo de los puestos activos en el momento de la encuesta. Se completó un cuestionario en el que se anotó la fecha de muestreo, la localidad, el número de puesto y el número de especies presentes.

Se realizaron un total de 24 encuestas y se registraron las especies por observación, utilizando su nombre común. Los datos se ingresaron en una hoja de Excel que contenía información taxonómica (familia y especie) y el origen de cada una. La determinación taxonómica de cada especie y sus datos de origen se basaron en bases de datos especializadas como *Tropicos* (<http://www.tropicos.org>), *The International Plant Names Index* (<http://www.ipni.org>) y *The Plant List* (<http://www.theplantlist.org>). Asimismo, se consultaron en línea los herbarios CHOCÓ (Universidad Tecnológica del Chocó), COL (Universidad Nacional de Colombia), (<http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/>), *Missouri Botanical Garden* (<http://www.tropicos.org>) y *New York Botanical Garden* (<http://www.nybg.org/>). La práctica de cultivo de las especies registradas se determinó considerando los datos reportados para el departamento del Chocó en la Encuesta Nacional Agropecuaria-ENA (DANE, 2019), así como los estudios sobre sistemas agrícolas tradicionales en el Pacífico colombiano (Fajardo, 2016; Moreno, 2018).

Análisis de la información

En el análisis de la información, la presencia de los recursos fitogenéticos fue estimada anotando la existencia de este en la plaza a lo largo del año, mientras que la frecuencia se obtuvo contabilizando el número de puestos en los que se registró cada especie por unidad de muestreo. Con los datos de frecuencia relativa se graficó un diagrama de clúster con el propósito de

comparar la frecuencia entre las especies y los meses muestreados, para ello, se utilizó el análisis de similitud de Jaccard, índice que se expresa en la siguiente formula:

$$I_J = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde: a= es el número de especies presentes en la estación A; b= es el número de especies presentes en la estación B; y c= es el número de especies presentes en ambas estaciones, A y B. Esta índice expresa el grado en el que dos muestras son semejantes o el recambio de especies entre dos meses (Magurran, 1988); en el caso de este estudio, el índice se utiliza para expresar cuántas especies se comparten entre los meses analizados; el intervalo de valores del índice de Jaccard va de 0 a 1, si el índice de Jaccard es cercano a 1, se puede concluir que los meses comparados tienen una composición similar de especies de recursos fitogenéticos, mientras que si el índice es cercano a 0, los meses tienen una composición muy diferente de especies.

Adicionalmente, se aplicó una prueba de correlación de Spearman para determinar si existían correlaciones significativas (valor de $p < 0.05$) entre la frecuencia de los recursos fitogenéticos en los diferentes meses muestreados, lo que permitió identificar la especies que estaban más disponibles en ciertos meses y las que estaban menos disponibles. La fórmula es El Coeficiente de correlación de Spearman:

$$r_R = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde: n = número de puntos de datos de las dos variables; y_{di} = diferencia de rango del elemento « n »; El Coeficiente Spearman, ρ , puede tomar un valor entre +1 y -1, donde un valor de +1 en ρ significa una perfecta asociación de rango, un valor 0 en ρ significa que no hay asociación

de rangos y un valor de -1 en ρ significa una perfecta asociación negativa entre los rangos; si el valor de ρ se acerca a 0, la asociación entre los dos rangos es más débil. Todos los análisis antes descritos se realizaron con el software estadístico PAST, versión 4.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las especies registradas se agruparon en 29 familias, 35 géneros y 47 especies (Tabla 1). La familia Musaceae fue la más diversa con siete variedades, seguida por Arecaceae y Rubiaceae con tres especies; 12 familias presentaron dos especies y 14 una. Al comparar nuestros resultados con lo reportado en otras zonas, vemos que el tipo de producto ofrecido en los mercados obedece a la oferta geográfica local. Por ejemplo, en Australia, país tropical, se registraron 30 especies en mercados de agricultores y se identificaron coincidencias con la oferta de algunos productos ofrecidos en el mercado de Quibdó (O’Kane *et al.*, 2018). Igualmente, en países de Sur América como Perú, se reportan entre 85 y 125 especies de frutales nativos comercializados en plazas de mercado por día (Chuquimaco, 2008), en el que se comparten alrededor de ocho especies con este estudio. En otras localidades de Colombia, la similitud en la oferta también varió, así como en Cali se compartieron siete especies (Rebolledo y Narváez, 2015). Finalmente Cuesta y Henao (2020), realizaron una caracterización de los frutales comer-

cializados en la plaza de mercado de la ciudad de Quibdó, encontrando un total de 46 especies.

La mayoría de las especies comercializadas en el mercado tuvieron origen americano ($S=25$), seguido por asiático ($S=18$), las otras especies presentaron centros de origen africano y combinación de los anteriores con Europa. El hecho de que América y Asia fueran las regiones de origen de mayor diversidad en nuestro estudio puede deberse a una mayor adaptación de las especies a las condiciones ambientales cercanas a las de su centro de origen. Lo anterior, puede ser explicado con el intercambio colombino, que fue un subproducto de la posterior colonización europea y los esfuerzos comerciales en las Américas e implicó una transferencia bidireccional de numerosas especies entre el Viejo y el Nuevo Mundo (Gade, 2015; Jordan, 2016). En este proceso muchas de las introducciones de plantas en América tropical fueron realizadas por africanos, quienes instigaron su cultivo en las sociedades de plantación donde los establecieron (Carney y Rosomoff, 2017).

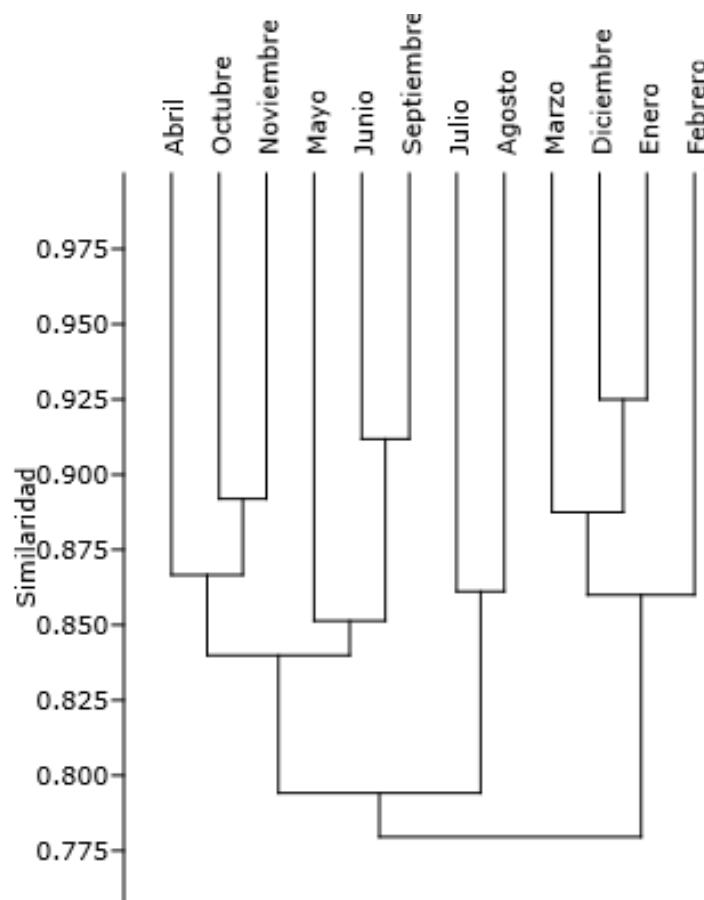
Colombia está entre los países en los que el intercambio colombino produjo cambio en el movimiento y diversidad de plantas alimenticias, ya que muchas de las especies actuales fueron introducidas por los países colonizadores (McKinney, 1999; Romão, 2000). Introducción que llegó a tal naturalización que recursos fitogenéticos como la caña de azúcar (Asia), café (África) y banano (Asia), actualmente sitúan al país entre los diez más grandes productores de alimentos del Viejo Mundo (Nunn y Qian, 2010).

El 68% de las especies presentaron una frecuencia temporal, mientras que el 32% restante fueron anuales. El 69% de los recursos fitogenéticos comercializados son cultivados asociados con otras especies y un 23% que corresponden a monocultivo; un 6% de las especies fueron exóticas; y el 2% correspondiente a una especie, fue silvestre (*Oenocarpus bataua*). Lo anterior se atribuye a que las huertas caseras son los sistemas de cultivo locales predominantes, y en estos espacios se establecen cultivos asociados de un amplio número de especies (Delaney y Roshetko, 1999; Arango *et al.*, 2018; George y Christopher, 2020). En el Pacífico colombiano, este tipo de sistemas es un importante recurso para la seguridad alimentaria de las familias (Forero y Delgado, 2017). A nivel mundial, este sistema de producción puede ser considerado como agricultura familiar, pues según la FAO (2014), es la forma de agricultura predominante en países desarrollados y en desarrollo, en la que se incluyen desde pequeños productores hasta agricultores de mediana escala, que

comprenden campesinos, pueblos indígenas, comunidades tradicionales entre otros. De acuerdo con esta organización, los productores preservan los productos alimenticios tradicionales al gestionar sistemas agrícolas diversificados, lo cual contribuye a obtener dietas equilibradas y a salvaguardar la agrobiodiversidad mundial.

Durante el transcurso del año, se evidenció una variación en la frecuencia de los recursos fitogenéticos, con una similitud del 73% entre los 12 meses evaluados. En la Figura 1 se presentan cuatro grupos con similitudes entre el 80 y 95%. Se registró la mayor similitud entre los meses de diciembre y enero con un 92%, mientras que el grupo conformado por mayo, junio y septiembre presentó el menor valor con un 85%. En cuanto a la riqueza de especies, diciembre y enero destacaron por ser los meses con mayor cantidad de recursos fitogenéticos, con 39 y 38 especies respectivamente (Tabla 1). Por el contrario, los meses de junio y septiembre presentaron la menor riqueza de recursos fitogenéticos, con 33 especies cada uno. Lo anterior, nos lleva a inferir que la escasa disponibilidad en el tiempo de algunos recursos fitogenéticos y el exorbitante aumento de sus precios por reventa pueden actuar como barreras para los consumidores, lo que puede generar una disminución en la frecuencia de compra y afectar el consumo. Adicionalmente, la poca comercialización amenaza la permanencia de este recurso genético en el espacio y el tiempo, sugiriendo su vulnerabilidad.

Figura 1. Dendrograma de similitud entre meses, de la riqueza de recursos fitogenéticos



Fuente: autores.

Tabla 1. Frecuencia anual de los recursos fitogenéticos de la plaza de mercado de Quibdó

Género	Especie	Meses											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Aloe	<i>A. vera</i>												
Anacardium	<i>A. occidentale</i>												
Ananas	<i>A. comosus</i>												

Annona	<i>A. cherimola</i>										
	<i>A. muricata</i>										
Artocarpus	<i>A. altilis</i>										
	<i>A. mariannensis</i>										
Averrhoa	<i>A. carambola</i>										
Bactris	<i>B. gasipaes</i>										
Bixa	<i>B. orellana</i>										
Borojoa	<i>B. patinoi</i>										
Capsicum	<i>Capsicum spp.</i>										
Carica	<i>C. papaya</i>										
Cespedesia	<i>C. spathulata</i>										
Citrus	<i>C. x limon</i>										
Cocos	<i>C. nucifera</i>										
Colocasia	<i>C. esculenta</i>										
Crescentia	<i>C. cujete</i>										
Cucurbita	<i>C. maxima</i>										
Curcuma	<i>C. longa</i>										
Dioscorea	<i>D. rotundata</i>										
Dioscorea	<i>D. trifida</i>										
Genipa	<i>G. americana</i>										
Inga	<i>I. edulis</i>										
Manihot	<i>M. esculenta</i>										
Manilkara	<i>M. zapota</i>										
Morinda	<i>M. citrifolia</i>										
Musa	<i>M. ABB Simmonds</i>										
	<i>Musa acuminata</i>										
	<i>Musa sp</i>										
	<i>Musa sp</i>										
	<i>Musa sp</i>										
	<i>Musa sp</i>										
	<i>M. x paradisiaca</i>										
Oenocarpus	<i>O. bataua</i>										
Passiflora	<i>P. quadrangularis</i>										
Patinoa	<i>P. almirajo</i>										

Persea	<i>P. americana</i>										
Prunus	<i>P. doméstica</i>										
Psidium	<i>P. friedrichstahli- num</i>										
	<i>P. guajava</i>										
Saccharum	<i>S. officinarum</i>										
Solanum	<i>S. sessiliflorum</i>										
Theobroma	<i>T. bicolor</i>										
Theobroma	<i>T. cacao</i>										
Zea	<i>Z. mayz</i>										
Zingiber	<i>Z. officinale</i>										

Fuente: autores.

En cuanto a las especies, el análisis de similitud a lo largo del año revela la existencia de tres grupos: el primero está compuesto por especies que fueron registradas durante todo el año (100% de similitud); el segundo grupo lo integran especies con una similitud de disponibilidad que oscila entre el 90% y el 30%; mientras que el tercer grupo está conformado por especies con baja frecuencia y que presentaron una similitud entre el 20 y 10% (Tabla 1). La literatura ha reportado la influencia de

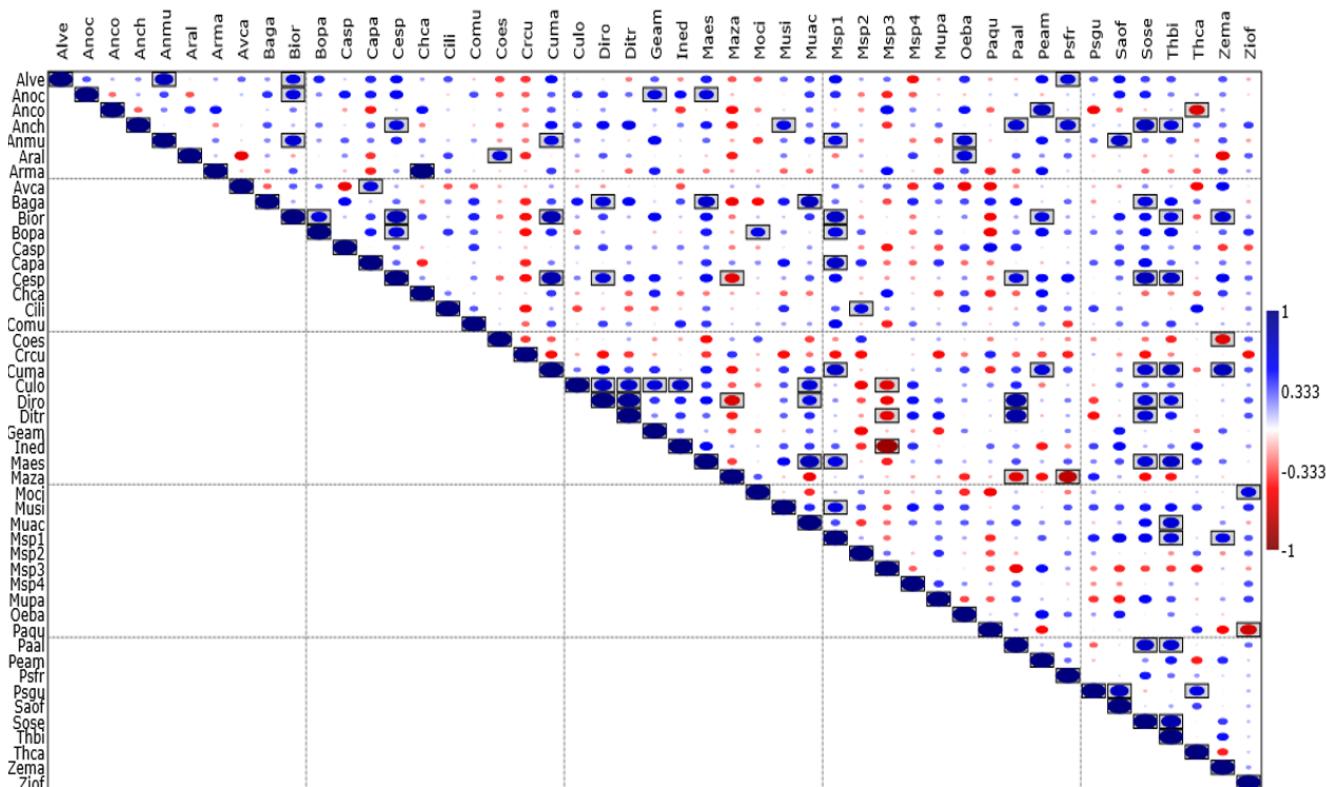
factores climáticos como la temperatura y la humedad en la producción y disponibilidad de especies vegetales (Núñez *et al.*, 2021). Por otro lado, la Figura 2 muestra que la frecuencia anual de algunas especies correlacionó positivamente, resultando que sugiere que existe una estacionalidad en su disponibilidad, que además es consistente con otros estudios que han reportado patrones estacionales en la disponibilidad de especies vegetales en los mercados locales (Mustafa *et al.*, 2019).

Gráfico inicial

Figura 2. Análisis de correlación de la frecuencia mensual de los recursos fitogenéticos registrados en la plaza de mercado

Aloe vera-Alve; Anacardium occidentale-Anoc; Ananas comosus-Anco; Annona cherimolla-Anch; Annona muricata-Anmu; Artocarpus altilis-Aral; Artocarpus mariannensis-Arma; Averrhoa carambola-Avca; Bactris gasipaes-Baga; Bixa orellana-Bior; Borojoa patinoi-Bopa; Capsicum spp.-Casp; Carica papaya-Capa; Cespedesia spathulata-Cesp; Citrus x limon-Cili; Cocos nucifera-Conu; Colocasia esculenta-Coes; Crescentia cujete-Crcu; Cucurbita máxi-ma-Cuma; Curcuma longa-Culo; Dioscorea rotundata-Diro; Dioscorea trifida-Ditr; Genipa americana-Geam; Inga edulis-Ined; Manihot esculenta-Maes; Manilkara zapota-Maza; Mo-

rinda citrifolia-Moci; *Musa ABB simmonds*-Musi; *Musa acuminata*-Muac; *Musa sp1*-Musp1; *Musa sp2*-Musp2; *Musa sp3*-Musp3; *Musa sp4*-Musp4; *Musa x paradisiaca*-Mupa; *Oenocarpus bataua*-Oeba; *Passiflora quadrangularis*-Paqu; *Patinoia almirajo*-Paal; *Persea americana*-Peam; *Prunus doméstica*-Prdo; *Psidium friedrichstahlianum*-Psfr; *Psidium guajava*-Psgu; *Saccharum officinarum*-Saof; *Solanum sessiliflorum*-Sose; *Theobroma bicolor* -Thbi; *Theobroma cacao*-Thca; *Zea mayz*-Zema; *Zingiber officinale*-Ziof.



Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

Los hallazgos de este estudio muestran que la plaza de mercado del municipio de Quibdó es un espacio de comercialización de una amplia diversidad de recursos fitogenéticos, que en su mayoría presentan una periodicidad relativamente constante a lo largo del año. Se encontró que el origen de estos recursos es prin-

cipalmente americano y que la mayoría de las especies presentan una disponibilidad temporal. También se identificó que gran parte de las especies se establecieron en cultivos asociados, lo que refleja la necesidad de aumentar la vocación agrícola en el departamento para incrementar su productividad.

La escasa disponibilidad en el tiempo de algunos recursos fitogenéticos y el alto costo por reventa, pueden actuar como barreras para su consumo regular y amenazar su permanencia en el espacio y tiempo. Este es el primer estudio en el que se evalúa la variación anual de los recursos

fitogenéticos en el Pacífico colombiano y se espera que los resultados obtenidos puedan ser utilizados en futuras investigaciones que evalúen su temporalidad y, de esta forma, optimizar su consumo a través de estrategias organizativas de aprovechamiento.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Alicia Mena Marmolejo: metodología, investigación, conceptualización, escritura, borrador original. **Eyda A. Moreno-Mosquera:** investigación, conceptualización,

análisis de datos, escritura, revisión y edición. **Sheila Largacha Viveros:** logística, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A los vendedores de la plaza de mercado, por su apoyo durante las visitas técnicas realizadas y en general por su colaboración en el desarrollo del estudio.

LITERATURA CITADA

Arango, L. B., Caetano, C. M. y Andrade, D. M. (2018). Estudio los huertos caseros tradicionales en el San Juan, Chocó, Colombia, una alternativa para mejorar la situación de seguridad alimentaria local. *Cuadernos de Agroecología*, 13(1). <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/621>

Bellante, L. (2017). Building the local food movement in Chiapas, Mexico: rationales, benefits, and limitations. *Agri-*

culture and human values, 34(1), 119-134. <https://doi.org/10.1007/s10460-016-9700-9>

Branzova, P. (2018). Development of the farmers' markets in Bulgaria Petia Branzova. In *Proceedings of the International scientific and practical conference "Bulgaria of regions"*, 1, 224-230. <http://science.uard.bg/index.php/regions/article/view/460>

- Bravo, R. Á. (2016). Galerías y plazas de mercado como espacio de conservación cultural y producción audiovisual. *Nexus comunicación*, 20, 246-267. <https://doi.org/10.25100/nc.v0i20.1843>
- Carney, J. A. & Rosomoff, R. N. (2017). African crops in the environmental history of new world plantation societies. In *Environmental History in the Making* (pp. 173-188). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41139-2_10
- Chuquimaco, I. H. (2008). Frutales nativos silvestres consumidos en los mercados locales y zonas rurales de la Amazonía peruana (Departamentos de Cusco, Loreto y Madre de dios). *Revista Q'EUÑA*, 1(2), 026-031.
- Cuesta, M.Y. y Henao, C. A. 2020. *Caracterización de los frutos comercializados en la plaza de mercado de la ciudad de Quibdó (Choco-Colombia)* [Proyecto de grado de pregrado, Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba].
- Delaney, M. & Roshetko, J. (1999). Field test of carbon monitoring methods for homegardens in Indonesia. *Field tests of carbon monitoring methods in forestry projects* (pp. 45-51). Winrock International, Arlington, VA.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. [DANE]. (2019). *Encuesta nacional agropecuaria-ENA*. Autor. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019.pdf.
- Fajardo, G. C. E. (2016). *Aproximación al manejo y uso de la biodiversidad en agroecosistemas del territorio colectivo del consejo comunitario El Cedro (Chocó, Colombia). Un estudio de caso desde el enfoque agroecológico*. [Tesis de maestría para optar al título de Magíster en Conservación y Uso de la Biodiversidad, Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/17949>
- Forero, L. A. y Delgado, J. R. M. (2017). Medios de vida y huertos familiares en la comunidad negra de la cuenca baja del río Calima, Colombia. *Revista Agroforestería Neotropical*, 1(7), 63-71. <https://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/1344>
- Gade, D. W. (2015). Particularizing the Columbian exchange: Old World biota to Peru. *Journal of Historical Geography*, 48, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2015.01.001>
- George, M. V. & Christopher, G. (2020). Structure, diversity, and utilization of plant species in tribal homegardens of Kerala, India. *Agroforestry Systems*, 94(1), 297-307. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00393-5>
- Gómez, J. R. M. (2012). Mercados de agricultores en España: diagnóstico y propuesta de actuación. *Ager: Revista de estudios sobre despoblación y desarrollo rural= Journal of depopulation and rural development studies*, 13, 53-84.
- Jarvis, A., Upadhyaya, H. D., Gowda, C. L. L., Agrawal, P. K., Fujisaka, S. & Anderson, B. (2008). *Climate change and*

its effect on conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture and associated biodiversity for food security. [Monograph]. Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. <http://oar.icrisat.org/5810/>

Jordan, I. K. (2016). The Columbian Exchange as a source of adaptive introgression in human populations. *Biology direct*, 11(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s13062-016-0121-x>

Karaan, M., Ham, C., Akinnifesi, F., Moombe, K., Jordaan, D., Franzel, S. & Aithal, A. (2005). *Baseline marketing surveys and supply chain studies for indigenous fruit markets in Tanzania, Zimbabwe, and Zambia*. World Agroforestry Centre and CPWild Research Alliance.

Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>

Mauleón, J. R. M. (2011). Mercados de agricultores en España: diagnóstico y propuesta de actuación. *Ager: Revista de estudios sobre despoblación y desarrollo rural= Journal of depopulation and rural development studies*, 13, 53-84.

McCormack, L. A., Laska, M. N., Larson, N. I. & Story, M. (2010). Review of the nutritional implications of farmers' markets and community gardens: a call for evaluation and research efforts. *Journal of the American Dietetic Association*, 110(3), 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.11.023>

McKinney, S. (1999). *Bligh! The whole story of the mutiny aboard HMS Bounty*. TouchWood Editions.

Moreno, O. L. D. (2018). *Prácticas agrícolas tradicionales y conservación de la agrobiodiversidad en los sistemas productivos del corregimiento de Panguí, municipio de Nuquí-Chocó, Colombia*. [Trabajo de grado para optar por el título de Biólogo y Ecólogo, Universidad Javeriana]. <https://core.ac.uk/download/pdf/162568922.pdf>

Mostacero-León, J., Peláez-Peláez, F., Alarcón-Rojas, N., De la Cruz-Castillo, A., Alva-Calderón, R. y Charcape-Ravelo, M. (2019). Plantas utilizadas para el tratamiento del cáncer expedidas en los principales mercados de la provincia de Trujillo, Perú, 2016-2017. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 18, 81-94. <https://doi.org/10.35588/blacpm.19.18.1.07>

Mustafa, M. A., Mayes, S. & Massawe, F. (2019). Crop diversification through a wider use of underutilised crops: a strategy to ensure food and nutrition security in the face of climate change. In Sakar, A., Sensarma, S., vanLoon, G. (eds). *Sustainable solutions for food security: combating climate change by adaptation* (pp. 125-149). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77878-5_7

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. & Ken, D.A.J. (2000). *Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities*. Na-

- ture, 403(24), 853-859. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Núñez, R. J. D. J., Carvajal, R. J. C. y Ramírez, N. L. L. (2021). Influencia de las variaciones climáticas en la producción de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 7(13), 1499–1517. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i13.11269>
- Nunn, N. & Qian, N. (2010). The Columbian exchange: A history of disease, food, and ideas. *Journal of Economic Perspectives*, 24(2), 163-88. <https://doi.org/10.1257/jep.24.2.163>
- O’Kane, G. M., Richardson, A., D’Almeida, M. & Wei, H. (2018). The cost, availability, cultivars, and quality of fruit and vegetables at farmers’ markets and three other retail streams in Canberra, ACT, Australia. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 14(5), 1-19. <https://doi.org/10.1080/19320248.2018.1465003>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO]. (2014). *Hacia una agricultura familiar más fuerte. Voces en el Año Internacional de la Agricultura Familiar*. Autor. <https://www.fao.org/3/i4171s/i4171s.pdf>
- Plan de Desarrollo Municipal. (2020). *Plan de desarrollo del municipio de Quibdó 2020-2023 “Lo estamos haciendo posible”*. <https://www.quibdo-choco.gov.co/Ciudadanos/Documento%20%20cons-truccin%20Plan%20de%20desarrollo/>
- [Borrador%20Plan%20de%20Desarro-](#)
[llo%20Municipal%20Quibdo%20V2.](#)
[pdf](#)
- Rebolledo, J. E. y Narváez, W. A. (2015). Bases para una caracterización empresarial de la cadena de distribución de frutas y verduras en la ciudad de Cali. *Magazín Empresarial*, 11(28), 45-52.
- Romão, R. L. (2000). Northeast Brazil: A secondary center of diversity for watermelon (*Citrullus lanatus*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 47(2), 207-213. <https://doi.org/10.1023/A:1008723706557>
- Yu, H., Gibson, K. E., Wright, K. G., Neal, J. A. & Sirsat, S. A. (2017). Food safety and food quality perceptions of farmers’ market consumers in the United States. *Food Control*, 79, 266-271. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.010>
- Zuccas, M. L. P., Calil, R. M. & Calil, E. M. B. (2016). Comparação entre feiras livres em Londres y em São Paulo. *Atas de Saúde Ambiental-ASA*, 4(1), 120-130. <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ASA/article/view/1480>
- Zuliani, P., Defacio, R., Lavalle, A. y Bramardi, S. (2018). Comparación de técnicas de análisis multivariado mediante simulación para caracterización de recursos fitogenéticos en función de caracteres susceptibles a interacción genotipo-ambiente. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 17(1), 75-86. <https://doi.org/10.14409/fa.v17i1.7651>



Conflictos de intereses

*Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses.*



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 23-10-2022

Fecha de aceptado: 25-04-2023

DOI: 10.22490/21456453.6334

SEMILLAS DE MORINGA (*Moringa oleifera*) Y ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*) PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA

MORINGA SEEDS (*Moringa oleifera*) AND CASSAVA STARCH (*Manihot esculenta*) FOR WATER CLARIFICATION

Iván Darío Mercado Martínez¹

Katerine Riaños Donado²

María Carolina Meza Leones³

¹ Mtr. Ingeniería Ambiental, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.
ivanmercado@mail.uniatlantico.edu.co

² Ing. Agroindustrial, Corp. Autónoma Regional del Atlántico-C.R.A., Barranquilla, Colombia.
krianos@crautonoma.gov.co

³ Ing. Agroindustrial, Harinera de la Costa, Soledad, Atlántico, Colombia.
laboratorio.ihc@organizacionsolarte.com

Citación: Mercado, I., Riaños, K. y Meza, C. (2024). Semillas de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) para la clarificación del agua. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 29-48. <https://doi.org/10.22490/21456453.6334>

RESUMEN

Contextualización: el uso de coagulantes naturales para la clarificación del agua se investiga mundialmente debido a sus bajos costos, alta biodegradabilidad y capacidad de sustituir a los coagulantes sintéticos altamente tóxicos.

Vacío de conocimiento: el agua de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia se utiliza para labores de limpieza, consumo y preparación de alimentos por los pobladores de la zona. Sin embargo, no cumple con la calidad del agua para consumo en relación al parámetro turbidez, definida por la Resolución 2115 de 2007; por tal motivo, es importante analizar la sinergia que se genera al emplear la combinación coagulante de semillas de moringa y almidón de yuca, en la búsqueda por mejorar sus condiciones. Es importante destacar que se presentan escasos reportes en la literatura sobre el uso simultáneo de estos coagulantes.

Propósito: la presente investigación tiene como objetivo evaluar la clarificación del agua de la Ciénaga Grande empleando mezclas de coagulantes naturales, conformadas por semillas de moringa y almidón de yuca para reducir su turbidez.

Metodología: las combinaciones de coagulantes, semillas de moringa y almidón

de yuca, se mezclaron con una relación 90:10, 80:20, 70:30 y 60:40, respectivamente. Se evaluó la turbidez y el pH al agua de la Ciénaga Grande; además, se simuló su clarificación según la NTC 3903 de 2010 con cada tratamiento; se inició con una agitación a 120 rpm por un tiempo de 1 min, después se realizó por 20 min una agitación a 30 rpm y finalmente, durante 15 min, se dejó sedimentar; después, de cada jarra se extrajo una muestra y se midió la turbidez final; se llevó a cabo un diseño factorial para cada combinación coagulante, con 6 niveles de dosis (mg/L) y una variable respuesta, turbidez final del agua (UNT), utilizando una confiabilidad del 95% se realizó un análisis de varianza ANOVA y el test de Duncan.

Resultados y conclusiones: el tratamiento con mayor remoción de turbidez fue 4 UNT que tiene una relación 60:40 de semillas moringa y almidón de yuca; además, disminuyó este parámetro en 80.4%. Las dosis empleadas en los tratamientos 1, 2 y 3 influyeron sobre la turbidez final del agua. Se concluyó que una turbidez inicial alta aumenta la acción coagulante de la mezcla natural, provocando una mayor remoción de este parámetro.

Palabras clave: coagulación, floculación, remoción, sedimentación, turbidez

ABSTRACT

Context: The use of natural coagulants for water clarification is being globally researched due to their low cost, high biodegradability, and ability to replace highly toxic synthetic coagulants.

Knowledge gap: The water of the Ciénaga Grande (Great Swamp in English) in Atlántico Department, Colombia, is used for cleaning, consumption, and food preparation by the inhabitants of the area. However, it does not comply with water quality for human consumption, as defined by the Resolution 2115 of 2007 regarding the turbidity parameter. For this reason, it is important to analyze the synergy generated by using the coagulant combination of moringa seeds and cassava starch in the search to improve its conditions. It is important to note that there are few reports in the literature on the simultaneous use of these coagulants.

Purpose: This research aims to evaluate the clarification of the water from Ciénaga Grande using mixtures of natural coagulants composed of moringa seeds and cassava starch to reduce its turbidity.

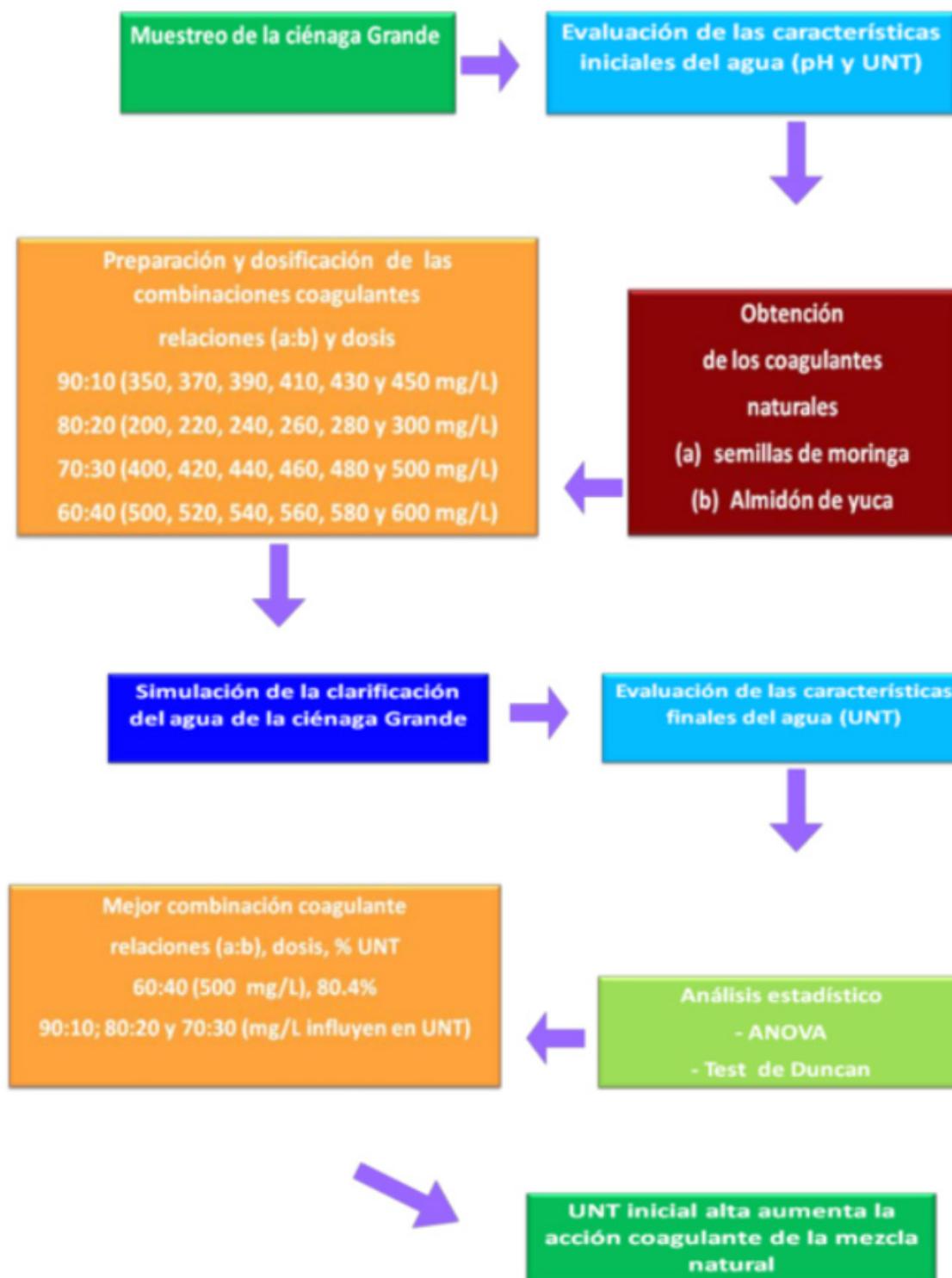
Methodology: The combinations of coagulants, moringa seeds, and cassava starch, were mixed with a ratio of 90:10, 80:20, 70:30, and 60:40, respectively. The turbidity and pH of Ciénaga Grande wa-

ter were evaluated. In addition, clarification was simulated in accordance with the regulation NTC 3903 of 2010 with each treatment. It began with agitation at 120rpm for 1 min., then an agitation at 30rpm was carried out for 20 min., and, finally, it was left to sediment for 15 min. Then, a sample was extracted from each jar, and the final turbidity was measured. A factorial design was carried out for each coagulant combination, with six dose levels (mg/L) and one response variable, the final water turbidity (nephelometric turbidity unit, NTU). The analysis of variance ANOVA and Duncan's multiple range test were carried out using 95% reliability.

Results and conclusions: The treatment with the highest turbidity removal (NTU) was treatment 4, which has a 60:40 ratio of moringa seeds and cassava starch. Additionally, the turbidity parameter decreased by 80.4%. The doses used in treatments 1, 2, and 3 influenced the final turbidity of the water. It was concluded that high initial turbidity increases the coagulating activity of the natural mixture, causing a higher removal of such a parameter.

Keywords: Coagulation, flocculation, removal, sedimentation, turbidity

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

Coagulación, floculación y sedimentación son los tres procesos que conforman la etapa de clarificación en el tratamiento de agua potable. La coagulación es el proceso donde es adicionada una sustancia sintética o natural, que se mezcla rápidamente para ocasionar la desestabilización de las partículas presentes en el agua, que generalmente son de carga negativa y responsables del color y la turbidez. En la floculación las partículas desestabilizadas se unen mediante las fuerzas de Van der Waal o enlaces de hidrógenos, formando flóculos más grandes que sedimentan fácilmente (Brandt *et al.*, 2017).

Las sustancias utilizadas como coagulantes en la clarificación pueden ser de tres tipos: minerales, polímeros sintéticos y naturales. No obstante, los coagulantes minerales como el sulfato de aluminio son altamente contaminantes (Momeni *et al.*, 2018). Esta sustancia provoca graves problemas en la salud humana, produce el deterioro celular que depende de la producción de radicales libres, conocido como estrés oxidativo. Asimismo, la exposición a este metal produce esclerosis lateral amiotrófica, Alzheimer y Parkinson (Cicero *et al.*, 2017). Un estudio realizado en Brasil durante el año 2018 demostró que en peces como el Lambari (*Astyanax altiparanae*), esta sustancia química es responsable de los daños presentados en la

estructura del ADN y alteraciones del ciclo celular (Pinheiro *et al.*, 2019). Por su parte, los polímeros sintéticos suelen ser tóxicos y provocar cáncer en diferentes partes del cuerpo humano (Momeni *et al.*, 2018).

Los coagulantes sintéticos han sido ampliamente utilizados debido a su efectiva actividad de coagulación-floculación; sin embargo, se está restringiendo su uso porque poseen monómeros cancerígenos. Por tal motivo, actualmente se están utilizando coagulantes naturales con poca toxicidad, bajo costo y biodegradables (Mounir *et al.*, 2014; Ang y Mohammad, 2020). Entre los más usados se destacan, el árbol de *Moringa oleifera*, diversas especies de cactus como *Opuntia*, almidones de arroz, papa y yuca, quitosano, quitina y algas pardas (Mounir *et al.*, 2014; Choy *et al.*, 2018).

Las semillas de *Moringa oleifera* se han estudiado debido a sus propiedades de coagulación-floculación. Este coagulante natural es capaz de remover en aguas con baja y alta turbidez este parámetro eficientemente. De igual forma, contribuye a la eliminación de cianobacterias presentes en el agua, se demostró que la *Moringa oleifera* al mezclarse con un coagulante químico potencializa su efecto, disminuyendo considerablemente la turbidez. En el año 2017, en la industria cementera de

Brasil se analizaron las aguas residuales de la producción de hormigón; con una turbidez inicial de 84.5 UNT se usó una dosis de 1850 mg/L de la mezcla coagulante, semillas de *Moringa oleifera* y sulfato de aluminio, en una proporción 20:80, para obtener una remoción del 99.9% de la turbidez (de Paula *et al.*, 2018).

En la India durante el año 2014 fueron usados tres coagulantes naturales: semillas de *Moringa oleifera*, *Strychnos potatorum* (Nirmali) y *Phaseolus vulgaris* (frijol común), con el propósito de clarificar aguas sintéticas con valores de 100, 250 y 500 UNT. Se obtuvo como resultado que a mayor turbidez inicial mayor porcentaje de remoción de este parámetro. Para una muestra de agua con 500 UNT y una dosis de 250 mg/L, las semillas de *Moringa oleifera* logran una remoción del 96.7%; mientras que *Strychnos potatorum* (Nirmali) un 86.5% y finalmente *Phaseolus vulgaris* un 80.5%. Por lo tanto, las semillas de *Moringa oleifera* poseen mejores propiedades de coagulación para clarificar aguas turbias sintéticas (Muthuraman y Sasikala, 2014). Teniendo como referencia los resultados obtenidos de las investigaciones de Paula *et al.* (2018) y Muthuraman y Sasikala (2014), se decidió utilizar las semillas de moringa en el presente estudio.

También es importante mencionar que por sus características de coagulación-flocculación se han estudiado distintas fuentes de almidón, además se identificó que no es tóxico, ni corrosivo y es biodegradable. Los almidones nativos y modificados son usados como coagulantes primarios

o ayudantes de coagulación en los tratamientos de aguas residuales (Teh *et al.*, 2014; Mohd-Salleh *et al.*, 2019). En el departamento de Bolívar-Colombia, durante el año 2017, a fin de remover la turbidez del agua del Canal del Dique ubicado en Arjona, se realizó una investigación que determinó la capacidad coagulante de dos sustancias naturales, almidón nativo de plátano del clon topocho pelipita (*Musa ABB*) y almidón modificado químicamente con anhídrido acético. Con una dosis de 200 mg/L el almidón nativo alcanza una remoción de turbidez del 96%, mientras que el almidón modificado remueve un 95% (Tirado *et al.*, 2017). Los anteriores resultados demuestran la efectividad de los almidones sin modificar, como parte fundamental de un proceso “verde” que disminuya el uso de sustancias químicas para la clarificación del agua.

Además, en el año 2019 se realizó un estudio para evaluar el comportamiento del coagulante conformado por mucílago de nopal y almidón de yuca en la remoción de turbidez del agua del río Magdalena en la ciudad de Girardot, Colombia. Se obtuvieron mejores resultados al utilizar la mezcla coagulante que al usar las sustancias naturales individualmente (Lugo-Arias *et al.*, 2020). Lo anterior invita a investigar otras combinaciones.

A pesar de las condiciones rurales de los territorios a nivel mundial, nacional y local, las del cambio climático que ha alterado el ciclo biológico de las abejas (Olivero *et al.*, 2020), de otros animales y plantas que contribuyen al bienestar de

los recursos naturales, lograr el acceso al agua limpia como uno de los objetivos del desarrollo sostenible es actualmente complejo, pero necesario; por tal razón, al ser la turbidez uno de los parámetros que contribuyen a la buena calidad del agua, cobra importancia su monitoreo. El agua de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia se utiliza en labores de limpieza, consumo y preparación de alimentos por los pobladores de la zona. A pesar de ello, no cumple con la calidad del agua para consumo humano, definida en este país suramericano

por la Resolución 2115 (2007) en relación con el parámetro turbidez. Por tal motivo, es importante analizar la sinergia que se genera al emplear la combinación de coagulantes, semillas de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*), en la búsqueda por mejorar las condiciones de estas aguas. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la clarificación del agua de la Ciénaga Grande empleando diferentes mezclas de los coagulantes naturales anteriormente mencionados para reducir su turbidez.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención de coagulantes y preparación de dosis

En lo relacionado con el coagulante natural elaborado de moringa, se recolectaron 700 vainas de este árbol con el propósito de extraer las semillas de su interior que se presentan en la Figura 1, luego se trituraron y molieron en una licuadora de alto impacto (modelo LI-5A, marca IN-MEZA). El polvo resultante se hizo pasar a través de un tamiz Tyler, con abertura de 1.0 mm para obtener una harina fina que se desengrasó con el método Soxhlet, donde se utilizó el n-hexano como disolvente por un tiempo de 24 horas. Luego, el polvo se secó a 105 °C durante 30 min en una mufla (modelo F48055-60, marca THERMO SCIENTIFIC), finalmente se

empacó y almacenó. En lo que respecta al coagulante natural elaborado a partir del almidón de yuca, esta materia prima se utilizó tal como se recibió y se obtuvo cuando una microempresa productora de bollos de yuca, la descartó como basura dentro de su proceso productivo. Las combinaciones de coagulantes se prepararon en soluciones, empleando 100 mL de agua destilada y 5 g de semillas de moringa y almidón de yuca en las siguientes relaciones y rangos de dosis, 90:10 (350-450 mg/L), 80:20 (200-300 mg/L), 70:30 (400-500 mg/L) y 60:40 (500-600 mg/L), respectivamente. Es importante destacar que mediante ensayos previos se definieron los rangos de dosis usados en el presente estudio para cada uno de los cuatro tratamientos.



Figura 1. Fotografía que presenta las semillas extraídas de las vainas del árbol de moringa. Fuente: autores.

2.2 Muestreo del humedal y prueba de jarras

Durante un periodo de invierno se recolectaron en diez tanques de plástico con una capacidad de 20 L cada uno, aproximadamente 180 L de agua cruda proveniente de las orillas de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia (coordenadas 10°51'19" N y 74°45'23" O), que se transportaron hacia las instalaciones del laboratorio de biotecnología de microalgas de la Universidad del Atlántico. Este cuerpo hídrico se presenta en la Figura 2. Posteriormente, al agua recolectada de cuatro muestreos se determinó el pH empleando el equipo modelo ST2100, marca OHAUS; adicionalmente, para determinar la turbidez se

empleó un turbidímetro (modelo TB 300 IR, marca Lovibond). Luego, se clarificaron estas aguas según la norma técnica colombiana NTC 3903 que presenta el protocolo establecido para realizar el ensayo a nivel laboratorio (ICONTEC, 2010), con cada uno de los cuatro tratamientos de las combinaciones coagulantes, semillas de moringa y almidón de yuca (90:10, 80:20, 70:30 y 60:40, respectivamente). Cada jarra del equipo de floculación-coagulación (modelo FC6S, marca VELP) se llenó con 1 L de agua de la Ciénaga antes de adicionar la mezcla coagulante. Se inició con una agitación a 120 rpm por un tiempo de 1 min, después se realizó por 20 min una agitación a 30 rpm y finalmente, durante 15 min, se dejó decantar. Después de cada jarra se extrajo una muestra y se midió la turbidez final.



Figura 2. Fotografía que presenta las aguas de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia. Fuente: autores.

2.3 Diseño estadístico y su análisis

Se llevó a cabo un diseño factorial para cada una de las cuatro combinaciones de coagulantes, semillas de moringa y almidón de yuca, con 6 niveles de dosis de la siguiente manera: para la mezcla 90:10 (350, 370, 390, 410, 430 y 450 mg/L) -ensayo 12-; para 80:20 (200, 220, 240, 260, 280 y 300 mg/L) -ensayo 11-; para 70:30 (400, 420, 440, 460, 480 y 500 mg/L) -ensayo 10-; finalmente para 60:40 (500, 520, 540, 560, 580 y 600 mg/L) -ensayo 9-. Además, se analizó una variable respuesta, turbidez final del agua (UNT). Se reali-

zó la clarificación del agua de la Ciénaga Grande para todos los tratamientos tres veces, buscando garantizar la reproducibilidad de los datos. Luego de tabular la información del presente estudio de tipo experimental, fue empleado el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.II, versión gratis en línea, con el fin de comprender la influencia que tienen las dosis de cada combinación de coagulantes sobre la turbidez del agua objeto de estudio. Por tal motivo, utilizando una confiabilidad del 95% se realizó un análisis de varianza ANOVA y el test de Duncan. Finalmente se obtuvieron los porcentajes de remoción de este parámetro.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se dan a conocer las características iniciales de pH y turbidez del agua de la Ciénaga Grande que se presentaron en este estudio antes de su clarificación. Muestreo 1 (7.25 unidades de pH y 44.8 UNT) utilizado para el ensayo 12; muestreo 2 (7.22 unidades de pH y 81.0 UNT) datos usados para el estudio del ensayo 11; muestreo 3 (7.25 unidades de pH y 82.0 UNT) empleado para el ensayo 10; finalmente, muestreo 4 (7.32 unidades de pH y 113.0 UNT) datos útiles para el análisis del ensayo 9.

La Figura 3 muestra los valores de turbidez finales obtenidos con cada uno de los cuatro tratamientos de las combinaciones coagulantes, semillas de moringa y almidón de yuca (ensayo 12→90:10, ensayo 11→80:20, ensayo 10→70:30 y ensayo 9→60:40, respectivamente) para cada dosis empleadas. Para la mezcla 90:10 (350, 370, 390, 410, 430 y 450 mg/L); para 80:20 (200, 220, 240, 260, 280 y 300 mg/L); para 70:30 (400, 420, 440, 460, 480 y 500 mg/L); finalmente para 60:40 (500, 520, 540, 560, 580 y 600 mg/L).

Es importante señalar que el agua de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia, cumple con el valor de pH exigido por Resolución 2115 (2007), cuya normativa muestra las características de calidad del agua para consumo humano, pese a lo cual no presenta la turbidez máxima para tal fin (2 UNT). Por tal motivo, la importancia de su clarificación mediante este estudio. Utilizando una confiabilidad del 95%, el análisis de varianza ANOVA [Tabla 1] da a conocer que el factor, dosis de las combinaciones de coagulantes, semillas de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*), en el tratamiento 1 (ensayo 12→90:10, valor-P=0.0479), tratamiento 2 (ensayo 11→80:20, valor-P=0.0089) y tratamiento 3 (ensayo 10→70:30, valor-P=0.0024) presenta la existencia de diferencias significativas en el análisis de la turbidez final del agua de la Ciénaga Grande. Con todo, en el tratamiento 4 (ensayo 9→60:40, valor-P=0.8049) no se observa esta situación.

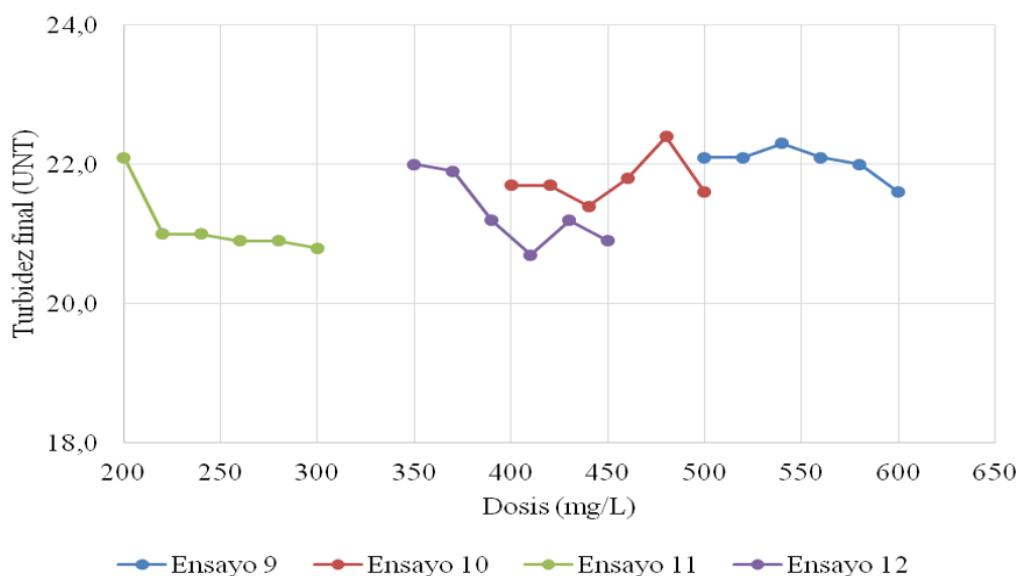


Figura 3. Gráfico que representa el comportamiento de la turbidez final del agua de la Ciénaga Grande después de su clarificación a diferentes condiciones de ensayo y dosis de la combinación coagulante, semillas de moringa y almidón de yuca. Fuente: autores.

Tabla 1. Análisis de varianza ANOVA de los ensayos 9, 10, 11 y 12

Ensayo 9 Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-P
Entre grupos	0.8177	5	0.1635	0.45	0.8049
Intra grupos	4.3533	12	0.3627		
Total corregido	5.1711	17			
Ensayo 10 Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-P
Entre grupos	1.7827	5	0.3565	7.29	0.0024*
Intra grupos	0.5866	12	0.0488		
Total corregido	2.3694	17			
Ensayo 11 Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Valor-P
Entre grupos	3.6627	5	0.7325	5.23	0.0089*

Intra grupos	1.6800	12	0.1400		
Total corregido	5.3427	17			
Ensayo 12	Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F
Entre grupos		4.0561	5	0.8112	2.95
Intra grupos		3.3000	12	0.2750	
Total corregido		7.3561	17		

Nota: * indica la existencia de diferencias significativas.

Fuente: autores.

El test de Duncan [tablas 2 y 3] muestra los contrastes de las dosis de las mezclas de sustancias naturales, semillas de moringa y almidón de yuca, que presentan diferencias significativas.

Tabla 2. Test de Duncan de los ensayos 9, 10 y 11.

Ensayo 9 Nivel	Casos	Media	Contraste	Sig.	Diferencia
600	3	21.6667	500 – 520		-0.0333
580	3	22.0000	500 – 540		-0.2333
560	3	22.1333	500 – 560		0
<u>500</u>	3	<u>22.1333</u>	500 – 580		0.1333
520	3	22.1667	500 – 600		0.4666
540	3	22.3667	520 – 540		-0.2000
			520 – 560		0.0333
			520 – 580		0.1666
			520 – 600		0.5000
			540 – 560		0.2333
			540 – 580		0.3666
			540 – 600		0.7000
			560 – 580		0.1333
			560 – 600		0.4666
			580 – 600		0.3333

Ensayo 10		Casos	Media	Contraste	Sig.	Diferencia
Nivel						
440	3	21.4000	400 – 420			0.0333
500	3	21.6333	400 – 440			0.3666
420	3	21.7333	400 – 460			-0.0333
<u>400</u>	3	<u>21.7667</u>	400 – 480	*		-0.6666
460	3	21.8000	400 – 500			0.1333
480	3	22.4333	420 – 440			0.3333
			420 – 460			-0.0666
			420 – 480	*		-0.7000
			420 – 500			0.1000
			440 – 460			-0.4000
			440 – 480	*		-1.0333
			440 – 500			-0.2333
			460 – 480	*		-0.6333
			460 – 500			0.1666
			480 – 500	*		0.8000
Ensayo 11						
Nivel	Casos	Media	Contraste	Sig.	Diferencia	
300	3	20.8333	200 – 220	*		1.0666
280	3	20.9000	200 – 240	*		1.1333
260	3	20.9000	200 – 260	*		1.2333
240	3	21.0000	200 – 280	*		1.2333
<u>220</u>	3	<u>21.0667</u>	200 – 300	*		1.3000
200	3	22.1333	220 – 240			0.0666
			220 – 260			0.1666
			220 – 280			0.1666
			220 – 300			0.2333
			240 – 260			0.1000
			240 – 280			0.1000
			240 – 300			0.1666
			260 – 280			0
			260 – 300			0.0666
			280 – 300			0.0666

Nota: * indica la existencia de diferencias significativas.

Fuente: autores.

Tabla 3. Test de Duncan del ensayo 12.

Ensayo 12						
Nivel	Casos	Media	Contraste	Sig.	Diferencia	
410	3	20.7667	350 – 370		0.0666	
450	3	20.9667	350 – 390		0.7666	
430	3	21.2333	350 – 410	*	1.2666	
<u>390</u>	3	<u>21.2667</u>	350 – 430		0.8000	
370	3	21.9667	350 – 450	*	1.0666	
350	3	22.0333	370 – 390		0.7000	
			370 – 410	*	1.2000	
			370 – 430		0.7333	
			370 – 450	*	1.0000	
			390 – 410		0.5000	
			390 – 430		0.0333	
			390 – 450		0.3000	
			410 – 430		-0.4666	
			410 – 450		-0.2000	
			430 – 450		0.2666	

Nota: * indica la existencia de diferencias significativas.

Fuente: autores.

Debido a lo anterior, en el tratamiento 4 (ensayo 9→60:40) se determinó a 500 mg/L como la dosis óptima, ya que utiliza la menor cantidad de mezcla natural, teniendo en cuenta que ninguna dosis muestra diferencias significativas. Adicionalmente, este tratamiento presentó la mayor remoción de turbidez (80.4%), porque generó un valor final de 22.1 UNT a partir de 113.0 UNT. En el tratamiento 3 (ensayo 10→70:30), se observó que la dosis de 480 mg/L presentó diferencias significativas con respecto a las demás. En

este caso, no es escogida porque genera el valor mayor de turbidez final del agua de la Ciénaga Grande (22.4 UNT). Se estableció como dosis óptima a 400 mg/L porque es la mínima cantidad de mezcla coagulante que se puede emplear. Este tratamiento presentó una remoción de turbidez del 73.5%, porque generó un valor final de 21.7 UNT a partir de 82.0 UNT. En el tratamiento 2 (ensayo 11→80:20), se determinó que la dosis de 200 mg/L muestra diferencias significativas con relación a otras concentraciones. En esta

ocasión, no es elegida porque genera el valor más alto de turbidez final del agua (22.1 UNT). Se dio a conocer como dosis óptima a 220 mg/L porque es la menor cantidad de mezcla natural que se puede utilizar. Dicho tratamiento presentó una remoción de turbidez del 74.0%, porque generó un valor final de 21.0 UNT a partir de 81.0 UNT. Finalmente, en el tratamiento 1 (ensayo 12→90:10), se observó que ambas dosis, 350 y 370 mg/L, mostraron diferencias significativas con respecto a las dosis de 410 y 450 mg/L. Sin embargo, generan los valores mayores de turbidez final del agua de la Ciénaga Grande (22.0 y 21.9 UNT, respectivamente). Por tal motivo, ninguna se escogió como la

mejor dosis. Este tratamiento presentó a 390 mg/L como la dosis óptima porque es la mínima cantidad de mezcla coagulante que se puede emplear, además, este tratamiento produjo la menor remoción de turbidez en comparación con los demás (52.7%), que generó un valor final de 21.2 UNT a partir de 44.8 UNT.

Lo anterior demuestra que una turbidez inicial alta aumenta la acción coagulante de la mezcla natural, semillas de moringa y almidón de yuca, provocando una mayor remoción de este parámetro. En la Figura 4 se observa el montaje del test de jarras con el agua recolectada inicialmente de la Ciénaga Grande (A) y posterior al tratamiento 4 (B).

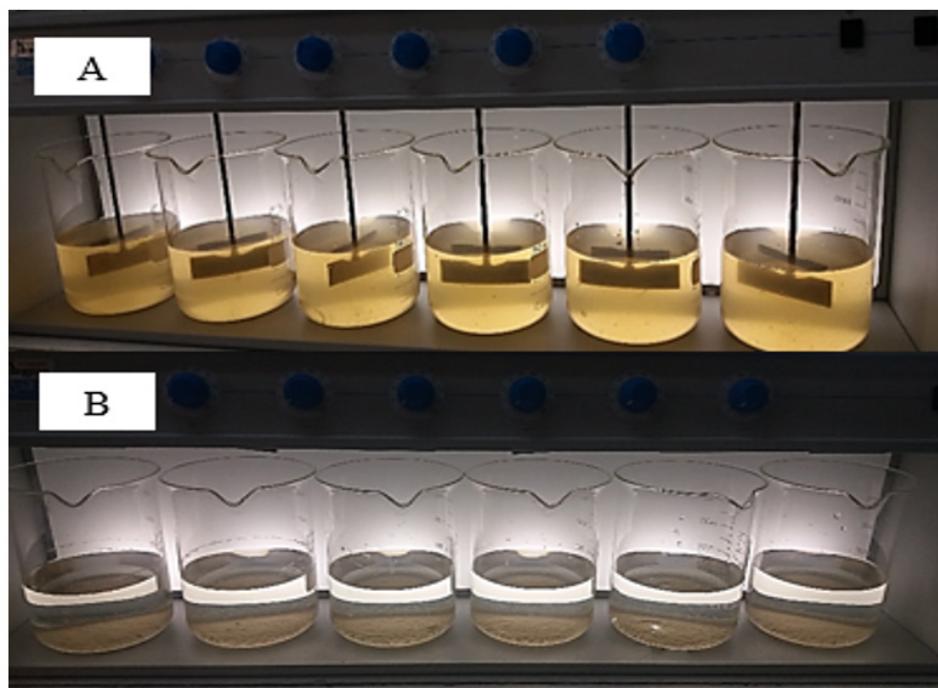


Figura 4. Fotografía que presenta el montaje del test de jarras con el agua recolectada inicialmente de la Ciénaga Grande (A) y posterior al tratamiento de la combinación coagulante, semillas de moringa y almidón de yuca, 60:40 (B). Fuente: autores.

Durante el año 2019 en Girardot-Colombia, se desarrolló una investigación que evaluó la sinergia que se genera al emplear la combinación de coagulantes, mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*), en la clarificación del agua del río Magdalena. Cuando la turbidez inicial es 316 UNT, la mayor remoción de este parámetro es del 47.15%, siendo la turbidez final 167 UNT que se obtiene al aplicar una dosis de 7 mg/L de la mezcla natural en una relación 67:33, respectivamente. Esta misma combinación logra la máxima remoción de la turbidez del 67.5% cuando el agua del río tiene un valor inicial de 80 UNT, al ser la turbidez final 26 UNT que se alcanza al aplicar una dosis de 2.5 mg/L de la mezcla natural (Lugo-Arias et al., 2020). De lo anterior se deduce que una turbidez inicial alta no aumenta la acción coagulante de la mezcla natural, mucílago de nopal y almidón de yuca; mientras que en el presente estudio se demostró que sí lo hace con respecto a la combinación de coagulantes, semillas de moringa y almidón de yuca. Además, en la actual investigación, cuando las aguas de la Ciénaga Grande tenían valores de turbidez iniciales de 81.0 y 82.0 UNT, se obtuvieron remociones del 74.0 y 73.5%, respectivamente. Lo anterior se logró utilizando dosis de 220 y 400 mg/L de semillas de *Moringa oleifera* y *Manihot esculenta* en relaciones de 80:20 y 70:30, respectivamente. Estos resultados demuestran mejor efectividad de la mezcla objeto de estudio con respecto a la propuesta por Lugo-Arias et al. (2020).

También en Malasia se ha realizado un estudio sobre la clarificación del agua utilizando combinaciones de coagulantes naturales. En el año 2021 se publicaron los resultados de la evaluación del desempeño de la mezcla conformada por cáscaras de frutas de calamondina (*Citrus microcarpa*) y semillas de papaya (*carica papaya*) sobre el río Muda, en relaciones 80:20 y 40:60 respectivamente. Las primeras se caracterizan por la gran cantidad de antioxidantes que contienen y las últimas presentan taninos. La acción coagulante de las cáscaras de calamondina se favorece en un rango de pH entre 4.0-5.0, mientras las semillas de papaya lo hacen a 6.5 unidades de pH. Cuando el agua de este río tiene una turbidez inicial de 66.67 UNT, con una dosis de 50 mg/L en una relación 80:20 de cáscara y semillas, se obtiene una turbidez final de 7.38 UNT, es decir, 88.93% se remueve este parámetro físico. Cuando la combinación natural se aplica en la relación 40:60 de cáscaras de calamondina y semillas de papaya, respectivamente; la dosis sigue siendo 50 mg/L y la remoción de turbidez determinada es 88.94% (Dollah et al., 2021). Al comparar los resultados anteriores con la presente investigación, se observa que bajo ninguna condición se presentaron valores aproximados de remociones de turbidez en las aguas clarificadas de la Ciénaga Grande (52.7, 74.0, 73.5 y 80.4% para el tratamiento 1, 2, 3 y 4, respectivamente). Lo anterior motiva a realizar futuros estudios que analicen la sinergia de las combinaciones de cáscaras y semillas de frutas como coagulantes naturales.

4. CONCLUSIONES

El uso de las mezclas de sustancias naturales puede competir con los beneficios generados por los productos sintéticos en la clarificación de aguas, ya que son una opción viable para no provocar efectos negativos en la salud humana y alteraciones en el medio ambiente; asimismo, el uso de coagulantes naturales reduce los costos asociados a la adquisición de sustancias químicas, un ejemplo es el almidón de yuca, residuo descartado como basura del proceso de elaboración de bollos a base de esta materia prima.

La combinación de semillas de moringa y almidón de yuca en proporciones de 60:40, respectivamente, es la mejor op-

ción para remover un alto porcentaje de la turbidez del agua de la Ciénaga Grande del departamento del Atlántico en Colombia. Una turbidez inicial alta en este recurso hídrico aumenta la acción coagulante de esta mezcla natural; provocando una mayor remoción de este parámetro. Además, esta combinación presenta mejor efectividad que la sinergia que se genera al emplear la mezcla mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y *Manihot esculenta* en la búsqueda por clarificar un agua. Finalmente, se sugiere desarrollar futuros estudios para analizar las ventajas y desventajas de las combinaciones coagulantes provenientes de cáscaras y semillas de frutas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Iván Darío Mercado Martínez: conceptualización, metodología, investigación, análisis de datos, escritura y borrador original. **Katerine Riaños Donado:** conceptualización, metodología, investigación,

análisis de datos, escritura y revisión.

María Carolina Meza Leones: conceptualización, metodología, investigación, análisis de datos, escritura y revisión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio de biotecnología de microalgas de la Universidad del Atlántico por el apoyo brindado durante este estudio.

LITERATURA CITADA

- Ang, W. L. & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J. & Ratnayaka, D. D. (2017), *Twort's Water Supply*, [7th ed., Ch. 7]. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100025-0.00007-7>
- Cicero, C. E., Mostile, G., Vasta, R., Rapisarda, V., Signorelli, S. S., Ferrante, M., Zappia, M. & Nicoletti, A. (2017). Metals and neurodegenerative diseases. A systematic review, *Environmetal Research*, 159, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.07.048>
- Choy, S. Y., Prasad, K., Wu, T., Raghunandan, M., Phang, S., Juan, J. & Ramanan, R. (2018). Separation of Chlorella biomass from culture medium by flocculation with rice starch. *Algal research*, 30, 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.11.012>
- de Paula, H. M., de Oliveira, M. S., Sarmiento, A. P. & Andrade, L. S. (2018). Dosage optimization of *Moringa oleifera* seed and traditional chemical coagulants solutions for concrete plant wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 174, 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.311>
- Dollah, Z., Masbol, N. H., Musir, A. A., Karim, N. A., Hasan, D. y Tammy, N. J. (2021, 9 de diciembre). *Utilization of citrus microcarpa peels and papaya seeds as a natural coagulant for turbidity removal* [ponencia]. 4th International Conference on Civil and Environmental Engineering (CENVIRON 2021), Penang, Malaysia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/920/1/012001>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. [ICONTEC].(2010). *Norma técnica colombiana NTC 3903: procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras*. Autor. <https://tienda.icontec.org/gp-procedimiento-para-el-ensayo-de-coagulacion-floculacion-en-un-recipiente-con-agua-o-modo-de-jarras-ntc3903-2010.html>.
- Lugo-Arias, J., Lugo-Arias, E., Ovallos-Gazabón, D., Arango, J., de la Puente, M. & Silva, J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Helijon*, 6(6), e04296. <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2020.e04296>
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007, 22 de junio). *Resolución 2115 de 2007 por medio del cual*

se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de sistema de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Diario Oficial n.º 46.679. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>

Mohd-Salleh, S. N. A., Mohd-Zin, N. S. & Othman, N. (2019). A review of wastewater treatment using natural material and its potential as aid and composite coagulant. *Sains Malaysiana*, 48(1), 155-164. <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2019-4801-18>

Momeni, M. M., Kahforoushan, D., Abbasi, F. & Ghanbarian, S. (2018). Using Chitosan/CHPATC as coagulant to remove color and turbidity of industrial wastewater: Optimization through RSM design. *Journal of Environmental Management*, 211, 347-355. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.031>

Mounir, B., Abdeljalil, Z. & Abdellah, A. (2014). Comparison of the efficacy of two bioflocculants in water treatment. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 3(6), 734-737.

Muthuraman, G. & Sasikala, S. (2014). Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1727-1731. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.023>

Pinheiro, J. P. S., de Asis, C. B., Muñoz-Penuelas, M., Júnior, F. B., Correia, T. G. & Moreira, R. G. (2019). Water temperature and acid pH influence the cytotoxic and genotoxic effects of aluminum in the freshwater teleost *Astyanax altiparanae* (Teleostei: Characidae). *Chemosphere*, 220, 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.143>

Teh, C. Y., Wu, T. Y. & Juan, J. C. (2014). Potential use of rice starch in coagulation-flocculation process of agro-industrial wastewater: Treatment performance and flocs characterization. *Ecological Engineering*, 71, 509-519. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.005>

Tirado, D. F., Herrera, A. P. & Acevedo, D. (2017). Evaluation of the coagulant capacity of starch obtained from topocho pelipita plantain clone (*Musa ABB*) for turbidity and color removal in raw waters. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33[Especial biotecnología e ingeniería ambiental], 125-134. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.11>

Olivero, R., Villa, K., Mendoza, J., Flórez, A., Cervera, S., Mercado, I. y Aguas, Y. (2020). *Evaluación de la miel de abejas (*Apis mellifera*) producida y comercializada en el departamento del Atlántico*, Universidad del Atlántico. <http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/omp/index.php/catalog/catalog/book/42>



■ Conflicto de intereses

*Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses.*



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 03-12-2022
Fecha de aceptado: 22-03-2023
DOI: 10.22490/21456453.6555

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA DE ACCESIONES DE MORERA (*Morus spp.*) EMPLEANDO MARCADORES MICROSATÉLITES

CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF THE GENETIC VARIABILITY OF MULBERRY (*Morus spp.*) ACCESSIONS USING MICROSATELLITE MARKERS

Julián David Trochez Solarte¹

Iván Enrique Paz Narváez²

Martha Almanza Pinzón³

Ximena Ruiz Erazo⁴

¹ Magíster en Ciencias Biológicas, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
juliantrochez@unicauca.edu.co

² Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
ipaz@unicauca.edu.co

³ Doctora en Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia..
malmanza@unicauca.edu.co

⁴ Doctora en Ciencias Agrarias y Agroindustriales, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
xruiz@unicauca.edu.co

Citación: Trochez, J., Paz, I., Almanza, M. y Ruiz, X. (2024). Caracterización y análisis de la variabilidad genética de accesiones de morera (*Morus spp.*) empleando marcadores microsatélites. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 49-70.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6555>

RESUMEN

Contextualización: el análisis de diversidad genética es fundamental para conservar y aprovechar adecuadamente los recursos genéticos, tanto vegetales como animales, además trascendental para el desarrollo de estrategias de selección y mejoramiento para la obtención de materiales promisorios.

Vacío de conocimiento: los estudios de caracterización y análisis de la variabilidad genética reportados para morera *Morus spp* en Colombia son pocos, por lo que es necesario su desarrollo a fin de proporcionar información que permita depurar y optimizar, tanto el manejo como el uso y la conservación del germoplasma disponible, aportando a la recuperación y aprovechamiento del potencial de estos recursos genéticos.

Propósito: la investigación se orientó a caracterizar genéticamente la colección de morera *Morus spp* del proyecto de sericultura caucana empleando marcadores microsatélites.

Metodología: se evaluaron 36 accesiones pertenecientes a la colección de mo-

rera conservada en el Centro de Estudios Vegetales de La Rejoya, Universidad del Cauca, utilizando 10 microsatélites marcados con fluorescencia. Se evaluaron parámetros de diversidad y estructura genética y, adicionalmente, se determinaron relaciones genéticas mediante un Análisis de Clúster.

Resultados y conclusiones: fueron detectados 49 alelos, con un PIC medio de 0,57, indicando el empleo de marcadores polimórficos e informativos. El análisis de estructura poblacional con método bayesiano (STRUCTURE v 2.3.4) y el de agrupamiento (Neighbor-joining, PCoA) indicaron tres grupos poblacionales discretos, con una diferenciación genética significativa del 22% (AMOVA-Fst; $p<0,001$). Destacó el hallazgo de 19 genotipos diferentes, sugiriendo la presencia de un alto número de materiales duplicados que deberán ser evaluados para posible eliminación de recursos redundantes en el banco de germoplasma.

Palabras clave: diversidad genética, estructura poblacional, germoplasma, marcador molecular, sericultura

ABSTRACT

Contextualization: The analysis of genetic diversity is essential to preserve and adequately harness genetic resources, both plant and animal, and it is transcendental for developing selection and improvement strategies to obtain promising materials.

Knowledge gap: There are few studies of characterization and analysis reported of genetic variability for mulberry *Morus* spp. in Colombia and need to be developed in order to provide information that enables refining and optimizing the management, use, and conservation of the available germplasm, contributing to the recovery and harnessing of these genetic resources' potential.

Purpose: The research aimed to genetically characterize the mulberry, *Morus* spp., collection of the Cauca region sericulture project using microsatellite markers.

Methodology: 36 accessions belonging to the mulberry collection conserved at the Centro de Estudios Vegetales La Rejoya (Center for Plant Studies La Rejoya in

English) of Universidad del Cauca were evaluated using ten microsatellites fluorescently labeled. The diversity and genetic structure parameters were evaluated. Additionally, the genetic relationships were determined through a cluster analysis.

Results and conclusions: 49 alleles were detected, with a mean PIC of 0.57, indicating the use of polymorphic and informative markers. The population structure analysis with the Bayesian (STRUCTURE v 2.3.4) and grouping methods (Neighbor-joining and PCoA) indicated three discrete population groups with significant genetic differentiation of 22% (AMOVA - Fst; $p<0.001$). It highlighted the finding of nineteen different genotypes, suggesting the presence of a high number of duplicate materials that will have to be evaluated for the possible elimination of redundant resources in the germplasm bank.

Keywords: genetic diversity, population structure, germplasm, molecular marker, sericulture

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La morera *Morus spp.* es un árbol caducifolio, leñoso, perenne y de crecimiento rápido, perteneciente a la familia Moraceae, con variedades y especies cultivadas representativas como *M. alba*, *M. inga* y *M. indica*, que representan un componente vital de la sericultura por ser

la única fuente de alimento para *B. mori* (Sohn, 2014). Actualmente se distribuye en más de 70 países y también se utiliza como forraje verde o en forma de ensilaje o deshidratada para la alimentación de animales de granja o para producción de frutos, usos ornamentales y medicinales

(Vijayan *et al.*, 2011). En la última década del siglo XX, los países de Centroamérica y el Caribe han trabajado en la introducción y multiplicación de las especies de morera oriundas de la zona asiática. Esta creciente importancia económica para el trópico, ha influido en los esfuerzos para colectar, estudiar y conservar el germoplasma del género *Morus* (Tikader y Vijayan, 2010; Mathithumilan *et al.*, 2013), considerando que son fundamentales para desarrollar materiales con alta producción de forraje, resistentes a enfermedades y tolerantes a diferentes condiciones ambientales. China dispone de más de 2600 accesiones de morera, India con 1120, Japón con 1502, Corea con 615 y Bulgaria con 140 aproximadamente, además otros países cuentan con pequeñas colecciones (Tikader y Vijayan, 2010; Vijayan *et al.*, 2011). Existen aproximadamente 68 especies dentro del género *Morus*, pero las accesiones en bancos de germoplasma pertenecen principalmente a las especies *M. alba*, *M. bombycis*, *M. indica* y *M. latifolia*; es decir, la mayor parte de los parentales silvestres no han sido colectados, estudiados y conservados, por lo tanto, estos materiales representan una fuente potencial de recursos para ampliar la diversidad genética disponible e incorporar características de interés a los bancos de germoplasma, especialmente *M. serrata* Roxb. y *M. macroura* Miq, que en los análisis de diversidad han demostrado una marcada diferenciación genética y presenta relaciones distantes con las especies más empleadas del género *Morus* (Tika-

der y Vijayan, 2010; Mathithumilan *et al.*, 2013).

El proyecto de Sericultura Caucana en el año 2016, estableció un banco de germoplasma de *Morus spp* en el Centro de Estudios Vegetales (CEV) de la Universidad del Cauca (Vereda “La Rejoya”, Popayán), con accesiones donadas por sericuladores de la región; no obstante, no contaban con información sobre el nombre, origen, descriptores o datos de pasaporte. En este contexto, el desconocimiento de los recursos genéticos representa un obstáculo para el aprovechamiento del potencial agronómico de estos materiales y sería evidente por la utilización, casi exclusiva, de la variedad Kava 2 para la alimentación del gusano de seda en el Cauca. Por esta razón, la efectividad con la que se puede manejar y gestionar el germoplasma de morera dependerá de la información genética disponible. En este sentido, los marcadores moleculares son herramientas que proporcionan datos más exactos, amplios y detallados que los marcadores fenotípicos (morfológicos y bioquímicos), puesto que no están influenciados por el ambiente, por lo tanto, la naturaleza de la información que proporcionan es idónea para caracterizar y discriminar genéticamente los materiales de estudio (Cornejo *et al.*, 2014; Angelo *et al.*, 2013).

La investigación tuvo como objetivo caracterizar y analizar la variabilidad genética de la colección de morera *Morus spp* del proyecto de sericultura caucana empleando marcadores microsatélites.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta de las muestras se realizó en el Centro de Estudios Vegetales (CEV) adscrito a la Universidad del Cauca, ubicado en la vereda La Rejoya, a 7 km del nororiente de la cabecera municipal, en las coordenadas 2° 29' 55,6" Latitud Norte, 76° 34' 58,1" Longitud Oeste, a una altura de 1800 msnm, temperatura promedio de 18°C y precipitación promedio anual de 1750 mm (Vivas y Morales, 2005). Posteriormente, los métodos y protocolos de laboratorio fueron realizados en el Laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

Material vegetal: se evaluaron 36 accesiones de *Morus* spp (Tabla 1). Para la extracción de ADN genómico se utilizó tejido foliar de hojas jóvenes, pulverizado con nitrógeno líquido, utilizando el Kit de extracción NucleoSpin® Plant II mini, siguiendo las instrucciones del fabricante (MACHEREY-NAGEL). Posteriormente, las muestras fueron almacenadas a -20 °C. La calidad del ADN obtenido (concentración, pureza e integridad) se verificó mediante espectrofotometría y electroforesis en gel de agarosa (0,8%) con tinción Gel-Red.

Tabla 1. Accesiones que conforman la colección de *Morus* spp.

Accesión	Código análisis	Variedad/Nombre común	Taxón
UPSM001	1	Ichinose	<i>Morus alba</i>
UPSM002	2	Rosa Fonseca	<i>Morus alba</i>
UPSM005	5	SN	<i>Morus</i>
UPSM006	6	S13	<i>Morus</i>
UPSM007	7	S9	<i>Morus</i>
UPSM008	8	SINJD A1	<i>Morus</i>
UPSM009	9	S3	<i>Morus</i>
UPSM011	11	Miura	<i>Morus alba</i>
UPSM012	12	SN	<i>Morus</i>
UPSM013	13	Italiana	<i>Morus</i>
UPSM014	14	Kava 1	<i>Morus indica</i>

UPSM015	15	S3	
UPSM016	16	S9	<i>Morus</i>
UPSM017	17	Kanova 2	<i>Morus indica</i>
UPSM018	18	SN	<i>Morus</i>
UPSM019	19	Kaayanpong	<i>Morus</i>
UPSM020	20	Calabresa	<i>Morus alba</i>
UPSM021	21	Subong pong	<i>Morus alba</i>
UPSM022	22	S13	<i>Morus</i>
UPSM023	23	Tai Song	<i>Morus formosensis</i>
UPSM024	24	S18	<i>Morus</i>
UPSM026	26	Miura	<i>Morus alba</i>
UPSM027	27	Sin Ed (AA-2)	<i>Morus</i>
UPSM028	28	Nacional	<i>Morus</i>
UPSM029	29	Taixon	<i>Morus</i>
UPSM030	30	Chirosa Cauca	<i>Morus</i>
UPSM031	31	Kanova 1	<i>Morus indica</i>
UPSM032	32	Miura	<i>Morus alba</i>
UPSM033	33	Nacional	<i>Morus</i>
UPSM034	34	Nacional	<i>Morus</i>
Bulgaria1	B1	SN	<i>Morus</i>
Bulgaria2	B2	SN	<i>Morus</i>
Bulgaria3	B3	SN	<i>Morus</i>
Bulgaria4	B4	SN	<i>Morus</i>
Kanova2	K2	Kanova 2	<i>Morus indica</i>

*SN: sin nombre.

Fuente: autores.

Genotipificación de los microsatélites: la investigación manejó ocho microsatélites (Tabla 2), diseñados específicamente

para su utilización en *Morus spp*. El cocktail de amplificación incluyó 1-4 ng/ μ l de ADN, 1,8 mM de MgCl₂, 0,2 mM de dNTPs, 0,2 μ M de cada oligonucleótido, 5 μ l

de tampón de PCR (5x) y 0,625 U de Taq polimerasa (OneTaq® DNA Polymerase, NEB), para un volumen final de 25 μ l por muestra. La PCR se llevó a cabo en un termociclador Bio-Rad PTC-100 con oligonucleótidos marcados con fluorescencia, utilizando las siguientes condiciones de amplificación: desnaturización inicial a 95 °C durante 5 min; seguida de 35 ciclos a 94 °C durante 30 s, temperatura de alineamiento para cada cebador (53-64 °C, Tabla 2) durante 30 s, extensión a 68

°C durante 30 s; y una extensión final a 68 °C durante 10 min. La longitud de los productos de la PCR (amplicones) se determinó mediante el análisis de los fragmentos marcados con fluorescencia en un secuenciador automático de electroforesis capilar (Applied Biosystems 3730XL, GeneScan 500 LIZ Size Standard, Macrogen, Corea). Las lecturas fueron procesadas y el tamaño de los alelos identificados se asignó utilizando el software Geneious v7.0 (Kearse et al., 2012).

Tabla 2. Microsatélites (SSR) usados para evaluar la diversidad genética en la colección de *Morus* spp.

SSR	Primers (5'----3')	Tm (°C) *	Rango (pb)	Motivo repetitivo	Marcaje*	Fuente
MulSTR1	F gccgtgtaccagtggagttgca	55	160-220	(GT-T) ₆ +(GTT) ₄	PET	Aggarwal et al. (2004).
	R tgaccgttcttcact-ttacctaatg					
MulSTR2	F cgtggggcttaggctgagtagg	55	158-210	(GTT) ₁₁	VIC	Aggarwal et al. (2004).
	R caccaccactacttctttct-tccag					
MulSTR3	F gggtgggttagatgggcttat-gtta	53	107-398	(GA) ₃₃	6-FAM	Aggarwal et al. (2004).
	R ccattaaacttttggcaccta-					
MulSTR4	F ggtcaaggcgctcca-gagaaaag	59	110-161	(GAA) ₆	6-FAM	Aggarwal et al. (2004).
	R gggtcagaggatgaaagat-gaggt					
MulSTR5	F cccctgcataatgcctttc	64	130-190	(CCA) ₈	PET	Aggarwal et al. (2004).
	R tggcgaggcaggaaagattc					
MulSTR6	F tccttaggtttgggtctgt-ttacat	55	110-190	(GT) ₁₅	6-FAM	Aggarwal et al. (2004).
	R cctcattctcccttcaact-tatgttg					

SS04	F cgagggaggatgaggagc	55	187-250	(TG) ₂₇	VIC	Zhao et al. (2005).
	R cacattcatgcaccctctata					
Mul3SSR95	F gatcatcgccaaataagcc	53	209	AG	VIC	Mathithumilan et al. (2013).
	R taagagctgagaggggaagc					

* Tm: temperatura de alineamiento, € Diana fluorescente presente en los primeros para marcar las ampliaciones. Fuente: autores.

Análisis estadístico

La diversidad genética fue estimada mediante el número de alelos observados (Na), el número efectivo de alelos (Ne), la heterocigosidad observada y esperada (Ho y He) y el índice de fijación (Fis) utilizando el programa GenAlEx v. 6.5 (Peakall y Smouse, 2006; 2012). Para determinar el carácter informativo de los microsatélites y la población total, se calculó el contenido de información polimórfica (PIC) y el rango de tamaño (pb) utilizando el programa CERVUS v. 3.0 (Kalinowski *et al.*, 2007). El equilibrio de Hardy-Weinberg (HWE) y el desequilibrio de ligamiento (LD) entre todos los pares de loci se evaluó utilizando Arlequin v. 3.5 (Excoffier y Lischer, 2010), mediante el método de Cadenas de Markov para 10.000 permutaciones y, así, determinar si las frecuencias alélicas y genotípicas obtenidas con cada microsatélite se ajustaban a diferentes modelos de la genética de poblaciones.

La estructura poblacional fue analizada con el método Bayesiano implementado en el programa STRUCTURE v. 2.3.4 (Pritchard *et al.*, 2000; Falush *et al.*, 2003, 2007; Hubisz *et al.*, 2009). Teniendo en

cuenta, que el origen de los cultivares modernos de morera incluyen hibridaciones intra e interespecíficas, se adoptó el modelo de mezcla y frecuencias alélicas correlacionadas para la identificación del número más probable de poblaciones (K) en que está dividida la colección de *Morus* y los valores de pertenencia de cada accesión a esas K poblaciones (Matriz Q). El programa fue ejecutado con un burn-in de 10.000, seguido de 50.000 Cadenas de Markov de Monte Carlo (MCMC), analizando de 1 a 10 como el número posible de K, con diez iteraciones o repeticiones por cada K. La elección del número más probable de K se realizó basándose en el mayor valor logarítmico de la verosimilitud (LnP(K)) utilizando el método desarrollado por Evanno *et al.* (2005), implementado en Structure Harvester (Earl y Vonholdt, 2012). Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza molecular (AMOVA - Fst) para determinar el grado de diferenciación genética; la significancia estadística se estableció con los índices F: Coeficiente de diferenciación genética entre poblaciones (Fst), Coeficiente de endogamia entre poblaciones (Fis) y Coeficiente de endogamia total (Fit), a partir

de un bootstrap de 1000 réplicas utilizando el software GenAlEx v. 6.5 (Peakall y Smouse, 2006; 2012).

El agrupamiento de las accesiones se observó mediante el dendograma construido a partir de una matriz de disimilaridad usando el algoritmo Neighbor-joining con las distancias de Sokal y Michener y valores de bootstrap de 1000 réplicas para evaluar la solidez del árbol, utilizando el

programa DARwin v. 6.0 (Perrier y Jacquemoud, 2015); posteriormente, fue editado con el programa Figtree v. 1.4.2 (Rambaut, 2014) para obtener el árbol consenso. Paralelamente, se realizó un análisis de coordenadas principales (PCoA) en GenAlEx v. 6.5 (Peakall y Smouse, 2012), a partir de las distancias genéticas corregidas de Nei y de esta manera, obtener una representación gráfica de los resultados y visualizar la diferenciación de las accesiones.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad genética y Características de los microsatélites

Los ocho *loci* microsatélites amplificados, generaron 49 alelos en total, el mayor número lo presentó el marcador MulSTR3 seguido de Mul3SSR95. El rango se ubicó entre 4 y 11 con un promedio de 6,125 alelos por locus (Tabla 3). El número efectivo de alelos (N_e) fue inferior al número observado de alelos (N_a) en todos los microsatélites, indicando que la distribución de las frecuencias alélicas no es del todo equitativa dentro de los mismos, es decir, existen alelos en cada marcador con una frecuencia superior, en mayor o menor grado, a la de los demás. Este tipo de distribución puede indicar la presencia de alelos raros o exclusivos y sugerir que un material o población se ha mantenido genéticamente aislado (Slatkin, 1985), y, en consecuencia, pueden ser importantes para discriminar o diferenciar materiales entre sí; igualmente, según los trabajos

de Brown y Briggs (1991) y Frankel *et al.* (1995), los alelos exclusivos mostrarían la posible presencia de fenotipos adaptados a condiciones ambientales específicas o de interés productivo.

El PIC alcanzó un valor promedio de 0,57 con un rango entre 0,171 y 0,859 (Tabla 3), donde los marcadores MulSTR3 y Mul3SSR95 presentaron el mayor poder discriminatorio. De acuerdo con la escala propuesta por Botstein *et al.* (1980) y lo expresado por Laos (2022) y Guerra *et al.*, (2018), los seis marcadores que presentaron valores de PIC $>0,5$ fueron altamente discriminantes e informativos; MulSTR1 fue moderadamente informativo ($0,25 < \text{PIC} < 0,5$) al presentar el menor número de alelos efectivos y observados; por su parte, SS04 fue ligeramente informativo ($\text{PIC} < 0,25$), por ende, con locus de baja diversidad, aspecto que permite inferir la baja capacidad discriminante del marcador en la colección analizada.

Resultados similares fueron obtenidos en estudios que han analizado una cantidad semejante de materiales (entre 27 y 53 aproximadamente), en los cuales el número de alelos por locus y el PIC presentaron valores entre 5 a 7 y 0,4 a 0,7 respectivamente (García *et al.*, 2019; Krishnan *et al.*, 2014; Wangari *et al.*, 2013; Wani *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2005). Orhan *et al.* (2020) también lograron resultados similares, reportando un número de alelos y PIC promedio de 5.19 y 0.61 respectivamente; aunque, a diferencia del presente estudio, el marcador SS04 fue altamente informativo, posiblemente, porque incluyeron un

mayor número de genotipos, 73 en total, que abarcaban 3 especies diferentes (*M. nigra*, *M. rubra* y *M. alba*). Aggarwal *et al.* (2004), por su parte, obtuvieron 18 alelos por locus, mientras que, Krishnan *et al.* (2014) reportaron 215 alelos en total; en este sentido, los valores individuales de cada locus SSR analizado en el presente estudio fueron inferiores al número de alelos y el PIC reportados previamente (Zhao *et al.*, 2005; García *et al.*, 2019), efecto ocasionado probablemente, por la presencia de un alto número de genotipos duplicados en la colección.

Tabla 3. Características de los ocho microsatélites (SSR) en 36 accesiones de *Morus spp*.

SSR	N	Na	Ne	PIC	Ho	He	F _{is}
<i>MuISTR3</i>	36	11	7,831	0,859	0,750	0,885	0,140
<i>Mu3SSR95</i>	34	10	5,883	0,811	0,529	0,842	0,362
<i>MuISTR4</i>	35	4	2,707	0,558	0,657	0,640	-0,042
<i>SS04</i>	36	4	1,219	0,171	0,167	0,182	0,073
<i>MuISTR5</i>	36	5	3,269	0,636	0,972	0,704	-0,401
<i>MuISTR6</i>	36	6	3,767	0,693	0,722	0,745	0,017
<i>MuISTR2</i>	36	4	2,642	0,543	0,500	0,630	0,196
<i>MuISTR1</i>	36	5	1,419	0,281	0,222	0,299	0,247
□±SE*	35,625±0,26	6,125±0,99	3,592±0,80	0,569±0,09	0,565±0,10	0,616±0,09	0,074±0,08

*Gran promedio ± Error estándar entre loci SSR, N: número de individuos muestreados, Na: número de alelos, Ne: número efectivo de alelos, PIC: contenido de información polimórfica, Ho: heterocigosidad observada, He: heterocigosidad esperada, Fis: índice de fijación.

Fuente: autores.

Las frecuencias genotípicas de los microsatélites no se ajustaron significativamente ($P < 0,05$) al equilibrio de Hardy-Weinberg (HW); en la mayoría de los casos, se

observaron valores positivos del índice de fijación (Fis) indicando déficit de heterocigotos o eventos pasados de cruzas entre materiales cercanos, aumentando

la endogamia y disminuyendo la heterocigosidad (Herrera *et al.*, 2021; Suarez *et al.* 2016); al respecto, Ellegren y Galtier (2016), señalan que se aumentaría la probabilidad de perder alelos para la siguiente generación, llevando a la pérdida progresiva de diversidad genética. Además, en la prueba de desequilibrio de ligamiento (LD, Figura 1), la mayoría de los loci o microsatélites presentaron una asociación altamente significativa entre sí ($P < 0,05$). En este contexto, los resultados

de las pruebas de HW y LD comprobarían que los materiales analizados no se comportan como una población ideal con reproducción aleatoria; por el contrario, representan una población estructurada, producto posiblemente de los procesos de selección, que normalmente operan en el mejoramiento genético de cultivares para desarrollar características productivas y biológicas particulares (Dempewolf *et al.*, 2017; Loo, 2011).

Locus #	0	1	2	3	4	5	6	7
0	*	+	+	+	+	+	+	+
1	+	*	+	-	+	+	+	+
2	+	+	*	-	+	+	-	-
3	+	-	-	*	+	+	+	+
4	+	+	+	+	*	+	+	+
5	+	+	+	+	+	*	+	+
6	+	+	-	+	+	+	*	+
7	+	+	-	+	+	+	+	*

Figura 1. Resultados de la prueba de desequilibrio de ligamiento para todos los pares de microsatélites ($P=0,05$). Los símbolos “+” indican parejas de loci SSR significativamente ligados, mientras el símbolo “-” indica lo contrario, no ligados de forma significativa. Codificación de loci en la prueba: Loci 0: MulSTR3, loci 1: Mul3SSR95, loci 2: MulSTR4, loci 3: SS04, loci 4: MulSTR5, loci 5: MulSTR6, loci 6: MulSTR2, loci 7: MulSTR1.

Fuente: autores.

Estructura poblacional y relaciones genéticas

Con el fin de estimar el número aproximado de poblaciones en que se estructuran las accesiones se empleó inicialmente

el valor máximo estimado del logaritmo de la probabilidad ($\text{LnP}(K)$). Sin embargo, no alcanzó un valor que se mantuviera estable, por el contrario siguió aumentando y en cierto punto presentó una variación inestable junto con un aumento conside-

rable en las varianzas, especialmente después de K=6 (Figura 2a). Por esta razón, se proyectó que el número más probable de poblaciones debía ser inferior a K=6. Adicionalmente, el método de Evanno *et al.* (2005), que calcula el segundo orden de cambio de probabilidad (Δk), es más sensible que el anterior para detectar el nú-

mero de poblaciones más probable bajo las circunstancias anteriormente descritas. Adoptando dicho enfoque, Δk alcanzó su máximo valor en K = 3 (Figura 2b), indicando que la colección completa de morera estaría estructurada en tres grupos poblacionales diferentes.

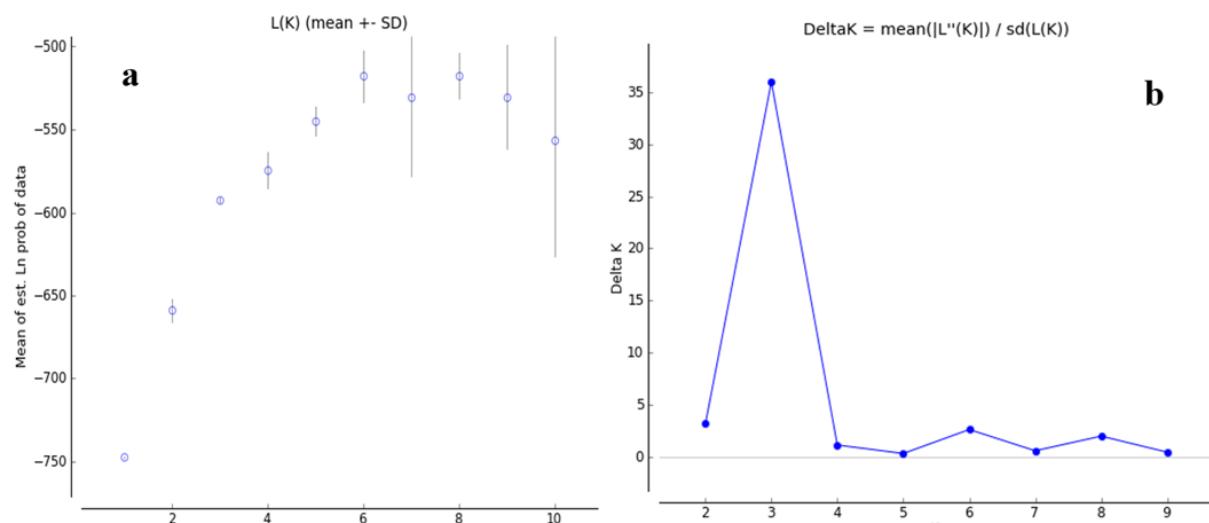


Figura 2. Selección del número más probable de subpoblaciones (K) para las accesiones evaluadas. a) Valores medios de $\ln P(K)$ para las 10 iteraciones independientes de cada K. b) Gráfico de los valores de Δk (delta K) para cada K, basado en el cambio de segundo orden de la función de verosimilitud (Evanno *et al.*, 2005).

Fuente: autores.

El dendrograma (Figura 3a y 3b) y el PCoA (Figura 4) permitieron identificar tres agrupaciones, las cuales coinciden con los grupos poblacionales reconocidos anteriormente. Esto implicaría la presencia de grupos poblacionales discretos, es decir, representarían poblaciones o grupos aislados entre sí, con un germoplas-

ma propio y único y escaso flujo genético con los demás, excepto por posibles eventos de introgresión o hibridación entre materiales contrastantes, como se puede observar en los genotipos B3, 34, 33, 28 y 18; los cuales presentan un valor de pertenencia menos dominante a determinada

población y más distribuido entre dos o tres de los grupos.

En el clúster, para el código de color azul se destaca la agrupación de materiales provenientes de Bulgaria (etiquetados con una B inicial), denotando que su origen geográfico representaría una relación genética más estrecha. El código rojo concentra accesiones que en el análisis de estructura poblacional presentaron valores de pertenencia menos dominantes, y podrían catalogarse como materiales híbridos. La distribución de los códigos de color sugiere una relación cercana entre los grupos azul y rojo, e indicaría que el rojo está compuesto por materiales de origen chino o japonés y tendrían asociación directa con materiales que fueron introducidos en Europa desde el medio o lejano oriente por rutas marítimas o terrestres, según las vías de diseminación de la morera en el mundo propuestas por García *et al.* (2019). Finalmente, el clúster verde se destaca por incluir a Kanva 2, el cultivar más empleado en departamento del Cauca para la alimentación del gusano de seda *Bombyx mori* (Ruiz, 2022; Viteche, 2015), y estaría representando por materiales tropicales originados en el sur de la India, con alto número de posibles duplicados, como puede observarse en el dendrograma (Figura 3a) y en el PCoA (Figura 4). El cultivar Kanva 2 (K2) tendría como posibles duplicados, las accesiones

5, 14, 17 y 31; situación similar ocurriría entre las accesiones 19, 21, 27 y 32, que podrían representar un genotipo. Con relación al genotipo 15, podría representar dos materiales diferentes y distantes al estar incluido en diferentes grupos, por lo cual fueron etiquetados como a y b.

Krishnan *et al.* (2014) al analizar 36 genotipos, incluyendo materiales silvestres, encontraron que estos materiales se dividían en cuatro grupos poblacionales, contexto que no es posible encontrar en Colombia, por no ser el centro de origen del género *Morus*. Sin embargo, García *et al.* (2019) y Orhan *et al.* (2020) también indicaron la presencia de tres clústeres en su análisis de agrupamiento, señalando que las colecciones de germoplasma de morena muestran una tendencia a estar organizadas genéticamente en tres grupos poblacionales. En el caso de Krishnan *et al.* (2014), es relevante destacar la inclusión de Kanva 2, igual que en el presente estudio; según sus hallazgos, estaría agrupada con los cultivares y variedades desarrolladas en el sur de la India. Al respecto, Guruprasad (2011) indica que las variedades desarrolladas en la India en la década de los 70 y principios de los 80, procedían de un estrecho acervo genético de los cultivares Mysore Local, Kousen (variedad japonesa), Kanva-2 (cultivar tradicional) y Sujanpur-5.

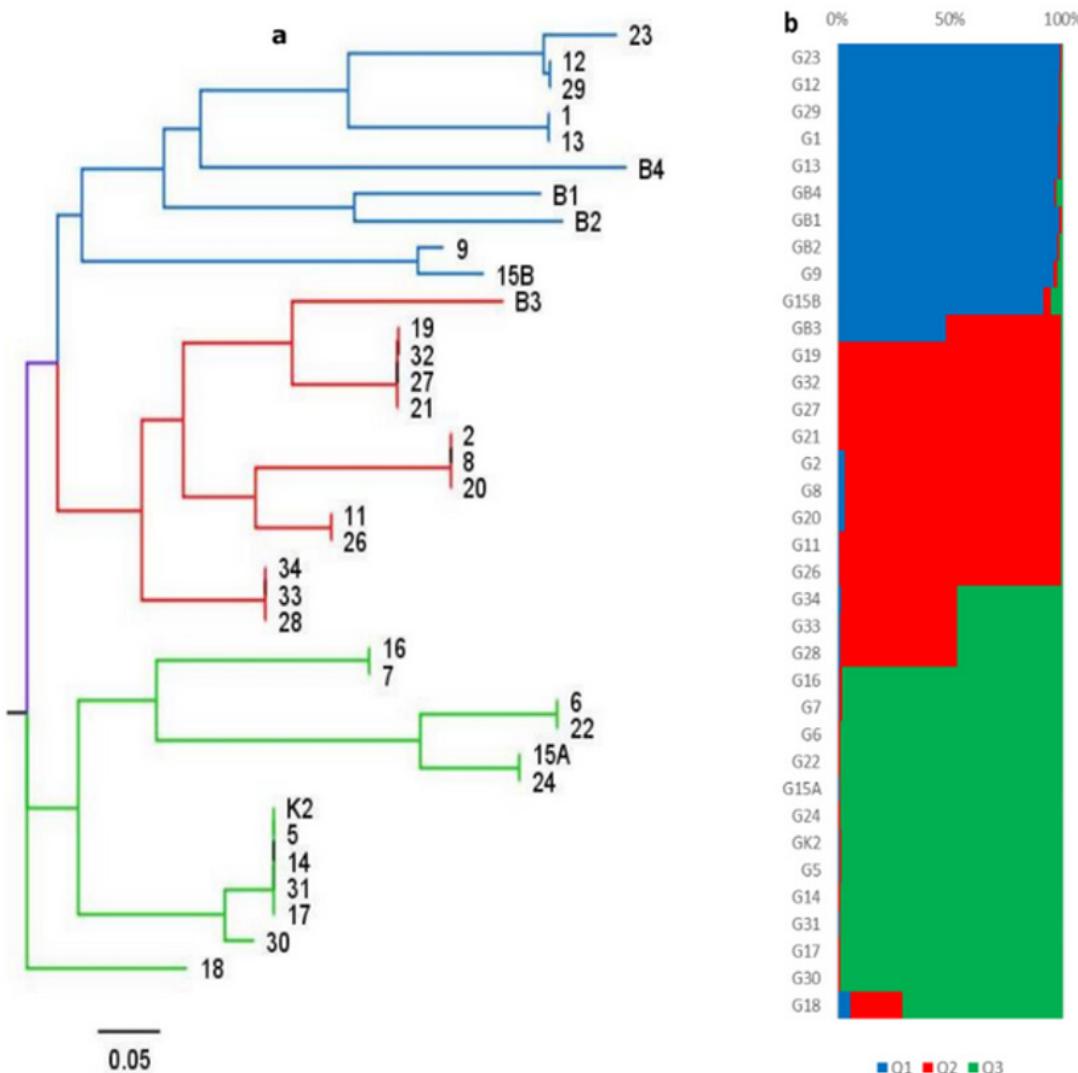


Figura 3. Análisis de agrupamiento y estructura genética. a) Dendrograma demostrando las relaciones genéticas entre 36 accesiones de la colección de *Morus spp*. con ocho loci SSR, empleando el método Neighbor-joining, las ramas presentan colores para diferenciar las tres agrupaciones identificadas. b) Estructura genética de las 36 accesiones de *Morus spp*. basado en ocho loci SSR generados por el programa Structure utilizando los modelos de mezcla y frecuencias alélicas correlacionadas. Los tres grupos poblacionales identificados (K) están representadas por colores distintos, que coinciden con las agrupaciones y orden descendente del dendrograma. Cada fila representa una accesión que puede fraccionarse en segmentos, cuyo tamaño es proporcional al porcentaje o valor de pertenencia estimado de cada accesión a cada uno de los tres grupos poblacionales (Q1, Q2 y Q3). Fuente: autores.

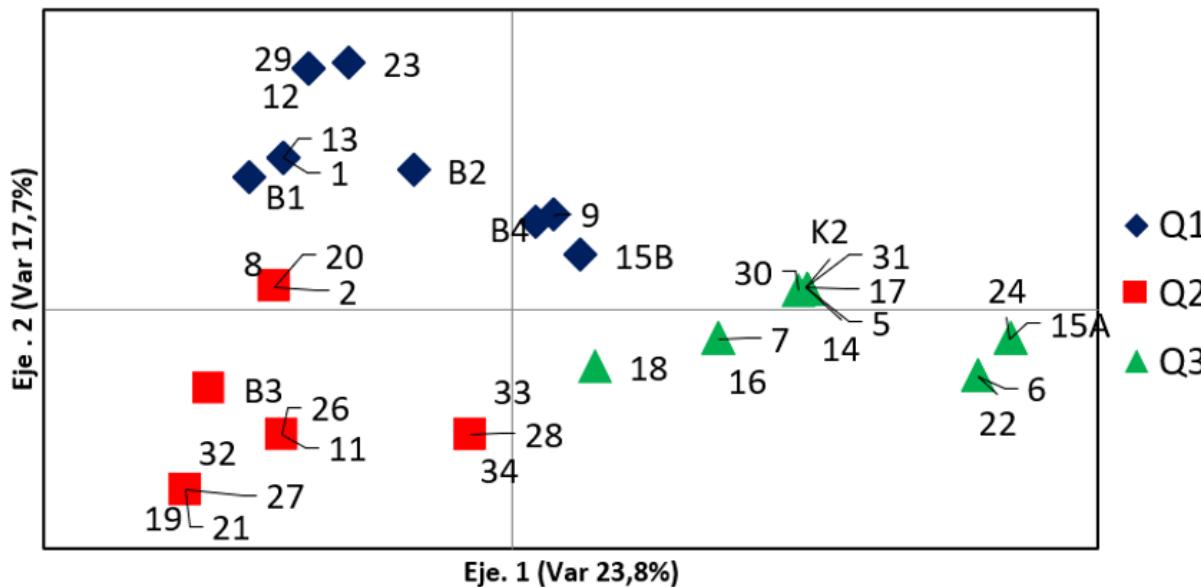


Figura 4. Análisis de coordenadas principales (PCoA) de las 36 accesiones de la colección de *Morus* spp. La gráfica fue realizada a partir de la distancia genotípica implementada en GenAlEx v. 6.5 (Peakall y Smouse, 2012). Las accesiones están identificadas con un símbolo y color distintos, que coinciden con las agrupaciones observadas en el análisis de agrupamiento y estructura genética. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la variabilidad (Var) de cada Eje de coordenadas. Fuente: autores.

El AMOVA (Tabla 4) indica que el 78% de la variación genética se presenta dentro de los individuos con un Fit (0,167) significativo; mientras que, el 22% de la variación se encuentra entre grupos poblacionales, con un coeficiente Fst (0,203) significativo (Tabla 5), resultados que sugieren un origen común, es decir, podrían derivarse de una o pocas variedades que se han sometido a procesos de domesticación temprana, como programas de selección artificial que les lleva a perder su diversidad genética (García *et al.*, 2020; Rauf *et al.*, 2010); no obstante, factores como el modo de cultivo, el flujo genético por agentes

polinizadores o el intercambio de material podrían contribuir a la diferenciación genética (Chacón *et al.*, 2016). También se destaca el sistema de reproducción, puesto que la morera es polinizada principalmente por el viento, siendo mayoritaria la polinización cruzada (Wangari *et al.*, 2013; Datta *et al.*, 2002), dando como resultado, materiales o cultivares híbridos con alta heterocigosidad a nivel de sus loci (Krishnan *et al.*, 2014), que se mantendría estable en el tiempo debido a la propagación vegetativa. Resultados similares fueron reportados por Krishnan *et al.* (2014) del 83% y 17% respectivamente, aunque la

variación entre poblaciones en el presente estudio fue ligeramente superior, posiblemente, por la presencia de los duplicados,

que disminuyeron la variación entre individuos a cero, aumentando en proporción las otras fuentes de variación.

Tabla 4. AMOVA-Fst entre las 36 accesiones de *Morus spp*. Los materiales fueron organizados en los tres grupos poblacionales identificados en el análisis de agrupamiento y estructura genética

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Est. Var.	% Total
Entre poblaciones	2	33,431	16,716	0,622	22%
Entre individuos	33	62,208	1,885	0,000	0%
Dentro de individuos	36	80,500	2,236	2,236	78%
Total	71	176,139		2,858	100%

gl: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, CM: cuadrados medios, Est. Var: varianza estimada.

Fuente: autores.

Tabla 5. Significancia estadística del AMOVA-Fst mediante índices F

Estadístico F	Valor	P(rand >= data)
Fst	0,232	0,001
Fis	-0,085	0,964
Fit	0,167	0,001

Significancia estadística establecida con 1000 permutaciones aleatorias.

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que los marcadores fueron polimórficos, insesgados e informativos sobre la diversidad, la estructura y las relaciones genéticas de las accesiones. Particularmente, destacan seis microsatélites altamente informativos (PIC>0,5). Los análisis indicarán la posi-

ble presencia de duplicados, dada la obtención de 19 accesiones diferentes en un total de 36 evaluadas. Por lo tanto, es necesario contrastar los resultados con una caracterización morfológica y productiva para identificar un comportamiento biológico o productivo de interés y determinar

si deben eliminarse o conservarse como líneas o clones. También, se recomienda la introducción de nuevos genotipos para aumentar la variabilidad. El análisis de agrupamiento y estructura reveló que las 36 accesiones conforman tres grupos poblacionales discretos con diferenciación genética y aparentemente bajo flujo genético. Lo que sugiere presencia de

materiales genéticamente contrastantes que podrían utilizarse en futuras evaluaciones para el desarrollo de programas de selección y generación de cultivares élite, que beneficien, tanto la actividad serícola como otras áreas agropecuarias que requieran fuentes de alimentación de alta calidad nutricional.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Julián Trochez: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y borrador original.
Iván Paz: análisis de datos, revisión y edi-

ción. **Martha Almanza:** análisis de datos, revisión y edición. **Ximena Ruiz:** análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Cauca por la financiación del proyecto ID4972; al laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira por su apoyo técnico en el desarrollo de la

investigación; al grupo de investigación SISINPRO por la asesoría y el apoyo científico; al Proyecto de Sericultura Caucana por permitir realizar los muestreos del material vegetal que conforman la colección de morera.

LITERATURA CITADA

Aggarwal, R., Udaykumar, D., Hendre, P., Sarkar, A., and Singh, L. (2004). Isolation and characterization of six novel microsatellite markers for mulberry (*Morus indica*). *Molecular Ecology Resources*, 4(3), 477-479. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00718.x>

Angelo, S., Sasson, A., Costarini, V., Aguiar, V., Ortiz, M., Sandoval, J., Colina, S., Fuguet, G., Verdú, R., and Garboza, L. (2013). Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. FAO.

- Botstein, D., White, R., Skolnick, M., and Davis, R. (1980). Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American Journal of Human Genetics*, 32(3), 314-331.
- Brown, A., and Briggs, J. (1991). Sampling Strategies for Genetic Variation in Ex Situ Collections of Endangered Plant Species. In, *Genetics and Conservation of Rare Plants* (pp. 99-119). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195064292.003.0007>
- Chacón, M., Sánchez Y., and Barrero, L. (2016). Genetic structure of a Colombian cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) collection by means of microsatellite markers. *Agronomía Colombiana* 34(1), 5-16. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1.52960>
- Cornejo, A., Serrato, A., Rendón, B., and Rocha, M.G. (2014). Herramientas moleculares aplicadas en ecología: aspectos teóricos y prácticos. [1 ed.], Semarnat, INECC y UAM, 1, 1-75.
- Datta, R.K., Sarkar, A., Rao, P.R., and Singhvi, N.R. (2002). *Utilization of mulberry as animal fodder in India*. Mulberry for Animal Production: Proceedings of an Electronic Conference Carried Out Between May and August 2000, (183).
- Dempewolf, H., Baute, G., Anderson, J., Kilian, B., Smith, C. and Guarino, L. (2017). Past and future use of wild relatives in crop breeding. *Crop Science*, 57(3), 1070-1082. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0885>
- Earl, D.A. and Vonholdt, B.M. (2012). Structure Harvester: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetics Resources*, 4(2), 359-361. <https://doi.org/10.1007/s12686-011-9548-7>
- Ellegren, H., and Galtier, N. (2016). Determinants of genetic diversity. *Nature Reviews Genetics* 17, 422-433. <https://doi.org/10.1038/nrg.2016.58>
- Evanno, G., Regnaut, S., and Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8), 2611-2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>
- Excoffier, L., and Lischer, H.E. (2010). Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*, 10(3), 564-567. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x>
- Falush, D., Stephens, M., and Pritchard, J. K. (2007). Inference of population structure using multilocus genotype data: dominant markers and null alleles. *Molecular Ecology Notes*, 7(4), 574-578. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01758.x>
- Falush, D., Stephens, M., and Pritchard, J. K. (2003). Inference of population structure using multilocus genotype data: linked loci and correlated allele frequencies. *Genetics*, 164(4), 1567-

1587. <https://doi.org/10.1093/genetics/164.4.1567>

Frankel, O.H., Brown, A. H., and Burdon, J.J. (1995). *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press.

García, B., González, H., Martínez, C., Cenis, L.J., Pérez, C.D., Martínez, Y., and Martínez, P. (2019). The molecular characterization of an extended mulberry germplasm by SSR markers. *Genetika*, 51(2), 389-403. <https://doi.org/10.2298/GNSR1902389G>

García, M., López, A., Álvarez, S., Guarinzo, P., Tirado, I., Postillos, M., Araujo, I., and Siles, M. (2020). Análisis de diversidad genética de *Physalis peruviana* L. procedente de tres regiones de Perú utilizando marcadores microsatélites. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 326-337.

Guerra, M., Ruiz R., and Pardo, E. (2018). Diversidad genética de *Mangifera indica* (Anacardiaceae) en Valencia, Córdoba, Colombia, usando marcadores microsatélites. *Acta Botánica Mexicana* 124, 105-116. <https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1285>

Guruprasad, R.R. (2011). *Development of core collection of mulberry (*Morus spp.*) germplasm by molecular marker aided analysis*. [Thesis Doctor of Philosophy]. University of Mysore, India.

Herrera, J., Berdúo, J., Ruiz, J., Kaloussova, M., and Melgar, S. (2021). Informe final: Estudio de diversidad genética del cedro nativo guatemalteco y establecimiento de una colección núcleo *in*

vitro. Proyecto B21-2020. Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA), Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Hubisz, M.J., Falush, D., Stephens, M., and Pritchard, J.K. (2009). Inferring weak population structure with the assistance of sample group information. *Molecular Ecology Resources*, 9(5), 1322-1332. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2009.02591.x>

Kalinowski, S.T., Taper, M.L., and Marshall, T.C. (2007). Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology*, 16(5), 1099-1106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03089.x>

Kearse, M., Moir, R., Wilson, A., Stones, S., Cheung, M., Sturrock, S., Buxton, S., Cooper, A., Markowitz, S., and Durán, C. (2012). Geneious Basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data. *Bioinformatics*, 28(12), 1647-1649. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts199>

Krishnan, R.R., Naik, V.G., Ramesh, S.R., and Qadri, S.M. (2014). Microsatellite marker analysis reveals the events of the introduction and spread of cultivated mulberry in the Indian subcontinent. *Plant Genetic Resources*, 12(1), 129-139. <https://doi.org/10.1017/S1479262113000415>

Laos, A. (2022). *Análisis de la diversidad genética de las poblaciones silvestres del cedro*

de altura *Cedrela angustifolia* utilizando marcadores moleculares. [Tesis Licenciatura]. Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Biología. Lima (Perú).

Loo, J. (2011). *Manual de genética de la conservación. Principios aplicados para la conservación de la diversidad biológica.* CONAFOR.

Mathithumilan, B., Kadam, N., Biradar, J., Reddy, S., Ankaiah, M., Narayanan, M., Makarla, U., Khurana, P., and Sreeman, S. (2013). Development and characterization of microsatellite markers for *Morus* spp. and assessment of their transferability to other closely related species. *BMC Plant Biology*, 13(194), 21. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-194>

Orhan, E., Melekse, A., Eyduran, S., and Ercisli, S. (2020). Molecular characterization of mulberry genotypes and species in Turkey. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(2), 549-557. <https://doi.org/10.15835/nbha48211928>

Peakall, R., and Smouse, P. (2012). GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*, 28, 2537 - 2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>.

Peakall, R., and Smouse, P. (2006). GenAlEx 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*,

6(1), 288-295. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>

Perrier, X., and Jacquemoud, J. (2015). *DARwin software: Dissimilarity analysis and representation for windows* (6.0). CI-RAD. <http://darwin.cirad.fr/>

Pritchard, J.K., Stephens, M., and Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2), 945-959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>

Rambaut A. (2014). *FigTree, ver. 1.4.2.* Program distributed by the autor. University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland. <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree>

Rauf, S., Teixeira da Silva, J., Khan, A., and Naveed, A. (2010). Consequences of plant breeding on genetic diversity. *Intl J Plant Breeding*, 4, 1-21.

Ruiz, X. (2022). *Selección de Parentales de Gusano de Seda *Bombyx Mori* para el Programa de Mejoramiento Genético Serícola del Cauca.* [Tesis Doctoral]. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

Slatkin, M. (1985). Rare alleles as indicators of gene flow. *Evolution*, 39(1), 53-65. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1985.tb04079.x>

Sohn, K.W. (2014). *Technical manual for tropical sericulture: practical technology to produce silkworm eggs and cocoons in the tropics.* Korea International Cooperation Agency (KOICA).

Suárez, D., Herrera, J., Lara, A., and Parra, G. 2016. Diversidad y origen genético de poblaciones introducidas de bagre de canal (*Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818), en el centro occidental de México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(3), 525-534. <https://doi.org/10.3856/vol44-issue3-fulltext-11>

Tikader, A., and Vijayan, K. (2010). Assessment of biodiversity and strategies for conservation of genetic resources in mulberry (*Morus* spp.). *Tree and Forest Biodiversity. Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, 4, 15-27.

Vijayan, K., Saratchandra, B., and Teixeira da Silva, J. A. (2011). Germplasm conservation in mulberry (*Morus* spp.). *Scientia Horticulturae*, 128(4), 371-379. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.11.012>

Viteche, A. (2015). *Ruta de transición agroecológica de unidades serícolas en el municipio de Timbío Cauca*. [Tesis pregrado]. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

Vivas, N., and Morales, S. (2005). Evaluación agronómica y producción de grano

de diez accesiones de guandul (*Cajanus cajan*) en la meseta de Popayán-Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 3(1), 36-40.

Wangari, N.P., Gacheri, K.M., Theophilus, M.M., and Lucas, N. (2013). Use of SSR markers for genetic diversity studies in mulberry accessions grown in Kenya. *International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research*, 4(3), 38-44. <https://doi.org/10.5897/IJBM-BR11.057>

Wani, S.A., Bhat, M.A., Malik, G.N., Zaki, F.A., Mir, M.R., Wani, N., and Bhat, K.M. (2013). Genetic diversity and relationship assessment among mulberry (*Morus* spp.) genotypes by simple sequence repeat (SSR) marker profile. *African Journal of Biotechnology*, 12(21), 3181-3187.

Zhao, W., Miao, X., Jia, S., Pan, Y., and Huang, Y. (2005). Isolation and characterization of microsatellite loci from the mulberry, *Morus* L. *Plant Science*, 168(2), 519-525. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.09.020>

 **Conflict of interests**
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 09-12-2022

Fecha de aceptado: 28-06-2023

DOI: 10.22490/21456453.6558

TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN EMERGENTES EN CAFÉS ESPECIALES: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

EMERGING RESEARCH TRENDS IN SPECIALTY COFFEE: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Esteban Largo-Avila ¹

Carlos Hernán Suárez-Rodríguez ²

Juan David Rubiano-Granada ³

¹ Ph.D Ingeniería-Sistemas Energéticos. Universidad del Valle sede regional Caicedonia, Caicedonia (Colombia). esteban.largo@correounalvalle.edu.co

² Magíster en sistemas integrados de gestión de la calidad. Universidad del Valle sede regional Caicedonia, Caicedonia (Colombia). carlos.hernan.suarez@correounalvalle.edu.co

³. Estudiante de Contaduría Pública. Grupo de Investigación, Innovación y Desarrollo en Café Especiales-GIIDCE. Universidad del Valle sede regional Caicedonia, Caicedonia (Colombia). rubiano.juan@correounalvalle.edu.co

Citación: Largo, E., Suárez, C. y Rubiano, J. (2024). Tendencias de investigación emergentes en cafés especiales: un análisis bibliométrico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 71-95. <https://doi.org/10.22490/21456453.6558>

RESUMEN

Contextualización: el mercado de cafés especiales ha aumentado su popularidad debido a sus características relacionadas con una mejora y una exclusividad en sus factores sensoriales de calidad, a través de diferentes procesos y actores determinados, con los que se busca garantizar la excelencia en cada etapa de la cadena productiva de los cafés especiales. Esto implica aspectos como la selección de las mejores condiciones de temperatura, altitud y suelo, así como la importancia de la recolección, el tueste, la preparación y el disfrute, los cuales influyen directamente en la experiencia de calidad.

Vacío de conocimiento: con relación al campo de conocimiento de los cafés, es deficiente la aplicación de revisiones de literatura, especialmente mediante técnicas de análisis bibliométrico. Adicionalmente, no se encuentra ningún documento que aborde la temática de cafés especiales y describa de forma exhaustiva las diferentes líneas de investigación e indicadores.

Propósito: esta investigación pretende sintetizar la literatura académica relacionada con el campo de los cafés especiales por medio de un análisis bibliométrico, por lo que se hace necesaria una búsqueda histórica en relación con el campo de

conocimiento para determinar diferentes indicadores que describan el estado actual de la producción científica.

Metodología: para la revisión se recolectaron 417 documentos de la base de datos Scopus. Se construyeron diferentes indicadores que describen los principales tópicos en relación con la producción, autores, revistas, países y artículos más citados, además, se construyen redes bibliométricas para identificar tendencias. Finalmente, mediante un análisis cualitativo se describen futuras líneas de investigación.

Resultados y conclusiones: los resultados revelan cómo el contexto de producción y comercialización influye de manera determinante en la investigación, especialmente considerando que Brasil ostenta el liderazgo como principal productor académico en este campo. A través de indicadores y redes bibliométricas, se reconocen líneas de investigación que analizan los componentes fisicoquímicos, la calidad sensorial del café, el mercado, consumo y gobernanza de los cafés especiales.

Palabras clave: cafés especiales, calidad sensorial, gobernanza del café, indicadores bibliométricos, mapeo bibliográfico, mercado del café

ABSTRACT

Contextualization: The specialty coffee market has increased in popularity due to its characteristics related to improvement and exclusivity in its sensory quality factors through different processes and determined actors. Through diverse processes and specific actors, it is aimed to guarantee excellence in each stage of the production chain of specialty coffees. It involves aspects such as the best temperature, altitude, and soil conditions selection, as well as the importance of harvesting, roasting, preparation, and enjoyment, which directly influences the quality experience.

Knowledge gap: In relation to the field of knowledge on coffee, the application of literature reviews is deficient, mainly through bibliometric analysis techniques. Additionally, there is no document addressing the topic of specialty coffees or exhaustively describing the different lines of research and indicators.

Purpose: This research aims to synthesize the academic literature related to the specialty coffee area through a bibliometric analysis. Hence, a historical search related

to the field of knowledge is necessary to determine different indicators describing the current state of scientific production.

Methodology: 417 documents were collected from the Scopus database for review. Different indicators are built to describe the main topics concerning production, authors, journals, countries, and most cited articles. Additionally, bibliometric networks are built to identify trends. Finally, the future lines of research are described through a qualitative analysis.

Results and conclusions: Results reveal how the production and marketing context decisively influence research, especially considering that Brazil is the leading academic producer in this field. Through indicators and bibliometric networks, the lines of research that analyze the physico-chemical components, the sensory quality of coffee, the market, and the consumption and governance of specialty coffees are recognized.

Keywords: specialty coffees, sensory quality, coffee governance, bibliometric indicators, literature mapping, coffee market

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

El café especial, según las normas de la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA), es un café que ha sido estandarizado desde la plantación hasta la entrega al consumidor, cumpliendo todas las normas de calidad y resaltando las características de la bebida (Laukaleja y Kruma, 2018). En este sentido Lee *et al.* (2022) lo definen como el café procedente de una sola finca, granja o pueblo de una

región cafetera, que tiene un aroma único y refleja la región productora.

Es importante el reconocimiento de los diferentes actores en el proceso del café, donde el agricultor es el protagonista. Diferentes investigaciones ponen el foco en los agricultores, analizando si su participación en el mercado de cafés especiales puede disminuir su vulnerabilidad, generarles beneficios y asegurar para ellos los medios de vida (C. Bacon, 2005; C. M.

Bacon *et al.*, 2008; Wollni y Zeller, 2007). Adicionalmente, la comunidad científica se preocupa por los granos de café y sus diferentes propiedades fisicoquímicas, se determinan los diferentes factores que pueden influir en los procesos y métodos. Recientes investigaciones comparan métodos basados en espectroscopia y quimiometría, analizan la discriminación química y sensorial del café, además, determinan la relación entre diferentes cambios físicos (Anastácio *et al.*, 2022; Belchior *et al.*, 2022; Cortés-Macías *et al.*, 2022).

Según lo planteado anteriormente, se puede observar que hay un interés importante en el desarrollo de temáticas alrededor del campo de los cafés especiales. En este sentido, el presente estudio pretende analizar la literatura científica alrededor del contexto de los cafés de especialidad por medio de un análisis bibliométrico en la base de datos Scopus.

Los métodos bibliométricos se han utilizado ampliamente para proporcionar mapas completos de la estructura del conocimiento en una corriente bibliográfica determinada (Rialti *et al.*, 2019). Para el área temática de la agricultura, recientes investigaciones han aplicado la bibliometría para comparar las tendencias investigativas sobre trigo y cebada; identificar la producción en el tiempo sobre recursos genéticos y evolución de cultivos; además de describir el uso del internet de las cosas en la seguridad alimentaria, así como en

el proceso de fermentación de alimentos (Adeleke *et al.*, 2023; Bouzembrak *et al.*, 2019; Giraldo *et al.*, 2019; Hussain y Bhat, 2023).

En tal sentido, se recurre a este tipo de metodología debido al propósito de caracterizar todo un campo científico que, por medio de indicadores bibliométricos, puede generar una descripción actual del estado del arte de los cafés especiales, contribuyendo en la construcción de un marco de referencia para investigadores y futuros estudios. La aplicación de técnicas bibliométricas tiene poco desarrollo en el tema de cafés, algunos estudios analizan técnicas de precisión y Agricultura 4.0 para promover la sostenibilidad, la certificación internacional, el desarrollo de la investigación agronómica y las cadenas de suministro sostenibles (Cabrera *et al.*, 2020; Guimarães *et al.*, 2022; Madrid-Casca et al., 2021; Sott *et al.*, 2020); en

el caso de los cafés especiales no se encuentra ningún artículo que aborde dicha metodología desde alguna perspectiva.

Por su parte, este documento se divide en cuatro secciones incluyendo la presente introducción; la segunda sección, muestra la metodología empleada para el desarrollo del análisis; la tercera sección, presenta los resultados más relevantes en el campo; y la cuarta sección, destaca las conclusiones, limitaciones y algunas futuras líneas de investigación acerca del estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis bibliométrico hace referencia a un método popular riguroso para explorar grandes volúmenes de datos científicos cuantitativos a través de la estadística, permitiendo desentrañar los matices evolutivos de un campo del conocimiento (Donthu *et al.*, 2021). Una de las ventajas de la técnica bibliométrica consiste en el análisis de la red de visualización, este método clasifica el alcance y la estructura de una disciplina por medio de los autores o artículos influyentes y los principales clústeres de investigación relacionados (Ye *et al.*, 2020). Otra faceta esencial del análisis bibliométrico radica en la identificación de progresos académicos y científicos, con el propósito de una representación del saber generado a través de múltiples estructuras conceptuales dentro del contexto académico (Kaffash *et al.*, 2020).

Para el desarrollo de la presente investigación, se tomó como referencia el proceso metodológico aplicado por Rodríguez *et al.* (2020), el cual consta de cinco fases: selección de la base de datos; definición de tesauros de búsqueda; análisis de la información; descarga de información; e informe bibliométrico.

Selección de bases de datos

Se selecciona la base de datos Scopus debido a su nivel de alto impacto en la literatura científica mundial, además de

contar con producción académica en diferentes campos de la ciencia. Scopus presenta una cobertura de publicaciones que cumplen con un estricto conjunto de requisitos para la indexación (por ejemplo: ser científica y académicamente relevante) y presenta con exhaustividad la información bibliométrica de las publicaciones que indexa (Kumar *et al.*, 2021).

Definición tesauros de búsqueda

Con relación a la recolección de los documentos se emplearon dos términos de búsqueda, “Specialty coffee” y “Speciality coffee”, de manera no excluyente, debido al interés de caracterizar el campo con la documentación histórica disponible. En este sentido, se plantea la siguiente ecuación de búsqueda: (TITLE-ABS-KEY (“specialty coffee”) OR TITLE-ABS-KEY (“speciality coffee”))

La anterior ecuación permitió la muestra de un total de 417 documentos relacionados al campo, dichos documentos fueron seleccionados a corte del mes de octubre de 2022. Adicionalmente, para la definición de las líneas de investigación fue necesario, por medio de la herramienta de generación de redes bibliométricas VOS-viewer (2010), realizar un proceso de elegibilidad de registros, como se describe en la Figura 1.

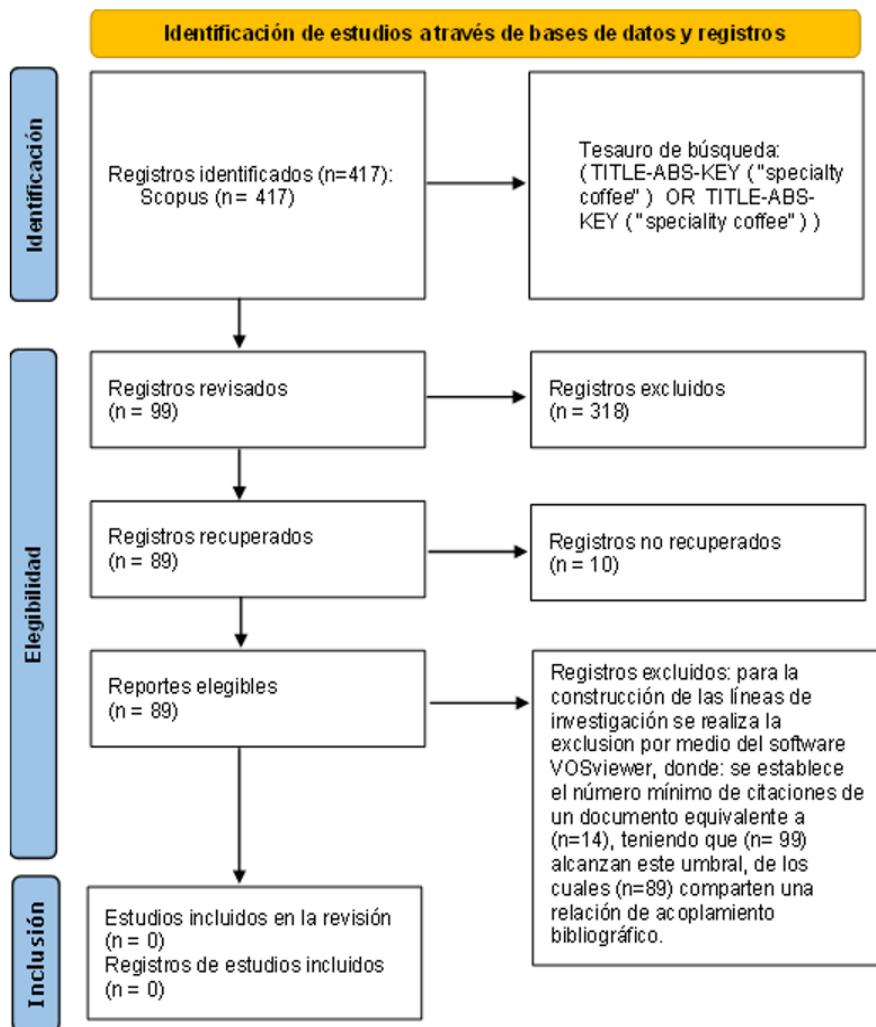


Figura 1. Diagrama de flujo de las nuevas revisiones sistemáticas que incluyen únicamente búsquedas en bases de datos y registros.

Fuente: PRISMA (2020).

Análisis de la información

Se utilizan las herramientas descriptivas de Scopus para determinar cada uno de los indicadores bibliométricos analizados. En este sentido, se hace necesario la construcción de tablas y figuras que permitan el análisis desde: producción a través del tiempo, revistas más importantes en el campo, países con mayor producción, autores con mayor número de publicacio-

nes y artículos más citados. Por otro lado, se hace necesario la representación de redes de acoplamiento y co-ocurrencia para representar la información que sirvió de objeto de estudio, haciendo uso del paquete bibliométrico VOSviewer (Van Eck y Waltman, 2010). Para finalizar, es necesario plantear las líneas de investigación a través de los documentos extraídos por medio de una revisión cualitativa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción científica en el tiempo

A través de la investigación, se ha podido identificar que el primer documento encontrado se remite al año 1957, en el cual se llevó a cabo una evaluación nutricional del café. En este estudio, se incluye un bioensayo para analizar la presencia y concentración de niacina, revelando niveles altos en los diferentes tipos de café especiales obtenidos en el mercado abierto. (Teply y Prier, 1957). Seguidamente, teniendo en cuenta la Figura 2, se puede observar que en los años siguientes no se tiene producción, es hasta el año 1996 donde reaparece la mención de los cafés especiales en dos documentos.

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir del año 2002, la producción comienza a tener un alza destacando siete picos importantes en los años 2003, 2005, 2008, 2015, 2016, 2018, 2019; con una participación de 4, 6, 12, 14, 24, 33 y 54 documentos respectivamente. De esta manera, en la década pasada se tiene la mayor participación de producción científica. Posteriormente, el año 2021 es el año más productivo con un total de 74 documentos, teniendo una participación del 19,42% del total de la producción. De la misma manera, es importante mencionar que a la fecha de octubre de 2022 se han publicado 47 documentos.

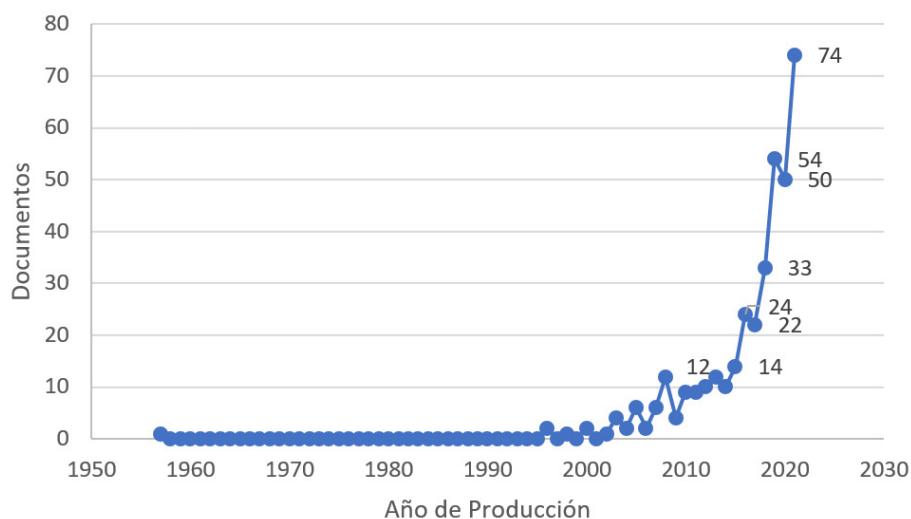


Figura 2. Producción científica a través del tiempo en el campo de cafés especiales. Fuente: adaptado de Scopus (2022).

Países más productivos

La producción científica en cafés especiales alrededor del mundo se representa en la Figura 3: Brasil es el principal exponente con un total de 134 documentos, que representan un 30,97% del total de la producción; en segundo lugar, se encuentra Estados Unidos con un total de 77 do-

cumentos, que representa el 19,94% de la producción; en tercer lugar, se encuentra Indonesia con 39 documentos, que representan el 9,44% del total de la producción; seguidamente, en cuarto y quinto lugar se ubica Colombia y Reino Unido con un total de 36 y 26 documentos respectivamente.

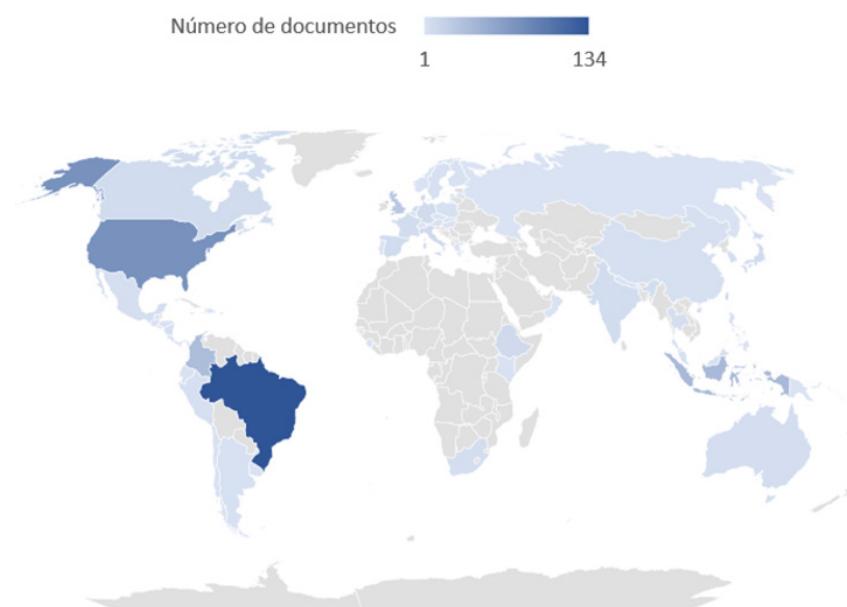


Figura 3. Países más productivos en el campo de cafés especiales.

Fuente: adaptado de Scopus (2022).

Revistas de alto impacto

En la Tabla 1 se muestran las 10 principales revistas. La revista *Coffee Science* de Brasil es la más productiva en el campo de los cafés especiales, con un total de 33 documentos. Seguidamente se encuentra, Iop Conference Series *Earth And Environmental Science* y la *Food Chemistry* del Reino Unido con 15 y 12 documentos respectivamente. Con relación a las otras revistas, se evidencia que existen publica-

ciones en revistas con temáticas de química alimentaria, investigación internacional alimentaria, calidad y preferencia de los alimentos. Por otra parte, en el campo de los cafés especiales cinco revistas cuentan con clasificación SJR-Q1, tres con clasificación SJR-Q2, una con clasificación SJR-Q3 y una revista que está en proceso de clasificación, demostrando así, que el campo está presente en revistas de alto impacto.

Tabla 1. Revistas de alto impacto en el campo de los cafés especiales.

Revista	Nº de documentos	SJR
Coffee Science	33	Q3
Iop Conference Series Earth And Environmental Science	15	
Food Chemistry	12	Q1
Food Quality And Preference	8	Q1
Food Research International	8	Q1
Journal Of The Science Of Food And Agriculture	7	Q1
Sustainability Switzerland	7	Q1
British Food Journal	5	Q2
European Food Research and Technology	5	Q2
International Food And Agribusiness Management Review	5	Q2

Fuente: adaptado de Scopus (2022).

Autores con mayor producción

La Tabla 2 muestra una síntesis de los autores más prolíficos en el campo de los cafés especiales, entre ellos, destaca Flavio Moira Borem como el autor más productivo, con un total de 22 documentos, cuyas contribuciones se centran en temas relacionados con los granos de café, el café

arábica, los antioxidantes y los procesos de secado. Por otra parte, se resalta que, de los diez autores presentados, ocho se encuentran afiliados a instituciones de Brasil y dos se encuentran afiliados a instituciones de Indonesia, lo cual, da muestra del impacto del país suramericano en la producción global.

Tabla 2. Autores con mayor producción en el campo de los cafés especiales.

Nº	Autores	Documentos
1	Borém, F.M.	22
2	Pereira, A.A.	10
3	Suhandy, D.	9
4	Yulia, M.	9
5	Carvalho, G.R.	9
6	Schwan, R.F.	9
7	Carvalho, F.M.	9
8	Malta, M.R.	8
9	Pereira, L.L.	7
10	Pereira, R.G.F.A.	7

Fuente: adaptado de Scopus (2022).

Artículos más citados

Con relación a los trabajos más citados en el tema de los cafés especiales se presentan los 10 principales según el número de citaciones.

En primer lugar, el documento de Bacon (2005), que ha sido citado 489 veces, examina la correlación entre los cambios en los mercados globales del café y la creación de oportunidades, así como la disminución de la vulnerabilidad de los pequeños agricultores, destacando la importancia de las variedades de café especial para los productores locales. En segundo lugar, está el estudio de McCusker *et al.* (2003), el cual se centra en la medición del contenido de cafeína en muestras de café especial y ha obtenido 198 citaciones. Además, Kerrigan y Lindsey (2005) investigan casos de sobredosis de cafeína, con 175 citaciones, mientras que Wollni y Zeller (2007), con 148 citas, analizan los beneficios que obtienen los agricultores al participar en mercados especiales y cooperativas; los documentos mencionados ocupan el tercer y cuarto lugar respectivamente. Ocupando el quinto lugar con un total de 139 citaciones, se informa sobre una investigación empírica longitudinal sobre la dinámica de la gobernanza en una iniciativa de sostenibilidad de la cadena de suministro de múltiples partes interesadas dirigida por la división de cafés especiales de Nestlé (Álvarez *et al.*, 2010). También en quinto lugar, Álvarez *et al.* (2010), con 139 citaciones, examinan la gobernanza en una iniciativa de sostenibilidad de la cadena de suministro de

café. En sexto lugar, Bacon *et al* (2008), con 116 citaciones, estudian la eficacia de las certificaciones de café sostenible para garantizar el sustento de los agricultores. Mas y Dietsch (2004), con 104 citaciones, en séptimo lugar, realizan la primera evaluación ecológica de la certificación de café de sombra en relación con la conservación de la biodiversidad. Teuber (2010) ubicado en octavo lugar, con 82 citaciones, examina las indicaciones geográficas de origen como una herramienta para la diferenciación en el sector del café especial. En noveno lugar, Van Der Vossen (2005), con 77 citaciones, analiza la sostenibilidad agronómica y económica de la producción de café orgánico. Finalmente, Tolessa *et al* (2016), citado 64 veces, presentan un modelo para predecir la calidad del café basado en la espectroscopía de infrarrojo cercano de los granos de café verde.

Acoplamiento bibliográfico

El acoplamiento bibliográfico establece la similitud entre documentos mediante la identificación de elementos que comparten las mismas referencias, lo que permite conocer la importancia de las publicaciones en el conjunto de datos en términos de su posicionamiento en la red (Caputo *et al.*, 2021; Veloutsou y Ruiz, 2019). En la Figura 4, presentado a continuación, se ilustra la red de acoplamiento bibliográfico con la ayuda del paquete biométrico VOSviewer (Van Eck y Waltman 2010). Lo anterior, permitió la construcción de nueve clústeres o corrientes de investigación

distintas y la descripción de las más relevantes.

A través de la aplicación de métodos de estadística multivariada, como el análisis de agrupación y mapeo, se determinan las redes de acoplamiento que facilitan la formación de grupos. Este proceso se basa en análisis que producen diversas medidas sobre el grafo, como: el número total de nodos, los nodos aislados, el grado medio, los componentes débilmente

vinculados y la densidad del grafo (Cobo *et al.*, 2011). En el contexto específico de la utilización de la herramienta VOSviewer para la construcción de redes, la validación estadística es proporcionada por un algoritmo de estimación que se define por la resolución de parámetros. En este sentido, un mayor valor de este parámetro implica un mayor número de conglomerados (Van Eck y Waltman, 2014). Asimismo, se implementan técnicas para la normalización de la fuerza de asociación.

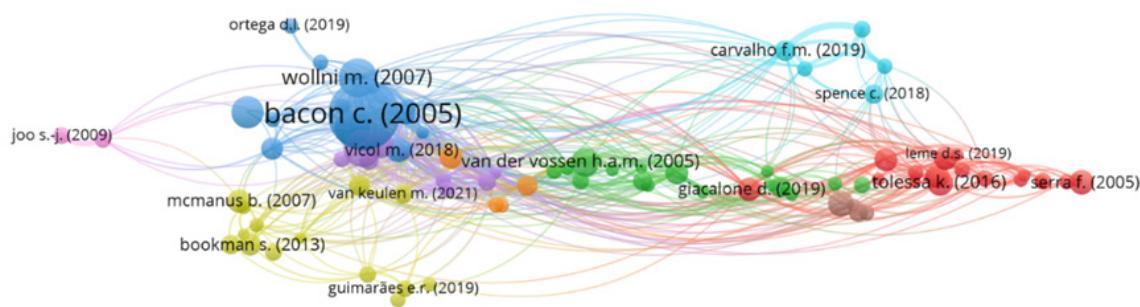


Figura 4. Red de acoplamiento bibliográfico sobre cafés especiales

Fuente: VOSviewer según registros de Scopus (2022).

Análisis de tendencias científicas sobre cafés especiales

Clúster 1 (rojo)-análisis fisicoquímico del proceso de producción y su influencia en la calidad del café

En la presente corriente de investigación se abordan diversas metodologías y factores que afectan la calidad y características fisicoquímicas del café. En una primera línea de investigación, se explora el uso de

la espectroscopia como modelo para determinar los atributos de calidad del café. Se emplean técnicas de espectroscopia y análisis sensorial para clasificar el café según su perfil sensorial, centrándose en aspectos como aroma, sabor, regusto y acidez, que han demostrado consistencia en los resultados (Belchior *et al.*, 2019).

Por otro lado, se examina cómo el tamaño de las partículas, el tiempo de contacto y el tipo de café, influyen en las características fisicoquímicas y sensoriales del café

preparado en frío (Cordoba *et al.*, 2019). Además, se realiza un análisis de componentes para identificar el origen continental del café, basándose en las proporciones isotópicas de varios elementos presentes en los granos verdes (Serra *et al.*, 2005).

Por último, se explora la función de la levadura en la producción, procesamiento y calidad del café. Esta se considera una alternativa viable para la diferenciación sensorial del café, y se examina en variedades como Mundo Novo y Catuaí, procesadas mediante el método húmedo (Martins *et al.*, 2019). Se investiga su impacto en la calidad sensorial y en el perfil de compuestos. Adicionalmente, se evalúa la eficiencia de la esterilización del café y la adhesión de células microbianas en los granos, el efecto de la levadura y los iniciadores bacterianos en la producción de compuestos orgánicos y volátiles, y la selección de posibles precursores de marcadores de sabor durante la fermentación húmeda (Bressani *et al.*, 2020; Martínez *et al.*, 2019).

Clúster 2 (verde)-calidad sensorial del café

En la presente línea de investigación, se aborda la influencia de diversos factores climáticos, topográficos y edáficos en la calidad del café especial. Entre los factores climáticos se incluyen las precipitaciones, la temperatura, la humedad y la radiación, mientras que los factores topográficos se refieren a la elevación, la inclinación del terreno y su orientación. En

cuanto a los factores edáficos, estos implican la profundidad del suelo, su nivel de acidez o alcalinidad, y su fertilidad (Chemura *et al.*, 2021).

La ubicación de la plantación y su altitud son determinantes en la calidad del café. En general, los granos de café producidos en altitudes más altas, bajo condiciones de sombra abierta o moderada, y recolectados en períodos tempranos o intermedios de la cosecha, tienden a tener una mayor calidad (de Assis Silva *et al.*, 2016; Tolessa *et al.*, 2017).

Además, los cafés especiales se distinguen por diversas características, entre las que se incluyen las condiciones ambientales en las que se producen y la composición sensorial de la bebida (de Souza Silveira *et al.*, 2016). Países como Brasil están incrementando su enfoque en la calidad del café producido, en respuesta a la demanda creciente de los llamados cafés especiales. Los productores están considerando, junto a las características agronómicas, la calidad física y sensorial de los granos (Barbosa *et al.*, 2019).

Clúster 3 (azul)-industria global del café

Los mercados de café a nivel mundial están en constante evolución, enfrentando numerosos desafíos que definen la crisis en el mercado de cafés convencionales como se muestra en la presente línea de investigación. Un contrapunto a esto es el comercio justo certificado y el café orgánico, que se destacan como opciones capa-

ces de disminuir la vulnerabilidad económica de los agricultores (C. Bacon, 2005). En este contexto, se ha demostrado que los pequeños productores, que se adentran en los mercados de comercio justo, tienen la capacidad de producir y exportar consistentemente café de alta calidad (C. M. Bacon, 2013). No obstante, se podría trazar un camino alternativo hacia la rentabilidad a través de la modernización de las tecnologías de producción y postcosecha. Según este enfoque, si se orienta el esfuerzo hacia la producción de cafés especiales de alta calidad, es posible conseguir precios más elevados incluso sin contar con una etiqueta de comercio justo (Mendoza y Bastiaensen, 2003).

Enfrentando desafíos como el deterioro de la calidad, las dificultades en la posición comercial, un marco regulatorio deficiente y una infraestructura insuficiente, el sector del café afronta algunas disyuntivas. Entre las recomendaciones para superar estos obstáculos, se encuentran la de incrementar la participación de los cafés especiales y enfocarse en el control del marchitamiento del café, así como, en la efectividad de los programas de replantación donde es imperativo que las políticas públicas intervengan (Baffes, 2006). En este sentido, el papel del Estado y la política interna son fundamentales para trazar rutas de mejora en los países en desarrollo, contribuyendo a la creciente atención que la economía política internacional pone en el cómo las presiones a diversas escalas han moldeado las estrategias de mejora en el sector cafetero (Behuria, 2020).

Clúster 4 (amarillo)-consumo del café

El rol de los consumidores en el mercado del café es de destacada importancia, particularmente en relación con su interacción en entornos sociales, como se explica en la siguiente línea de investigación. Los consumidores contribuyen a la creación de espacios amigables, estableciendo patrones de relación con las marcas y generando interacciones en lo que se denomina “tercer lugar” (Bookman, 2014). Además, las formas en que los consumidores interactúan con las marcas cobran relevancia al enmarcar una perspectiva estrecha de cosmopolitismo como parte de la experiencia de marca. Los productores de café, por su parte, aportan un conjunto de prácticas éticas y culturales, poniendo especial énfasis en elementos como el cosmopolitismo y el ambientalismo (Bookman, 2013; Shaker y Rath, 2019).

En el contexto actual, el mercado del café especial parece estar compuesto por consumidores y grupos de interés social y ecológicamente conscientes, quienes, a pesar de enfrentar adversidades económicas, se mantienen buscando una participación en los flujos globales de capital (West, 2010). Paralelamente, las estrategias de marketing se orientan cada vez más hacia la práctica de consumo urbano contemporáneo de café especial. Estas buscan explorar las formas complejas en que las marcas globales intentan potenciar el valor promocional de sus productos a través de la movilización de las “biografías de productos básicos” locales (Lyons, 2005).

Clúster 5 (morado)-precios y gobernanza

Bajo la presente corriente de investigación, en primer término, las prácticas empresariales aplicadas en la producción y comercialización del café son consideradas como representantes de los mecanismos de gobernanza de la calidad (Rosenberg *et al.*, 2018). Se enfatiza la relevancia de las diversas decisiones tomadas para coordinar los distintos grupos de interés. En este proceso, se integran mecanismos formales de gobernanza en las relaciones interempresariales, con el objetivo de facilitar el crecimiento de la red en la cadena de suministro y, brindar transparencia a todos los actores involucrados. Además, se emplean modelos de idoneidad, que incluyen las perspectivas de los actores locales en la industria del café. Para determinar las ponderaciones de los criterios biofísicos y de infraestructura en el análisis de idoneidad, se utiliza el proceso de jerarquía analítica (Álvarez *et al.*, 2010; Mighty, 2015).

Posteriormente, se abordan las estimaciones de los determinantes del precio en los cafés especiales. Los principales hallazgos sugieren que los precios de compensación y las ecuaciones de precios hedónicos son

determinados por una función de las características sensoriales y variables de reputación. Esto incluye la clasificación de calidad por parte de terceros, el país de origen, la variedad de café y la cantidad (Donnet *et al.*, 2007, 2008). La calidad sensorial ejerce un efecto significativo en el precio, las primas más altas se derivan de la obtención de un rango superior en comparación con otros cafés del mismo país, indicando que la región es un factor determinante en la estimación del precio (Teuber, 2010; Wilson y Wilson, 2014).

Red de co-ocurrencia de términos

En la Figura 5, se ilustra la red de co-ocurrencia de términos con la ayuda del paquete bibliométrico VOSviewer (Van Eck y Waltman 2014). La co-ocurrencia de palabras clave identifica el número de veces que dos palabras clave se utilizan juntas en los artículos de la muestra y, por lo tanto, indica su proximidad (Veloutsou y Ruiz, 2019). En este sentido, según la frecuencia de aparición de un término se acoplan para generar una red, de esta manera, se presentan once clústeres de palabras a través de un conteo fraccionado y de la eliminación de sinónimos; se describen los cinco principales.

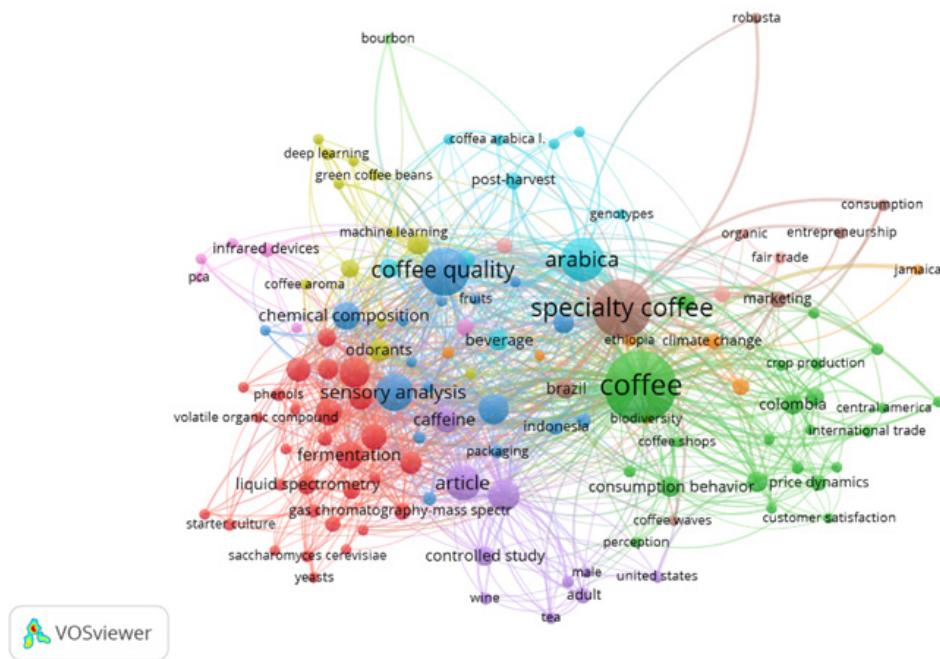


Figura 5. Red de co-ocurrencia de términos sobre cafés especiales.

Fuente: VOSviewer según registros de Scopus (2022).

Análisis de clúster

El clúster 1, representado en rojo, congrega palabras clave relacionadas con la composición fisicoquímica del café. En este se evalúan métodos de rendimiento de cromatografía y procedimientos de espectrometría líquida y de masas, utilizados para analizar componentes volátiles del café. Por otra parte, el clúster 2, de color verde, engloba términos relacionados con la producción y consumo del café. Este se centra en identificar el comportamiento del consumidor, así como distintos factores que intervienen en el precio, la sostenibilidad y el comercio justo del

café. En tanto, el clúster 3, de tono azul, reúne palabras asociadas a características geográficas como la temperatura y la altitud, que intervienen en el análisis y en la determinación de los perfiles de calidad sensorial del café. Adicionalmente, el clúster 4, de color amarillo, se centra en el uso de herramientas tecnológicas avanzadas como la inteligencia artificial para procesos de clasificación relacionados con los granos de café. Finalmente, el clúster 5, representado en morado, refleja la afinidad de palabras en análisis multivariantes, empleados para evaluar sensorialmente el proceso de tostado del café.

4. CONCLUSIONES

El presente análisis bibliométrico es determinante debido al impacto notable de los cafés especiales en la literatura científica, es así como, el 2021 se convierte en el año con más publicaciones, siendo estas un total de 74 documentos. De manera que, se evidencia la importancia en revistas de alto impacto donde las principales cuentan con clasificación SJR-Q1, Q2 Y Q3.

Brasil es uno de los mayores productores de café a nivel mundial, ocupando los primeros lugares cada año, asimismo, en este estudio se evidencia que es el principal país y el más productivo en el tema de cafés especiales. En este sentido, se destaca su impacto en la producción científica, donde presenta una participación del 32% sobre el total de los documentos analizados. Agregando a lo anterior, se destaca por los autores con el mayor número de publicaciones en el campo, debido a que 8 de los 10 principales autores están ubicados en Brasil.

Por otro lado, los autores con mayor número de publicaciones y de citaciones en el tema de cafés especiales hacen sus contribuciones en temáticas con relación a los granos de café, el secado, escalas hedónicas, espectroscopia, análisis sensorial, reducción de la vulnerabilidad de los agricultores, contenido de cafeína, beneficios de participación, sostenibilidad, certificaciones, calidad de taza, entre otras.

La implementación de la red de acoplamiento bibliográfico y la red de co-ocurrencia de términos, permitió la identificación de cinco corrientes de investigación fundamentales en el campo de los cafés especiales. En primer lugar se encuentra la descripción de diversas metodologías para examinar las propiedades fisicoquímicas involucradas en el procesamiento, producción y control de calidad del café. En segundo lugar está el estudio de la influencia de varios factores en la percepción sensorial de la calidad del café. En tercer lugar se sitúa la exploración del proceso de generación de valor en el ámbito del café mediante el análisis del mercado, la industria y el sector específico del café. En cuarto lugar se halla la identificación de diversas circunstancias y entidades asociadas al consumo de café. Finalmente, se ubica la investigación acerca de las lógicas y factores determinantes en los procedimientos de evaluación de precios y la gobernanza en la industria del café.

Limitaciones y futuras líneas de investigación

La muestra del presente trabajo de investigación se obtuvo de la base de datos Scopus, por lo que se evidencia una limitación de alcance, haciendo necesario para próximas investigaciones la indagación en bases como Web of Science que permi-

tan una caracterización y/o comparación. Por otro lado, respecto a la identificación de las futuras líneas de investigación en el campo de los cafés especiales, fue realizado un análisis cualitativo con los últimos 15 documentos publicados en el año 2022, el cual es el más reciente.

Se plantea la necesidad de tener en cuenta diferencias genéticas y variables climáticas esenciales para entender mejor la calidad de la infusión y la bioquímica del grano (Getachew *et al.*, 2022), asimismo, es necesario aplicar el método de fermentación anaeróbica autoinducida con levaduras, fermentos lácticos, el sistema electromecánico con infrarrojos, utilizar cultivos iniciadores y gestionar cuidadosamente los ajustes de la fermentación, como forma de incrementar la calidad del proceso húmedo y los factores sensoriales del café (Batista da Mota *et al.*, 2022; Cassimiro *et al.*, 2022; Guevara-Sánchez *et al.*, 2022; Mahingsapun *et al.*, 2022).

El análisis sensorial desempeña un papel significativo en la determinación de la ca-

lidad del café, especialmente en su aroma y su sabor, en este sentido, a través de modelos de machine learning se determina un buen rendimiento en el reconocimiento del aroma del café, Lee *et al* (2022) recomiendan combinar la trazabilidad del café con huellas digitales y blockchain para garantizar la autenticidad de los datos del perfil de la cadena de suministro y la calidad del café. Adicionalmente, los tratamientos posteriores a la cosecha modifican el perfil sensorial del café, siendo necesario conducir nuevas investigaciones que estudien otros factores como el efecto del grado de tueste de los granos de café en el innovador proceso de extracción (Cortés-Macías *et al.*, 2022; Kyroglou *et al.*, 2022).

Finalmente, es necesario fomentar la colaboración y co-creación en la investigación y las iniciativas de la industria, con el fin de garantizar que los cafés especiales puedan construir una visión más equitativa y compartida para el futuro (Silanoi *et al.*, 2022; Smith *et al.*, 2022).

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Esteban Largo Avila: metodología, investigación, conceptualización, supervisión, discusión de resultados, escritura y revisión. **Carlos Hernán Suárez Rodríguez:**

logística, investigación, discusión de resultados, supervisión, escritura y revisión. **Juan David Rubiano Granada:** análisis de datos, escritura, revisión y edición.

► AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Valle sede regional Caicedonia por su contribución en el desarrollo de la investigación; asimismo, al laboratorio de cafés especiales Roast Lab Univalle por ser un espacio de investiga-

ción aplicada para impactar los diferentes actores pertenecientes al Paisaje Cultural Cafetero (PCC); al Grupo de Investigación, Innovación y Desarrollo en Café especiales-GIIDCE.

► LITERATURA CITADA

Adeleke, I., Nwulu, N., & Adebo, O. A. (2023). Internet of Things (IoT) in the food fermentation process: A bibliometric review. *Journal of Food Process Engineering*, 46(5). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14321>

Álvarez, G., Pilbeam, C., & Wilding, R. (2010). Nestlé Nespresso AAA sustainable quality program: An investigation into the governance dynamics in a multi-stakeholder supply chain network. *Supply Chain Management*, 15(2), 165-182. <https://doi.org/10.1108/13598541011028769>

Anastácio, L. M., da Silva, M. C. S., Debona, D. G., Veloso, T. G. R., Entringer, T. L., Bullergahn, V. B., da Luz, J. M. R., Moreli, A. P., Megumi, M. C., & Pereira, L. L. (2022). Relationship between physical changes in the coffee bean due to roasting profiles and the sensory attributes of the coffee beverage. *European Food Research and Technology*, 249, 327-339. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04118-4>

Bacon, C. (2005). Confronting the coffee crisis: Can Fair Trade, organic, and specialty coffees reduce small-scale farmer vulnerability in Northern Nicaragua? *World Development*, 33(3), 497-511. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.10.002>

Bacon, C. M. (2013). Quality revolutions, solidarity networks, and sustainability innovations: Following Fair Trade coffee from Nicaragua to California. *Journal of Political Ecology*, 20(1), 98-115. <https://doi.org/10.2458/v20i1.21760>

Bacon, C. M., Méndez, V. E., Gómez, M. E. F., Stuart, D., & Flores, S. R. D. (2008). Are sustainable coffee certifications enough to secure farmer livelihoods? The millennium development goals and Nicaragua's Fair-Trade Cooperatives. *Globalizations*, 5(2), 259-274. <https://doi.org/10.1080/14747730802057688>

Baffes, J. (2006). Restructuring Uganda's coffee industry: Why going back to basics matters. *Development Policy*

- Review, 24(4), 413-436. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7679.2006.00332.x>
- Barbosa, I. P., da Costa, W. G., Nascimento, M., Cruz, C. D., & de Oliveira, A. C. B. (2019). Recommendation of Coffea arabica genotypes by factor analysis. *Euphytica*, 215(10). <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2499-x>
- Batista da Mota, M. C., Batista, N. N., Días, D. R., & Schwan, R. F. (2022). Impact of microbial self-induced anaerobiosis fermentation (SIAF) on coffee quality. *Food Bioscience*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101640>
- Behuria, P. (2020). The domestic political economy of upgrading in global value chains: how politics shapes pathways for upgrading in Rwanda's coffee sector. *Review of International Political Economy*, 27(2), 348-376. <https://doi.org/10.1080/09692290.2019.1625803>
- Belchior, V., Botelho, B. G., & Franca, A. S. (2022). Comparison of Spectroscopy-Based Methods and Chemometrics to Confirm Classification of Specialty Coffees. *Foods*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/foods1111655>
- Belchior, V., Botelho, B. G., Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2019). Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Spectroscopy (ATR-FTIR) and chemometrics for discrimination of espresso coffees with different sensory characteristics. *Food Chemistry*, 273, 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.026>
- Bookman, S. (2013). Branded Cosmopolitanisms: "Global" Coffee Brands and the Co-creation of "Cosmopolitan Cool." *Cultural Sociology*, 7(1), 56-72. <https://doi.org/10.1177/1749975512453544>
- Bookman, S. (2014). Brands and urban life: Specialty coffee, consumers, and the co-creation of urban café sociality. *Space and Culture*, 17(1), 85-99. <https://doi.org/10.1177/1206331213493853>
- Bouzembrak, Y., Klüche, M., Gavai, A., & Marvin, H. J. P. (2019). Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science and Technology*, 94, 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.002>
- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Sarmiento, A. B. I., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Organic acids produced during fermentation and sensory perception in specialty coffee using yeast starter culture. *Food Research International*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108773>
- Cabrera, L. C., Caldarelli, C. E., & da Camara, M. R. G. (2020). Mapping collaboration in international coffee certification research. *Scientometrics*, 124(3), 2597-2618. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03549-8>
- Caputo, A., Pizzi, S., Pellegrini, M. M., & Dabić, M. (2021). Digitalization and business models: Where are we going? A science map of the field. *Journal of Business Research*, 123, 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.053>

- Cassimiro, D. M. D. J., Batista, N. N., Fonseca, H. C., Naves, J. A. O., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2022). Coinoculation of lactic acid bacteria and yeasts increases the quality of wet fermented Arabica coffee. *International Journal of Food Microbiology*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109627>
- Chemura, A., Mudereri, B. T., Yalew, A. W., & Gornott, C. (2021). Climate change and specialty coffee potential in Ethiopia. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87647-4>
- Cordoba, N., Pataquiva, L., Osorio, C., Moreno, F. L. M., & Ruiz, R. Y. (2019). Effect of grinding, extraction time and type of coffee on the physicochemical and flavour characteristics of cold brew coffee. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44886-w>
- Cortés-Macías, E. T., López, C. F., Gentile, P., Girón-Hernández, J., & López, A. F. (2022). Impact of post-harvest treatments on physicochemical and sensory characteristics of coffee beans in Huila, Colombia. *Postharvest Biology and Technology*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111852>
- de Assis Silva, S., de Queiroz, D. M., Ferreira, W. P. M., Corrêa, P. C., & dos Santos Rufino, J. L. (2016). Mapping the potential beverage quality of coffee produced in the Zona da Mata, Minas Gerais, Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(9), 3098-3108. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7485>
- de Souza Silveira, A., Pinheiro, A. C. T., Ferreira, W. P. M., da Silva, L. J., dos Santos Rufino, J. L., & Sakiyama, N. S. (2016). Sensory analysis of specialty coffee from different environmental conditions in the region of matas de minas, minas gerais, Brazil. *Revista Ceres*, 63(4), 436-443. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663040002>
- Donnet, M. L., Weatherspoon, D. D., & Hoehn, J. P. (2007). What adds value in specialty coffee? Managerial implications from hedonic price analysis of Central and South American E-auctions. *International Food and Agribusiness Management Review*, 10(3), 1-18. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-34648822413&partnerID=40&md5=41069bdd2d9bc1eaf-5ec2f119e6d20dc>
- Donnet, M. L., Weatherspoon, D. D., & Hoehn, J. P. (2008). Price determinants in top-quality e-auctioned specialty coffees. *Agricultural Economics*, 38(3), 267-276. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2008.00298.x>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Getachew, M., Tolassa, K., De Frenne, P., Verheyen, K., Tack, A. J. M., Hylander, K., Ayalew, B., & Boeckx, P. (2022). The relationship between elevation, soil temperatures, soil chemical charac-

teristics, and green coffee bean quality and biochemistry in southwest Ethiopia. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00801-8>

Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., & Gimenez, E. (2019). Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. *Agronomy*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy9070352>

Guevara-Sánchez, M., Guevara-Sánchez, K. E., Quispe-Cubas, N., Valles-Coral, M. A., Navarro-Cabrera, J. R., & Pinedo, L. (2022). Drying effect by infrared radiation on sensory quality in special coffees (*Coffea arabica*) cup. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 39(3). [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n3.02](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n3.02)

Guimarães, Y. M., Eustachio, J. H. P. P., Leal Filho, W., Martinez, L. F., do Valle, M. R., & Caldana, A. C. F. (2022). Drivers and barriers in sustainable supply chains: The case of the Brazilian coffee industry. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.031>

Hussain, S., & Bhat, V. A. (2023). 10 years of Genetic Resources and Crop Evolution-a bibliometric analysis of SCOPUS publications 2013-2022. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 70(5), 1321-1334. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01570-3>

Kaffash, S., Nguyen, A. T., & Zhu, J. (2020). Big data algorithms and applications

in intelligent transportation system: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 107868. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107868>

Kerrigan, S., & Lindsey, T. (2005). Fatal caffeine overdose: Two case reports. *Forensic Science International*, 153(1), 67-69. <https://doi.org/10.1016/j.forsci.int.2005.04.016>

Kumar, S., Pandey, N., Lim, W. M., Chatterjee, A. N., & Pandey, N. (2021). What do we know about transfer pricing? Insights from bibliometric analysis. *Journal of Business Research*, 134, 275-287. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.05.041>

Kyrogloou, S., Laskari, R., & Vareltzis, P. (2022). Optimization of Sensory Properties of Cold Brew Coffee Produced by Reduced Pressure Cycles and Its Physicochemical Characteristics. *Molecules*, 27(9). <https://doi.org/10.3390/molecules27092971>

Laukaleja, I., & Kruma, Z. (2018). Quality of Specialty Coffee: Balance between aroma, flavour and biologically active compound composition: Review, 1, 240-247. <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.038>

Lee, C.-H., Chen, I.-T., Yang, H.-C., & Chen, Y. J. (2022). An AI-powered Electronic Nose System with Fingerprint Extraction for Aroma Recognition of Coffee Beans. *Micromachines*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/mi13081313>

- Lyons, J. (2005). "Thinks Seattle, act globally": Speciality coffee, commodity biographies and the promotion of place. *Cultural Studies*, 19(1), 14-34. <https://doi.org/10.1080/09502380500040464>
- Madrid-Casaca, H., Salazar-Sepúlveda, G., Contreras-Barraza, N., Gil-Ma-rín, M., & Vega-Muñoz, A. (2021). Global trends in coffee agronomy research. *Agronomy*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy11081471>
- Mahingsapun, R., Tantayotai, P., Pan-yachanakul, T., Samosorn, S., Dol-sophon, K., Jiamjariyatam, R., Lor-liam, W., Srisuk, N., & Krajangsang, S. (2022). Enhancement of Arabica coffee quality with selected potential micro-bial starter culture under controlled fermentation in wet process. *Food Bio-science*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101819>
- Martínez, S. J., Bressani, A. P. P., Dias, D. R., Simão, J. B. P., & Schwan, R. F. (2019). Effect of bacterial and yeast starters on the formation of volatile and organic acid compounds in coffee beans and selection of flavors markers precur-sors during wet fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 10(JUN). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01287>
- Martins, P. M. M., Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. D. C. P., Evangelista, S. R., & Schwan, R. F. (2019). Production of cof-fee (*Coffea arabica*) inoculated with yeasts: impact on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5638-5645. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9820>
- Mas, A. H., & Dietsch, T. V. (2004). Link-ing shade coffee certification to biodi-versity conservation: Butterflies and birds in Chiapas, Mexico. *Ecological Ap-plications*, 14(3), 642-654. <https://doi.org/10.1890/02-5225>
- McCusker, R. R., Goldberger, B. A., & Cone, E. J. (2003). Caffeine content of specialty coffees. *Journal of Analytical Toxicology*, 27(7), 520-522. <https://doi.org/10.1093/jat/27.7.520>
- Mendoza, R., & Bastiaensen, J. (2003). Fair trade and the coffee crisis in the Nicaraguan Segovias. *Small Enterprise Development*, 14(2), 36-47. <https://doi.org/10.3362/0957-1329.2003.020>
- Mighty, M. A. (2015). Site suitability and the analytic hierarchy process: How GIS analysis can improve the compet-itive advantage of the Jamaican cof-fee industry. *Applied Geography*, 58, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.ap-geog.2015.01.010>
- Rialti, R., Marzi, G., Ciappei, C., & Busso, D. (2019). Big data and dynamic capa-bilities: a bibliometric analysis and sys-tematic literature review. *Management Decision*. <https://doi.org/10.1108/MD-07-2018-0821>
- Rodríguez O, A., Osorio A, C., & Peláez M, J. (2020). Two decades of research in Electronic Word of Mouth: a biblio-metric analysis. *Pensamiento & Gestión*,

48, 251-275. <https://doi.org/10.14482/pege.48.658.84>

Rosenberg, L., Swilling, M., & Vermeulen, W. J. V. (2018). Practices of Third Wave Coffee: A Burundian Producer's Perspective. *Business Strategy and the Environment*, 27(2), 199-214. <https://doi.org/10.1002/bse.2010>

Scopus (31 de octubre del 2022). <https://www.scopus.com>

Serra, F., Guillou, C. G., Reniero, F., Baillarin, L., Cantagallo, M. I., Wieser, M., Iyer, S. S., Héberger, K., & Vanhaecke, F. (2005). Determination of the geographical origin of green coffee by principal component analysis of carbon, nitrogen, and boron stable isotope ratios. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 19(15), 2111-2115. <https://doi.org/10.1002/rcm.2034>

Shaker, R., & Rath, J. (2019). The coffee scene in Glasgow's West End: On the class practices of the new urban middle classes. *City, Culture and Society*, 17, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2018.08.001>

Silanoi, T., Meeprom, S., & Jaratmetakul, P. (2022). Consumer experience co-creation in speciality coffee through social media sharing: its antecedents and consequences. *International Journal of Quality and Service Sciences*. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-11-2021-0162>

Smith, E., Antoshak, L., & Brown, P. H. (2022). Grounds for Collaboration: A Model for Improving Coffee Sus-

tainability Initiatives. *Sustainability (Switzerland)*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/su14116677>

Sott, M. K., Furstenau, L. B., Kipper, L. M., Giraldo, F. D., Lopez-Robles, J. R., Cobo, M. J., Zahid, A., Abbasi, Q. H., & Imran, M. A. (2020). Precision Techniques and Agriculture 4.0 Technologies to Promote Sustainability in the Coffee Sector: State of the Art, Challenges and Future Trends. *IEEE Access*, 8, 149854-149867. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016325>

Tely, L. J., & Prier, R. F. (1957). Nutrients in Coffee, Nutritional Evaluation of Coffee Including Niacin Bioassay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 5(5), 375-377. <https://doi.org/10.1021/jf60075a010>

Teuber, R. (2010). Geographical indications of origin as a tool of product differentiation: The case of coffee. *Journal of International Food and Agribusiness Marketing*, 22(3), 277-298. <https://doi.org/10.1080/08974431003641612>

Tolessa, K., D'heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2017). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2849-2857. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>

Tolessa, K., Rademaker, M., De Baets, B., & Boeckx, P. (2016). Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans.

- Talanta, 150, 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.12.039>
- Van Der Vossen, H. A. M. (2005). A critical analysis of the agronomic and economic sustainability of organic coffee production. *Experimental Agriculture*, 41(4), 449-473. <https://doi.org/10.1017/S0014479705002863>
- Van Eck, N. J.; Waltman, L. (2010) VOSViewer: Visualizing Scientific Landscapes [Software] 1.6.18 Version. Centre for Science and Technology Studies Leiden University. Available from <https://www.vosviewer.com>
- Veloutsou, C., & Ruiz Mafe, C. (2019). Brands As Relationship Builders In The Virtual World: A Bibliometric Analysis. *Electronic Commerce Research and Applications*, 100901. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100901>
- West, P. (2010). Making the market: specialty coffee, generational pitches, and Papua New Guinea. *Antipode*, 42(3), 690-718. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.2010.00769.x>
- Wilson, A. P., & Wilson, N. L. W. (2014). The economics of quality in the specialty coffee industry: Insights from the Cup of Excellence auction programs. *Agricultural Economics (United Kingdom)*, 45(S1), 91-105. <https://doi.org/10.1111/agec.12132>
- Wollni, M., & Zeller, M. (2007). Do farmers benefit from participating in specialty markets and cooperatives? The case of coffee marketing in Costa Rica. *Agricultural Economics*, 37(2-3), 243-248. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2007.00270>.
- Ye, N., Kueh, T.-B., Hou, L., Liu, Y., & Yu, H. (2020). A Bibliometric Analysis of Corporate Social Responsibility in Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*, 122679. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122679>

 **Conflictos de intereses**
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 14-12-2022

Fecha de aceptado: 08-05-2023

DOI: 10.22490/21456453.6566

EFFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y FISIOLÓGICAS EN EL CRECIMIENTO DE FRUTOS DE CIRUELA VARIEDAD HORVIN

EFFECT OF CLIMATIC CONDITIONS ON SOME PHYSICOCHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PLUM FRUITS HORVIN VARIETY GROWTH

Mayerlin Orjuela-Ángulo,¹ Javier-Giovanni Álvarez-Herrera,²
Jesús Hernán Camacho-Tamayo³

¹ Ingeniera Agrícola, Mag. en Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. morjuelaa@unal.edu.co

² Ingeniero Agrícola, Mag. y Dr. en Ciencias Agrarias. Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. javier.alvarez@uptc.edu.co

³ Ingeniero Agrícola, Mag. en Ingeniería Agrícola, Dr. en Ciencias Agrarias. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. jhccamachot@unal.edu.co

Citación: Orjuela-Ángulo, M., Álvares-Herrera, J. y Camacho-Tamayo, J. (2024). Efecto de las condiciones climáticas sobre algunas características fisicoquímicas y fisiológicas en el crecimiento de frutos de ciruela variedad Horvin. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 97-113. <https://doi.org/10.22490/21456453.6566>

RESUMEN

Contextualización: las condiciones climáticas son factores determinantes de la calidad de los frutos en el momento de la cosecha y están definidas por las características fisicoquímicas y fisiológicas del fruto.

Vacío de conocimiento: conocer la relación entre diferentes variables que pueden afectar la producción de ciruela variedad Horvin.

Propósito: observar el efecto de las condiciones climáticas sobre algunas características fisicoquímicas y fisiológicas de los frutos de ciruela variedad Horvin desde el cuaje hasta la cosecha.

Metodología: se instalaron termohigrómetros en cada una de las localidades ubicadas a cuatro diferentes altitudes, con el fin de obtener la temperatura y la humedad relativa durante el periodo de observación; por otro lado, la precipitación se midió con pluviómetros instalados en cada una de las localidades. Se retiraron los frutos en diferentes ramas de la parte media de los árboles, en cada uno de los días de estudio.

Resultados y conclusiones: las condiciones climáticas tuvieron gran influencia en el crecimiento y desarrollo del fruto de ciruela; se observaron cambios en cuanto a peso y tamaño de una cosecha a otra en las cuatro localidades estudiadas. Se apreció que las condiciones climáticas de la primera cosecha, especialmente la temperatura y precipitación, estuvieron afectadas por el fenómeno del niño, por lo cual se alcanzó una diferencia entre la temperatura media de 6 °C cada mes; adicionalmente, hubo una diferencia de 19 °C entre el mes más frío y el más cálido, respectivamente, con valores de precipitación media anual de 907,2 mm concentrada en los meses de julio a noviembre. Para la segunda cosecha, la temperatura decreció y se evidenció mayor precipitación en la zona con temperatura media de 7 °C y una temperatura media máxima de 22 °C cada mes, con valores de precipitación media anual de 1100 mm concentrada en los meses de abril a julio.

Palabras clave: calidad del fruto, cosecha, desarrollo, fruto, temperatura

ABSTRACT

Contextualization: Climatic conditions are determining factors of fruits quality at the time of harvesting and are defined by the physicochemical and physiological characteristics of the fruit.

Knowledge gap: knowing the relationship between different variables that can affect the production of the Horvin plum variety.

Purpose: To observe the effect of climatic conditions on some physicochemical and physiological characteristics of plum fruits Horvin variety from its set to harvest.

Methodology: Thermo-hygrometers were installed in each location placed at four different altitudes in order to obtain the temperature and relative humidity during the observation period. Moreover, the precipitation was measured with pluviometers installed at each location. The fruits were removed from different branches of the middle part of the trees on each of the study days.

Results and conclusions: Climatic conditions greatly influenced the growth and

development of plum fruit. Changes in weight and size were observed from harvest to harvest in the four locations studied. It was observed that the climatic conditions of the first harvest, especially the temperature, and precipitation, were affected by the *El Niño* phenomenon. Thus, a difference was reached between the average temperature of 6 °C each month. In addition, there was a difference of 19 °C between the coldest and warmest months, respectively, with average annual precipitation values of 907.2mm concentrated from July to November. For the second harvest, the temperature decreased, and there was more precipitation in the zone with an average temperature of 7 °C, and an average maximum temperature of 22 °C each month with average annual precipitation values of 1100mm concentrated from April to July.

Keywords: Temperature, harvest, fruit quality, development, fruit

RESUMEN GRÁFICO



Figura 1. Diagrama de los procesos del desarrollo del estudio.

Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La ciruela variedad Horvin (*Prunus domestica* L.) es una especie cuyo origen se sitúa en distintas áreas geográficas, destacándose el Cáucaso, Anatolia (Turquía) y Persia (Irán) (Sánchez, 2015; Mirheidari *et al.*, 2020). Dentro del género *Prunus* se distinguen numerosas especies frutícolas denominadas en su conjunto ‘frutas de hueso’ entre las cuales se encuentran *P. domestica* Lindl (ciruelas europeas) y *P. salicina* Lindl (ciruelas japonesas) con diversidad de variedades en cada una de ellas (Batlle *et al.*, 2018). En Colombia, la

producción de ciruela es de gran importancia debido a las altas producciones que se llevan a cabo en el país, siendo este el caso en 2019, donde se produjeron más de 18 mil toneladas de ciruela, ocupando alrededor de 1361 hectáreas (Amado *et al.*, 2021).

El ciruelo es un árbol caducifolio de hasta 7 m de alto, con un tronco que se agrieta conforme envejece y de ramas erguidas; sus hojas son obovadas, elípticas u ova-do-lanceoladas; el tronco posee una corteza pardo-azulada, brillante, lisa o agrie-

tada longitudinalmente, el cual produce ramas alternas, pequeñas y delgadas, algunas veces lisas y glabras, y otras, pubescentes y vellosas (Sánchez, 2015).

Según Villegas (2009), la planta de ciruelo presenta las siguientes características: el sistema radicular tiene raíces largas, fuertes, flexibles, onduladas, poco ramificadas y profundas, las cuales emiten brotes nuevos con frecuencia; las flores son solitarias o germinadas, raramente en fascículos de 3 a 5 con pedicelos glabros o pubescentes de 8 a 15 mm; el fruto es una drupa redonda u oval recubierta de una cera blanquecina denominada pruina, presenta un color amarillo, rojo, negro o violáceo y posee un pedúnculo mediano y veloso, en su interior, se encuentra un hueso oblongo y comprimido, algo áspero, que contiene en su interior la semilla del fruto. Como lo manifiesta Medina-Torres (2000), se han propuesto diversos parámetros para determinar la madurez de las ciruelas en la recolección, siendo los más usuales, el color de la epidermis y la dureza de la pulpa. Respecto a la fisiología de su maduración, las ciruelas han sido tradicionalmente clasificadas como frutos climatéricos (Sánchez, 2015; Motyleva *et al.*, 2021).

Según la FAO (2002), a través de los años, los agricultores han desarrollado una serie de métodos para alterar las condiciones medioambientales de sus cultivos,

para anticipar y mejorar la calidad de la producción. Las características climáticas de una zona deben analizarse en relación con las necesidades de las plantas que se intentan cultivar; las heladas destruyen a las especies de estación cálida; las temperaturas por debajo de 10 a 12 °C, durante una serie de días consecutivos, afectan el comportamiento y condicionan la productividad tanto cualitativa como cuantitativamente. La latitud del lugar y la estación del año condicionan las necesidades de fotoperíodo de los cultivos, y está ligada a la duración de la noche más que a la del día; la temperatura del suelo es un factor medioambiental determinante; asimismo, se menciona que hay un valor umbral mínimo de temperatura del suelo fijado aproximadamente en 15 °C (FAO, 2002).

Las investigaciones que se han llevado a cabo en cultivos de ciruela incluyen trabajos en caracterización fisicoquímica del crecimiento y desarrollo de los frutos (Parra-Coronado *et al.*, 2006), junto con estudios del efecto de las condiciones climáticas y de cultivo sobre los procesos fisiológicos de la planta o ecofisiología (Perea *et al.*, 2010). Por lo tanto, para el presente trabajo, se tuvo como objetivo determinar la influencia de las condiciones climáticas de cultivo sobre la calidad en cosecha de los frutos de ciruela variedad Horvin, cultivados en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá, Colombia).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y caracterización de las zonas de estudio

Las muestras de fruto se recolectaron durante el período comprendido entre el cuaje de fruto y la cosecha, durante dos cosechas, en cuatro localidades ubicadas a diferente altitud en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá, Colombia). Las diversas actividades de manejo de cultivo fueron iguales para las cuatro localidades, con el fin de garantizar condiciones similares. La localidad 1 (vereda Tejar Alto) se encuentra ubicada en las coordenadas 5° 21' 25,61" N y 73° 27' 41,51" O, a una altitud media 2449 m s.n.m.; la localidad 2 (vereda Tejar Bajo) a 5° 20' 32,79" N y 73° 27' 47,41" O y altitud media 2285 m s.n.m.; la localidad 3 (vereda Tejar Bajo) a 5° 20' 21,33" N y 73° 27' 49,32" O y altitud media 2215 m s.n.m.; la localidad 4 (vereda Tejar Bajo) a 5° 20' 17,56" N y 73° 27' 453,85" O y altitud media 2195 m s.n.m. La región de estudio se caracteriza por lluvias tipo monomodal.

Las variables climáticas de las localidades estudiadas fueron tomadas en los años 2015 y 2016. Los datos meteorológicos registrados para el estudio corresponden a temperatura, humedad relativa y precipitación en las cuatro localidades, para lo cual se utilizaron termohigrómetros RTH 10 (Extech Instruments, MA, USA), con capacidad de almacenamiento hasta de

16.000 datos de humedad relativa (HR) y 16.000 datos de temperatura en las escalas de medición de 0 a 100% de HR y -40 a +70 °C, los cuales registraron datos cada 10 min. La información correspondiente a precipitación se calculó con pluviómetros de 50 mm de capacidad, instalados en el centro de cada una de las localidades de observación. Para el estudio se seleccionaron árboles ubicados en la parte central de cada localidad, con el fin de evitar el efecto de borde.

Diseño experimental y toma de muestras

Para la investigación se marcaron 10 árboles por surco y dos surcos por localidad, para un total de 80 árboles evaluados durante dos períodos diferentes de producción (año 2015 y 2016). Para el estudio de la variación del crecimiento (tamaño y peso) y de las características fisicoquímicas y fisiológicas, se tomó un fruto al azar por árbol cada dos semanas a partir del día 17 (cuaje), cuando los frutos tuvieron suficiente tamaño para poder realizar los respectivos análisis, y hasta la cosecha.

Variables medidas

Las variables medidas corresponden a la variación del peso, longitud mayor del fruto (Da), intensidad respiratoria y color

(Hue), las cuales se evaluaron a los 17, 32, 47, 62, 77 y 92 días a partir de la formación inicial del fruto de ciruela variedad Horvin, tomando un fruto de cada árbol, en diez arboles de cada localidad, para cada muestreo.

Las variables de crecimiento medidas en el estudio fueron: variación de la masa fresca individual del fruto (g), mediante el uso de una balanza electrónica PC2000 (Mettler, USA), precisión 0,01 g; el diámetro ecuatorial y longitudinal del fruto (mm), se determinó con un calibrador manual (KANON Vernier, USA) con rangos desde 6" / 150 mm hasta 24" / 600 mm con graduaciones de 1/20 mm a 1/128", 1/20 mm a 1/1000", 1/50 mm, con cuatro formas de medición y precisión de 0,01 mm. La variación de la firmeza de la cáscara y de la pulpa del fruto, se determinó tomando una lectura por fruto mediante el uso de un texturómetro Broofield CT3-4500 (Broofield Engineering, Middleboro,

MA, USA) con sonda TA39 (de 2 mm de diámetro) y precisión de ±0,5%.

El color de la epidermis del fruto de ciruela variedad Horvin (**ángulo Hue**; °h) se estableció utilizando un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA).

Para la medición de sólidos solubles totales (SST) se aplicó la norma NTC 4624 (Icontec, 1999a) y se utilizó un refractómetro Eclipse (Bellingham Stanley, Tunbridge Well, UK) con escala de 0 a 32 y precisión de 0,2 °Brix. La cuantificación de acidez total titulable (ATT) se determinó siguiendo la norma NTC 4623 (Icontec, 1999). La relación de madurez (RM) se calculó a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable (SST / ATT) (Parra-Coronado, 2014). Las condiciones climáticas registradas en cada una de las localidades durante los períodos de estudio (dos cosechas en dos años consecutivos), se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones climáticas de las localidades durante el desarrollo del fruto de ciruela.

Cosecha/ Localidad	Días ¹	A ²	T ³	HR ⁴	P ⁵	Da ⁶	Fertilidad ⁷	
1	1	82	2449	16,70	64,5	44,4	1,79	Aceptable
	2	79	2285	18,54	68,3	25,5	1,61	Buena
	3	85	2215	20,50	70,2	29,5	1,80	Aceptable
	4	81	2195	21,34	73,8	39,5	1,76	Buena

2	1	77	2449	16,12	62,8	293,2	1,79	Aceptable
	2	81	2285	18,36	67,8	303,8	1,61	Buena
	3	82	2215	19,11	69,8	379,9	1,80	Aceptable
	4	82	2195	19,07	70,7	345,8	1,76	Buena

Fuente: autores. ¹Días calendario transcurridos desde cuajamiento de fruto hasta cosecha. ²A Altitud de cada localidad observada (m s.n.m.). ³T Temperatura media desde cuajamiento de fruto hasta cosecha (°C). ⁴HR Humedad relativa media desde cuajamiento de fruto hasta cosecha (%). ⁵P Precipitación media acumulada desde cuajamiento de fruto hasta cosecha (mm). ⁶Densidad aparente encontrada en cada localidad (g/cm³). ⁷ Datos de Fertilidad de acuerdo con el análisis de suelo reportado por el Instituto Agustín Codazzi para cada localidad (2005).

Análisis estadístico

Para analizar el comportamiento de cada una de las variables se utilizó el programa estadístico IBM-SPSS v.22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), realizando con este, el análisis de correlación para las variables anteriormente descritas; los datos fueron

evaluados mediante estadística descriptiva, considerando la desviación estándar como factor de dispersión; adicionalmente, se realizó un análisis de varianza, para determinar diferencias entre las localidades y posterior comparación de medias, a través de una prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento del fruto

El crecimiento del fruto de ciruela variedad Horvin se caracteriza por presentar tres etapas diferentes: un crecimiento lento hasta el día 47 a partir del cual la tasa de crecimiento decrece hasta el día 62; desde este día y hasta el día 92 (madurez fisiológica), los frutos tienen una mayor tasa de crecimiento, lo cual es acorde con la teoría de crecimiento en frutos de hueso de crecimiento sigmoidal doble (Guerra y Rodrigo, 2021).

El peso que el fruto gana (Figura 2), a partir del día 62 con respecto al peso final oscila entre 32% y 58% para la localidad 1, mientras que para la localidad 2 está ganancia oscila entre el 25% y 42%, para la localidad 3 entre 45% y 62% y para la localidad 4 entre 45% y 65%; este comportamiento es similar en otros frutos como lo señalan Parra-Coronado *et al.* (2006), donde se evidencia la necesidad de hacer una recolección en el momento apropiado, para que el rendimiento y los ingresos del productor no se vean afectados.

Los resultados de esta investigación indicaron que los frutos que se cosechan a una altitud mayor y menor (localidades 1 y 4), alcanzan un tamaño y peso mayores que los producidos a altitudes medias (localidades 2 y 3) tal como lo muestra la Figura 2; esto concuerda con estudios realizados

para otros productos como la feijoa (Parrá-Coronado, 2015). La segunda cosecha de las localidades 2 y 4, presentó un comportamiento totalmente atípico debido probablemente al periodo de transición hacia el fenómeno de 'la niña', cuya precipitación fue de 114,22%.

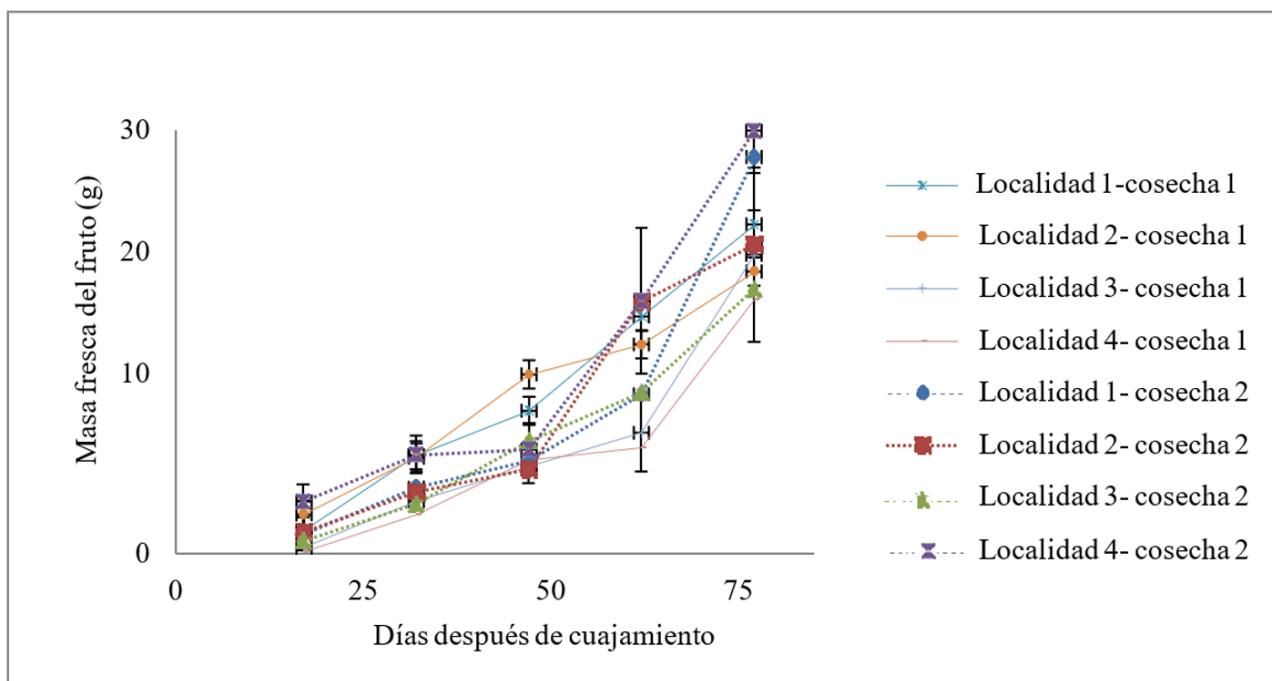


Figura 2. Variación de la masa fresca desde cuaje hasta cosecha del fruto de ciruela variedad Horvin para las cuatro localidades, las barras representan la desviación estándar.

Fuente: autores.

En la Figura 2 se observa que la masa fresca del fruto de ciruela en el momento de cosecha es superior para aquellos frutos que se producen a menor altitud, requiriendo un mayor número de días calendario y mayor tiempo térmico. Estos resultados concuerdan con Fischer *et al.* (2007) quienes encontraron que el desarrollo en uchuva era más prolongado (75 días), a 2690 m s.n.m. comparado con 66 días a

2300 m.s.n.m., incremento que fue relacionado con la menor temperatura en el sitio de mayor altitud (Fischer *et al.*, 2019).

La menor masa y tamaño en frutos de ciruela, al momento de la cosecha (Tabla 2), se produjo en condiciones de altitud media, ya que cuando los organismos vegetales están expuestos a mayor radiación solar, estos van a manifestar una mayor

tasa de transpiración, lo que desencadena un prolongado transporte de agua y nutrientes como lo indican Fischer *et al.* (2019) y Khalili *et al.* (2020), pues afirman

que la temperatura es una función de la longitud del día y tiene una estrecha relación con el crecimiento de las plantas.

Tabla 2. Análisis de frutos de ciruela variedad Horvin recién cosechados en diferentes zonas del municipio de Nuevo Colón.

Finca	¹ Peso	² IR	³ SST	⁴ Acidez
Localidad 1-1	22,84 ^b	53,40 ^d	9,20 ^a	0,26 ^a
Localidad 2-1	19,60 ^b	117,33 ^a	8,61 ^a	0,27 ^a
Localidad 3-1	21,40 ^b	60,24 ^{cd}	8,22 ^a	0,23 ^a
Localidad 4-1	21,40 ^b	74,06 ^{bc}	9,20 ^a	0,23 ^a
Localidad 1-2	19,60 ^b	25,92 ^e	9,12 ^a	0,23 ^a
Localidad 2-2	19,01 ^b	82,92 ^b	9,89 ^a	0,23 ^a
Localidad 3-2	28,06 ^a	23,52 ^e	8,22 ^a	0,31 ^a
Localidad 4-2	29,90 ^a	35,25 ^e	9,53 ^a	0,23 ^a

1. Peso (g). 2. Intensidad respiratoria ($\text{mg CO}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). 3. Sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$). 4. Acidez Total Titulable. **Fuente:** autores.

El diámetro y la longitud presentan la misma tendencia de un comportamiento ascendente (Tabla 1), a medida que el peso aumenta se espera que el diámetro también aumente, como lo manifiesta Parra-Coronado *et al.* (2006) en frutos de ciruela variedad Horvin.

Intensidad Respiratoria (IR)

A medida que el fruto se desarrolla, la IR va disminuyendo hasta la senescencia. En la Figura 2, se observa que la localidad 1 tiene una IR más elevada con una tasa de $871,14 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de CO^2 y se mantiene la

tendencia en la localidad 2 y 3 con valores $863,77$ y $867,06 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ de CO^2 respectivamente, lo cual concuerda con Medina-Torres (2000), quien afirma que, las ciruelas son frutos climatéricos, capaces de proseguir la maduración aun después de la recolección, ya que la mínima actividad respiratoria coincide con la madurez de cosecha y durante el proceso de maduración de las ciruelas ocurren cambios de color en la epidermis y en la pulpa, asimismo, el contenido de SST aumenta y la ATT disminuye. El menor valor de IR ocurre en la localidad 3, lo que concuerda con los datos registrados de peso y tamaño.

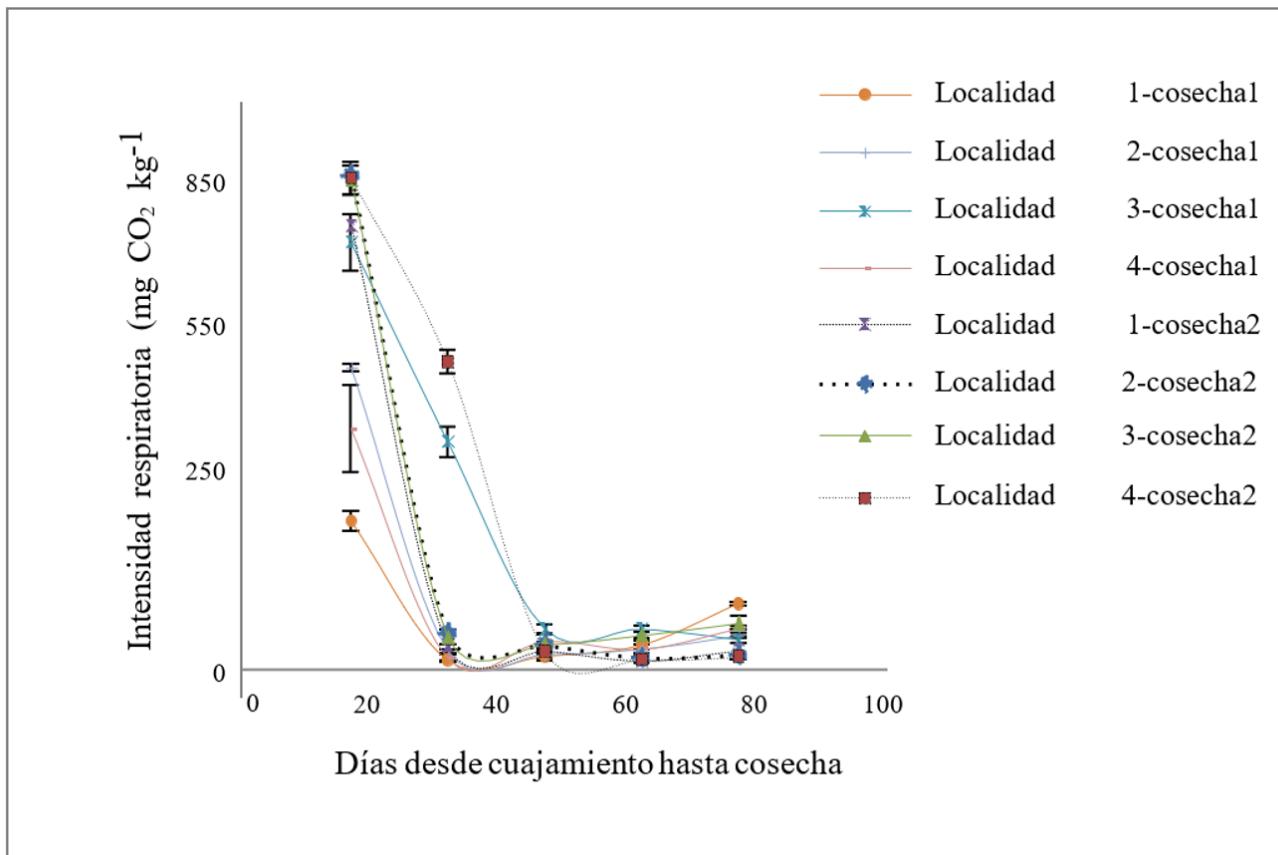


Figura 3. Variación de la intensidad respiratoria (IR) desde cuajamiento hasta cosecha del fruto de ciruela variedad Horvin para las cuatro localidades, las barras representan la desviación estándar.

Fuente: autores.

Relación de Madurez (RM)

La RM presenta una tendencia de crecimiento a través del tiempo (Figura 3); según Álvarez-Herrera *et al.* (2021): “a medida que el fruto crece, la RM aumenta. Este comportamiento se explica porque los SST aumentan y la ATT disminuye a medida que el fruto de ciruela variedad Horvin se desarrolla”.

Los SST aumentan y la ATT disminuye en los frutos de ciruela, en las dos cosechas y

en las cuatro localidades. A medida que el fruto se desarrolla, se observa a partir del día 17 un leve crecimiento (Figura 3), pero entre el día 50 y 60 se presenta un crecimiento con mayor pendiente; ocho días aproximadamente antes de alcanzar la madurez fisiológica se obtiene la mayor masa en fresco para la primera cosecha en la localidad cuatro, mientras que para la segunda cosecha de esta misma localidad se obtiene el menor valor (45,47 y 34,30 respectivamente), lo que explica el aumento del metabolismo en el fruto, ya que la

relación de madurez es muy importante. Al respecto, Álvarez-Herrera *et al.* (2015) mencionan que la cosecha tardía limita la conservación debido a que los frutos son más susceptibles a daños mecánicos y a la invasión de microorganismos, así como a la incidencia de desórdenes fisiológicos

como lo son el pardeamiento y decaimiento interno. De igual manera, la fruta desarrolla un aroma y sabores extraños; adicionalmente, la textura de la pulpa se torna harinosa, lo que implica que la madurez de cosecha sea más crítica cuando la fruta es comercializada en mercados distantes.

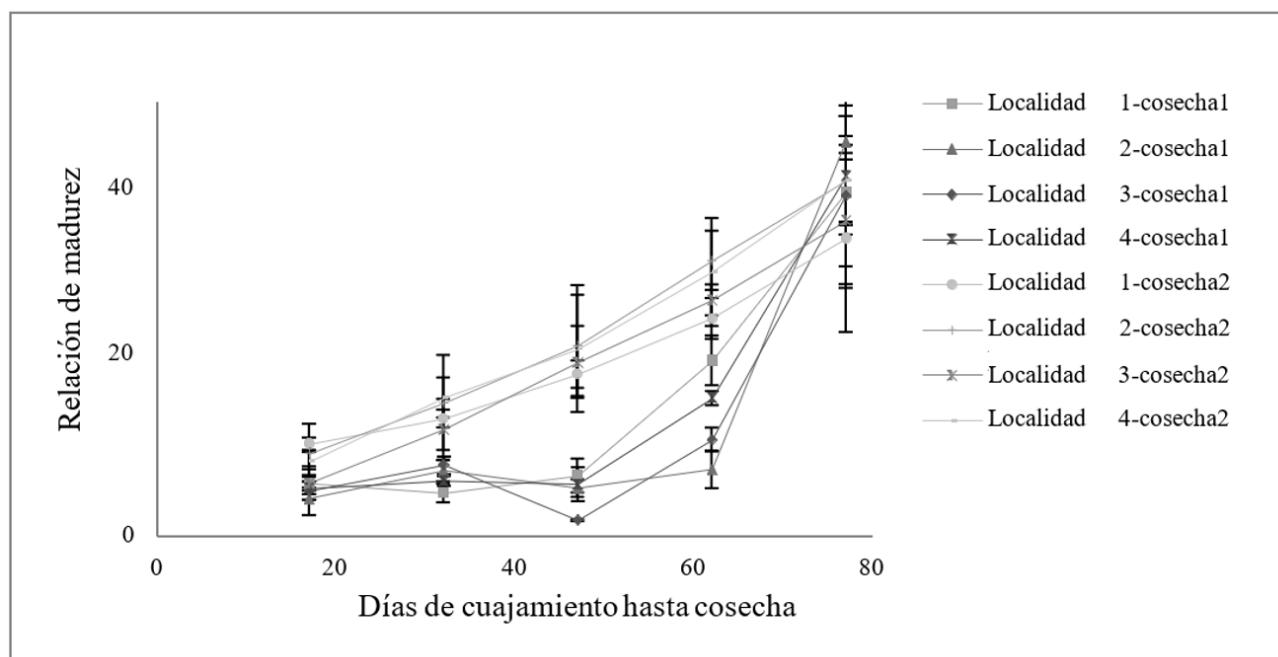


Figura 4. Variación de la relación de madurez (RM) desde cuajamiento hasta cosecha del fruto de ciruela variedad Horvin para las cuatro localidades, las barras representan la desviación estándar.

Fuente: autores.

Cambio de color

El ángulo Hue ($^{\circ}h$) en los frutos de ciruela no presentan una tendencia predecible en su comportamiento, se presentaron variaciones significativas en la cosecha uno (localidad: 1, 2, 3, 4), mientras que en la cosecha dos el comportamiento fue más uniforme. En el día 35, el ángulo es mayor debido a que la coloración cambia de

verde a amarillo, luego toma un color con pigmentos rosados y por último pasa a rojo, lo que representa una buena aproximación en el cambio de tonalidad (Hernández *et al.*, 2007). El $^{\circ}h$ mostró valores bajos ($45,99^{\circ}$) en la localidad uno, mientras que en la localidad cuatro fue mayor ($108,2^{\circ}$); los valores de las localidades dos y tres fueron intermedios.

Análisis de correlaciones

El análisis de correlaciones muestra que a medida que la masa fresca del fruto de ciruela variedad Horvin aumenta (Tabla 3), también lo hace su longitud ($r=0,80$) y RM ($r=0,81$), mientras que disminuyen

las variables de IR ($r=-4,79$), Angulo Hue ($r=-0,56$) y la ATT ($r=0,137$), lo que concuerda con lo enunciado por Parra-Coronado (2006) para el fruto de pera, y López (2018) para la guayaba. Los demás datos muestran una correlación mínima que pueden tener poca interacción.

Tabla 3. Matriz de correlación de variación de las características fisicoquímicas y fisiológicas durante el crecimiento del fruto de ciruela para las cuatro localidades

	Peso ¹	Da ²	IR ³	°Hue ⁴	SST ⁵	RM ⁶	ATT ⁷
Peso	1,000						
Da	0,801	1,000					
IR	-0,516	-0,717	1,000				
°Hue	-0,566	-0,467	0,137	1,000			
SST	0,296	0,498	-0,268	-0,268	1,000		
RM	0,815	0,761	-0,448	-0,448	0,569	1,000	
AT	0,137	0,039	-0,210	-0,210	-0,255	-0,014	1,000

Nota: 1. Masa fresca. 2. Diámetro. 3. Índice respiratorio. 4. Ángulo Hue. 5. Sólidos Solubles Totales. 6. Relación de Madurez. 7. Acidez Total Titulable. **Fuente:** autores

Características fisicoquímicas en la cosecha

El análisis de varianza muestra que se presentan grandes diferencias estadísticas para las variables %h y longitud, entre las localidades y las cosechas medidas (Tabla

4), lo que indica que estas variables están condicionadas por el clima presentado en cada una de las localidades y por el período de establecimiento de cada cultivo durante el desarrollo del fruto (Fischer *et al.*, 2007; Medina-Torres, 2000).

Tabla 4. Características del fruto de ciruela variedad Horvin en el momento de la cosecha.

Parámetro	Localidad - Cosecha							
	Localidad 1-1	Localidad 1-2	Localidad 2-1	Localidad 2-2	Localidad 3-1	Localidad 3-2	Localidad 4-1	Localidad 4-2
Angulo Hue ¹	60,65 ^a	96,95 ^b	87,24 ^b	99,73 ^b	82,50 ^b	97,97 ^a	103,07 ^b	104,903 ^b
Longitud Da ²	2,34 ^a	7,70 ^{cd}	2,46 ^{ab}	7,04 ^{ac}	1,96 ^{ab}	4,38 ^b	2,36 ^a	4,38 ^d
Peso fresco ³	11,78 ^{abc}	13,15 ^{bc}	11,45 ^{abc}	8,58 ^{ab}	8,17 ^{ab}	10,46 ^{abc}	7,71 ^a	15,25 ^c
IR ⁴	207,42 ^a	205,41 ^a	93,013 ^a	222,60 ^a	138,22 ^a	297,23 ^a	121,93 ^a	191,24 ^a
SST ⁵	5,40 ^a	6,19 ^a	5,66 ^a	5,96 ^a	5,45 ^a	4,5 ^a	5,44 ^a	5,42 ^a
ATT ⁶	0,28 ^{ab}	0,60 ^c	0,29 ^{ab}	0,24 ^a	0,24 ^a	0,69 ^c	0,25 ^a	0,52 ^{bc}

Fuente: autores. ¹Ángulo de color Hue (°h), ²Longitud del fruto (Da) (mm), ³Masa fresca del fruto (g), ⁴Intensidad Respiratoria (IR) (mg kg⁻¹ h⁻¹ de CO₂), ⁵Sólidos Solubles Totales (SST) (°Brix), ⁶Acidez Total Titulable (ATT) (%).

En cuanto al °h se observa que hay diferencias entre la localidad 1 y 4 (Tabla 4), para la primera cosecha, pero para la segunda cosecha no muestra diferencias. En la localidad 2 y 3 en la primera cosecha no se manifiestan diferencias, pero sí las hay en la segunda cosecha. Se aprecia la influencia de las condiciones climáticas, específicamente de la precipitación de una cosecha a otra, para todas las localidades. El análisis de medias indica que existen diferencias para la misma localidad entre cosechas, para los parámetros de tamaño, peso y ATT. El peso y el tamaño del fruto

en el momento de la cosecha fueron mayores para los frutos obtenidos en la segunda cosecha, en todas las localidades, lo que corresponde a los períodos de más alta precipitación.

La comparación de medias (Tabla 4) muestra que la IR y la concentración de SST no mostraron diferencias estadísticas en el momento de la cosecha para las localidades estudiadas, indicando que, probablemente, estos parámetros no serán afectados por las condiciones climáticas prevalecientes en el cultivo.

4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que las condiciones climáticas de cada localidad como humedad relativa, temperatura media y precipitación, influyen en el desarrollo del fruto de ciruela variedad Horvin, y se manifiestan principalmente en variables como peso, ángulo Hue y relación de madurez.

El análisis de correlaciones muestra que a medida que el peso del fruto aumenta, también lo hace el diámetro, la ATT y la concentración de SST; mientras que disminuyen el ángulo Hue y la intensidad respiratoria.

La condición climática que mayor incidencia tuvo en el desarrollo del fruto de ciruela variedad Horvin fue la precipita-

ción acumulada durante el período de estudio en cada una de las localidades evaluadas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos, escritura, borrador original. **Segundo autor:** investigación, con-

ceptualización, análisis de datos, revisión. **Tercer autor:** análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Ninguno por declarar.

LITERATURA CITADA

Álvarez-Herrera, J. G., Rozo-Romero, X., y Reyes, A. J. (2015). Comportamiento poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* Lindl.) en cuatro estados de madurez tratados con etileno. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 46–59. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3745>

Álvarez-Herrera, J. G., Deaquiz, Y. A., & Rozo-Romero, X. (2021). Effect of Storage Temperature and Maturity Stage on the Postharvest Period of 'Horvin' Plums (*Prunus domestica* L.). *Ingeniería e investigación*, 41(2), 1-9. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v41n2.82530>

Amado, A. M. S., Montañéz, G. A. P., y Viasús, A. C. (2021). La planificación de cosecha en ciruela variedad Horvin, es-

tudio de caso. Tuta, Boyacá, Colombia. *Criterio Libre*, 19(34), 126-145. <https://doi.org/10.18041/1900-0642/criteriolibre.2021v19n34.7929>

Battle, I., Iglesias, I., Cantin, C. M., Badenes, M. L., Ríos, G., Ruiz, D. y García-Brunton, J. (2018). Frutales de hueso y pepita. Influencia del cambio climático en la mejora genética de plantas. *Sociedad Española de Ciencias Hortícolas y Sociedad Española de Genética. Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca, Región de Murcia*, 1, 77-130.

Fischer, G. Ebert, G. & Lüdders, P. (2007). Production, seeds and carbohydrate contents of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. *Journal of*

Applied Botany and Food Quality, 81(1), 29-35.

Fischer, G., Camacho-Tamayo, J. H. C., y Coronado, A. P. (2019). Influencia de las condiciones climáticas de cultivo en la calidad en cosecha y en el comportamiento poscosecha de frutos de Feijoa. *Tecnología en Marcha*, 32(8), 86-92.

Guerra, M. E., y Rodrigo, J. (2021). Aclaro de frutos en función del establecimiento del cuajado en ciruelo japonés. *Revista de fruticultura*, 81, 38-43.

Hernández, M., Martínez, O. & Fernández-Trujillo, J. (2007). Behavior of Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. *Sci. Hortic.*, 111, 220-227. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.029>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. [ICONTEC]. (1999). Norma Técnica Colombiana. NTC 4623. Productos de Frutas y Verduras. Determinación de la Acidez Titulable. Bogotá. ICONTEC; 6p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. [IGAC]. (2005). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyaca, subdirección de agrología*. Autor.

Khalili, H., Hajilou, J., Dehghan, G., & Bakhshi, D. (2020). Assessing Quality Characteristics of Green Gage (*Prunus domestica* L.) Genotypes at Different Harvest Times. *International Journal of*

Fruit Science , 667-681. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1667288>

López, A. P. (2018). Propiedades físico-mecánicas y simulación por computadora del daño por impacto en guayaba (*Psidium guajava* L.). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 3(1), 14-23.

Medina-Torres, R. (2000). Fenología y producción forzada de frutales caducifolios bajo condiciones subtropicales. Tesis de Doctorado, Ciencias Agrícolas y forestales. Facultad de Ciencias Agrícolas y Biológicas. Universidad de Coahuila, México.

Mirheidari, F., Khadivi, A., Moradi, Y., & Paryan, S. (2020). The selection of superior plum (*Prunus domestica* L.) accessions based on morphological and pomological characterizations. *Euphytica*, 216. <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02617-7>

Motyleva, S., Upadysehva, G., Tumaeva, T., & Kulikov, I. (2021). Stock Influence on Growth, Morphological and Biochemical Leaf Parameters *Prunus domestica* L. En S. Motyleva, G. Upadysehva, T. Tumaeva, & I. Kulikov, *Prunus*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99522>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO]. (2002). Soil carbon sequestration for improved land management. *World soil, reports* 96.

Parra-Coronado, A., Hernández, J., y Camacho-Tamayo, J. (2006). Estudio de

algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la pera variedad Triunfo de Viena. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(1), 55-59. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000100017>

Parra-Coronado. A. (2014). *Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (Acca sellowiana (O. Berg) Burret)*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de agronomía, Escuela de posgrados.

Parra-Coronado, A., Fischer, G., Camacho-Tamayo, J.H. (2015). Development and quality of pineapple guava fruit in two locations with different altitudes in Cundinamarca, Colombia. *Bragantia, Campinas*, 74(3), 359-366 p. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0459>

Perea, M. Fischer, G. Miranda, D. y Tirado, A. (2010). *Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales*. Universidad Nacional de Colombia.

Sánchez, D. (2015). *Influencia de la temperatura en etapas postcosecha sobre la calidad de diferentes variedades de ciruela*. [Trabajo de grado]. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.

Villegas. C. (2009). El cultivo del ciruelo. Proyecto Planton- Pacayas. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0983.pdf>

 **Conflictos de intereses**
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Área Agrícola

Área: agrícola

Fecha de recibido: 18-02-2023

Fecha de aceptado: 16-05-2023

DOI: 10.22490/21456453.6662

LOS MERCADOS CAMPESINOS COMO ESTRATEGIA DE SUSTENTABILIDAD EN LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA

FARMERS MARKETS AS A STRATEGY FOR SUSTAINABILITY IN THE FOOD SYSTEMS OF CUNDINAMARCA, COLOMBIA

Liza Lorena Quitián-Ayala ¹

Álvaro Acevedo-Osorio ²

¹ Magister en Gestión Ambiental, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. lizaquitian@gmail.com

² Doctor en Agroecología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. aacevedooo@unal.edu.co

Citación: Quitián-Ayala, L. y Acevedo-Osorio, A. (2024). Los mercados campesinos como estrategia de sustentabilidad en los sistemas alimentarios de Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 115-135.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6662>

RESUMEN

Contextualización: la sustentabilidad de los sistemas alimentarios ha adquirido gran relevancia en ámbitos académicos y políticos, destacándose el surgimiento de propuestas que cuestionan la distribución de alimentos a escala global. En Colombia se destaca la experiencia de la Red Nacional de Agricultura Familiar-RENAF y su campaña “Llevo el campo colombiano”, que integra mercados campesinos, étnicos y agroecológicos en varios departamentos del país.

Vacío de conocimiento: escasez de análisis sobre el potencial de los circuitos cortos de comercialización en relación con la sustentabilidad, a partir de marcos de análisis contextualizados desde la perspectiva de los actores que los conforman.

Propósito: analizar la sustentabilidad de los mercados en circuitos cortos de comercialización de la campaña “Llevo el Campo Colombiano” del Nodo Cundinamarca, de la Red Nacional de Agricultura Familiar (RENAF), y su contribución a la sustentabilidad de los sistemas alimentarios.

Metodología: se utilizaron tres encuestas con preguntas mixtas para la recolección de información; también, se construyó un marco de análisis de sustentabilidad con veinticinco indicadores, agrupados en cinco atributos: autogestión, estabilidad, dinamización territorial, equidad y cuidado ambiental. Las relaciones entre los indicadores se analizaron a través de un análisis de correspondencias múltiples.

Resultados y conclusiones: los atributos de autogestión y cuidado ambiental mostraron los mayores valores de aporte a la sustentabilidad, seguidos de la estabilidad y equidad que alcanzaron un valor similar. Existen indicadores por fortalecer en todos los atributos, que permitirían el robustecimiento de las dinámicas de los mercados y, por lo tanto, su contribución a la sustentabilidad del sistema alimentario desde una perspectiva territorial.

Palabras clave: circuitos cortos de comercialización, mercados locales, sistemas alimentarios, sustentabilidad

ABSTRACT

Contextualization: sustainability of food systems has acquired great relevance in academic and political fields, and the emergence of proposals questioning food distribution on a global scale stands out. In Colombia, the experience of the National Network of Family Farming (RENAF for its Spanish acronym) and its campaign "Llevo el Campo colombiano" (I carry the Colombian countryside, in English) stand out, which integrates farmers, ethnic, and agroecological markets in various departments of the country.

Knowledge gap: Lack of analysis on the potential of short marketing circuits concerning sustainability, based on analysis frameworks contextualized from the perspective of actors making them up.

Purpose: To analyze the sustainability of the markets in short marketing circuits of the "Llevo el Campo colombiano" campaign of the Cundinamarca Node of the National Network of Family Farming (RENAF for its Spanish acronym) and its

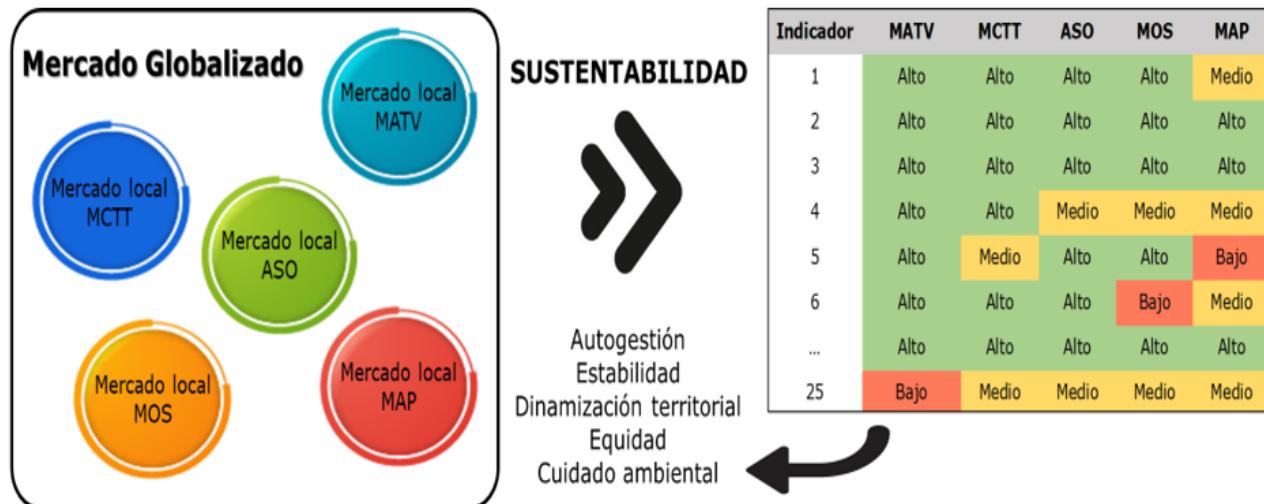
contribution to the food systems sustainability.

Methodology: Three surveys with mixed questions were used to collect information. A sustainability analysis framework was developed with 25 indicators grouped into five attributes: self-management, stability, territorial dynamization, equity, and environmental care. The analysis of the relationships between indicators was carried out through a multiple correspondence analysis.

Results and conclusions: the self-management and environmental care attributes showed the highest contribution values to sustainability, followed by stability, and equity which reached a similar value. There are indicators to be strengthened in all attributes, which would allow the reinforcement of market dynamics and, therefore, their contribution to the food system sustainability from a territorial perspective.

Keywords: local markets, short marketing circuits, food systems, sustainability

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas alimentarios en el mundo se estructuran actualmente como un negocio multinacional productor de mercancías, enmarcado en estrategias de globalización reguladas por grandes corporaciones (Delgado, 2010). Estas empresas de alimentos representan un negocio más rentable que sectores como la energía o la tecnología de la información (IPES-Food, 2017). La globalización de los sistemas alimentarios ha tenido una rápida transformación, haciendo que las cadenas alimentarias crezcan abruptamente con el comercio mundial, aumentando la distancia entre producción y consumo (Global

Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition, 2016).

El concepto de sistemas alimentarios ha evolucionado desde las condiciones necesarias para alimentar a poblaciones en crecimiento, pasando por cuestiones de producción y distribución, así como aquellas cuestiones orientadas al consumo (Béné, *et al.*, 2019). Recientemente, se ha posicionado un concepto más holístico, que define los sistemas alimentarios como todos aquellos elementos (ambiente, personas, insumos, procesos, infraestructuras, instituciones, entre otros) y actividades relacionadas con la producción,

procesamiento, distribución, preparación y consumo de alimentos, como también los resultados de estas actividades, incluidos los resultados socioeconómicos y ambientales (HLPE, 2017).

La agricultura, base fundamental de estos sistemas, ha transitado desde sistemas locales de producción a una agricultura industrializada, integrada por unidades interconectadas a redes de mercados en circuitos largos, aumentando la acumulación de capital (Mateus, 2016). En este contexto, los campesinos se ven obligados a una especialización productiva para intentar insertarse en circuitos globales de distribución, altamente competitivos y que generan externalidades sociales y ambientales en niveles no comparables con las economías campesinas de agricultura familiar (Pita, *et al.*, 2018).

En circuitos largos, la distribución de alimentos se realiza mayoritariamente de manera convencional a través de grandes superficies, con grandes monopolios detrás de su operación. Por el contrario, formas con uno o cero intermediarios entre producción y consumo, resultan de iniciativas locales y autónomas de pequeños productores; estas formas de distribución de los alimentos con baja intermediación se pueden entender desde la perspectiva de los circuitos cortos de comercialización (CCC), fundamentados en la territorialidad, las cortas distancias recorridas por los alimentos, las formas organizativas alcanzadas y la creación de oportunidades para productores locales (Romero-López y Manzo-Ramos, 2017; Yacaman, *et al.*, 2019).

En este sentido, se encuentran los mercados locales, como estrategias a través de las cuales se desarrollan los CCC, construidos socialmente, generando mecanismos de gobernanza e involucrando a diversidad de actores (FAO, 2017; Schubert y Schneider, 2016). Su realización implica cierto grado de sustentabilidad en la medida que, mediante el intercambio de bienes y servicios, abarca el bienestar de las personas y del ambiente de manera conjunta, integrando criterios ambientales, sociales, culturales, económicos, territoriales y políticos (Ferraz, 2017; van der Ploeg, 2014).

Sin embargo, en su desarrollo los CCC se enfrentan a varios desafíos, como la necesidad de diversificar la oferta que se ve limitada por las capacidades de producción y distribución que tienen los productores que participan en estos espacios (Bayir, *et al.*, 2022), la cohesión necesaria entre productores y consumidores, que no se construye fácilmente y requiere de tiempo para su consolidación (Requier-Desjardins y Torres, 2019; González, *et al.*, 2020), el apoyo de políticas públicas que es escaso en países del cono sur y que en ocasiones tienden al intervencionismo que cambia la autonomía y gobernanza que los caracteriza (González y Durand, 2020); y la baja asequibilidad de estos espacios para consumidores de ingresos medios y bajos por el costo que adquieren los productos en los CCC (Chaparro-Africano, 2019; Reina-Úsuga, 2018).

Teniendo en cuenta los aportes y retos que los CCC presentan para el fortalecimiento

de la agricultura familiar y para garantizar sistemas alimentarios sustentables, el objetivo de este estudio es analizar el grado de sustentabilidad de los mercados de

la campaña Llevo el Campo Colombiano del Nodo Cundinamarca, de la Red Nacional de Agricultura Familiar (RENAF) y su contribución a los sistemas alimentarios.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el departamento de Cundinamarca, Colombia, incluida Bogotá (capital del país), ubicados en el centro del país, sobre la cordillera oriental con 116 municipios, lo que permite que converjan las principales vías de comunicación de todo el territorio nacional. Bogotá y Cundinamarca constituyen la principal economía del país, generando el 32% del Producto Interno Bruto Nacional (PIB), con una dinámica representativa para la economía y correspondiendo al 22% de la población nacional (CCB, 2022).

Su ubicación y extensión proporciona todos los pisos bioclimáticos, además de un suelo altamente productivo. Dada su versatilidad cuenta con una producción variada, predominando un uso del suelo pecuario del 74%, con especies bovinas, equinas y mular, así como aves y gallinas de traspatio principalmente, frente a un 9% agrícola en el que se destacan productos como la papa, maíz amarillo, frijol, arveja, cebolla, caña panelera, entre otros (UPRA, 2022; DANE, 2020).

La investigación se articuló a la campaña “Llevo el campo colombiano” de la Red Nacional de Agricultura Familiar (RENAF), que desde el año 2017 vincula

mercados étnicos, campesinos y agroecológicos. El objetivo de esta campaña es visibilizar y posicionar estos mercados, así como hacer una observación continua de estos. Dentro del eje de seguimiento económico, por medio de la aplicación de herramientas en campo, se recopila información que permita evidenciar que las iniciativas que se han vinculado a la campaña son realmente una plataforma de distribución y comercialización de la agricultura familiar, del mismo modo que, hacer una caracterización de las familias que participan en estos espacios, de los mercados y sus consumidores (Red Nacional de Agricultura Familiar - RENAF, 2019).

La campaña comprende 73 mercados distribuidos en 12 departamentos y 55 municipios del país, de los cuales se seleccionaron a aquellos ubicados en el departamento de Cundinamarca, incluido Bogotá, y que accedieran al ejercicio de caracterización, los cuales son: Mercado Agroecológico Tierra Viva (MATV) y Mercado Campesino Tejiendo Territorios (MCTT) en Bogotá, Asopromes - Asociación de productores orgánico ecológico de la provincia de Sumapaz (ASO) y Mercado Orgánico del Sumapaz (MOS) en Fusagasugá y Mercado Agroecológico Los

Panches (MAP) en Guaduas; estos mercados agrupan a su vez a 72 familias productoras provenientes de 12 municipios: Arbeláez, Bogotá, Cáqueza, Choachí, Fu-

sagasugá, Granada, Guachetá, Guaduas, Guasca, Pasca, Puente Quetame, Sibaté y Silvania; y 51 consumidores (Figura 1).

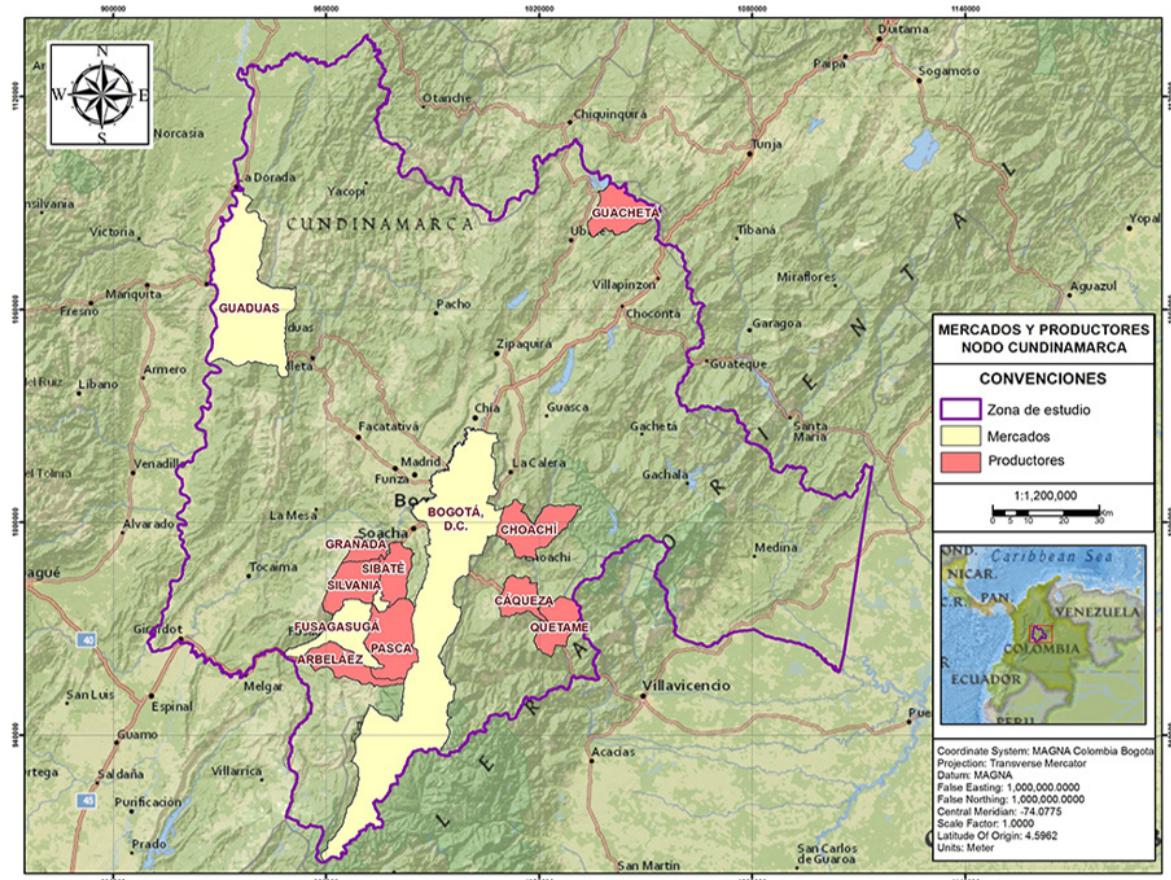


Figura 1. Mapa del área de estudio.

Fuente: autores.

Los datos se obtuvieron a partir de la aplicación de tres instrumentos de caracterización, para familias productoras, mercados y consumidores. Estos instrumentos consisten en encuestas con preguntas mixtas (cerradas, semicerradas y otras abiertas), con el propósito de obtener información descriptiva que permitiera una posterior caracterización de la

realidad social, institucional, comunal, grupal o personal (Ruiz, 2013). Todos los instrumentos fueron enviados a los mercados de la campaña en todo el país para su retroalimentación, además contaban con una guía para su diligenciamiento y sistematización, con el fin de centralizar la información para su posterior análisis.

La evaluación de la sustentabilidad se realizó a partir del diseño de un marco de análisis integrado por atributos y dimensiones que, de manera amplia, recogen las principales características relacionadas a la sustentabilidad de un mercado. Dentro de cada atributo se integraron aspiraciones que representan los anhelos o retos, de los organizadores de los mercados, referidos a la sustentabilidad del funcio-

namiento del mercado. Finalmente, estas aspiraciones se expresaron a manera de indicador para su correspondiente evaluación en cada mercado. Inicialmente, se estructuró un marco de 8 atributos y 30 indicadores, que fue socializado con integrantes de los mercados de todo el país y con expertos de la temática. La depuración resultante arrojó un marco de 5 atributos y 25 indicadores (Figura 2).



Figura 2. Marco de análisis de sustentabilidad de los mercados en CCC.

Fuente: autores.

Teniendo en cuenta que se adopta un enfoque desde la sustentabilidad como una característica multidimensional del sistema socioambiental, se opta por un diseño propio que sea aplicable al contexto particular del sistema alimentario, de los mercados locales y de los actores que en él convergen; en el cual se evalúe, a través de la articulación de diferentes escalas

de análisis (regional, nacional y mundial), determinando localmente su especificidad (Masera, *et al.*, 2000).

Los cinco atributos utilizados para la evaluación de sustentabilidad fueron: autogestión, estabilidad, dinamización territorial, equidad y cuidado ambiental; definidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición de atributos de sustentabilidad

Atributo	Concepto
Autogestión	Empoderamiento y gobernanza de las comunidades sobre la gestión del mercado.
Estabilidad	Mantenimiento en el tiempo de los beneficios para productores y consumidores.
Dinamización territorial	Fortalecimiento de los procesos de desarrollo territorial, a partir de las dinámicas del mercado y sus vínculos con la comunidad.
Equidad	Capacidad de distribuir de manera justa los beneficios y costos ambientales, sociales y económicos de la actividad propia del mercado.
Cuidado ambiental	Contribución a la conservación y preservación de la biodiversidad, así como a la disminución de los impactos ambientales generados en el sistema alimentario.

Fuente: autores.

Para cada uno de los 25 indicadores generados a partir del marco de análisis, se planteó una unidad de medida y una escala en tres niveles: alto, medio y bajo, con el fin de obtener una gradación uniforme de las respuestas, teniendo en cuenta que cada indicador tiene medidas en varia-

bles homogéneas. Esto permite su comparabilidad y análisis más profundo en términos del aporte a la sustentabilidad. En la Tabla 2 se presenta un ejemplo de un indicador, con su atributo, aspiración, medida y escala. En el Anexo 1 se presenta el marco completo.

Tabla 2. Muestra del marco de análisis de indicadores de sustentabilidad

ATRIBUTO	No.	ASPIRACIÓN	INDICADOR	MEDIDA	ESCALA
Autogestión (AG)	1	El mercado cubre los costos y gastos asociados a su funcionamiento sin requerir de ayuda externa	Costos y gastos de funcionamiento soportados por los integrantes del mercado	Cantidad de costos y gastos que son cubiertos por los integrantes del mercado	Alto: autogestión financiera completa Medio: financiamiento externo parcial Bajo: financiamiento externo completo

Fuente: autores.

El análisis de los resultados de los indicadores se hizo a través de estadística multivariada, específicamente mediante análisis de correspondencias múltiples (ACM) que permite identificar la relación existente entre dos o más variables en el contexto de un fenómeno de interés, siendo variables homogéneas y con escalas de respuesta iguales (Greenacre, 2008). Para el procesamiento de la información se utilizó el lenguaje de programación R.

El ACM asigna un grado de contribución a cada indicador, el cual representa la va-

riabilidad en las respuestas entre los cinco mercados, oscilando entre 0 y 1. Siendo 0 aquel en el que las respuestas fueron iguales para todos los mercados, llegando hasta 1, con respuestas variadas para cada mercado (Anexo 2). Con el fin de asignar un grado de aporte a la sustentabilidad a los atributos y mercados de manera individualizada, se convirtió la escala de evaluación a valores enteros (3-Alto, 2-Medio y 1-Bajo), y se multiplicó por el grado de contribución de cada indicador, obteniendo promedios ponderados para cada uno (Anexo 3).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cinco mercados caracterizados son de tipo campesino o agroecológico, con una oferta amplia de productos en fresco y transformados, presentando una variación frente a un mercado convencional con productos de temporada, frescos y con sabores característicos por su bajo uso de agroquímicos (Lacroix y Cheng, 2014). Asimismo, la preparación y venta de platos típicos de la región por parte de los mismos productores, la oferta de transformados para alimentación, artesanías, textiles, instrumentos y bisutería, añaden a estos espacios un sello particular (Torres-Salcido, 2013).

Para la mayoría de las familias la producción agropecuaria constituye su único ingreso económico; mientras que, para un tercio de estas, la venta y trueque en los mercados de la campaña, representan sus

únicas opciones; razón por la cual recurren a otros canales de comercialización, como organizarse con otros productores para ventas mayoristas, o la venta anticipada mediante contrato, entre otras estrategias. La organización entre familias, que no es un comportamiento habitual del campesinado del departamento, constituye un aspecto clave en la organización de CCC, que resulta principalmente de la interacción entre actores con diferentes intereses, y como solución a diversos problemas que nacen del accionar en conjunto (Chiffolleau, *et al.*, 2019).

Tres de los cinco mercados (MATV, MCTT y MOS) se realizan en espacios privados por los cuales pagan una cuota de funcionamiento, que les ha implicado traslados de sedes o inconvenientes con las autoridades locales por los permisos sanitarios

requeridos; los otros dos mercados (ASO y MAP) funcionan en espacios abiertos facilitados por las alcaldías de los municipios, en los que se presenta una limitación frente al acceso al agua potable y baños. De tal manera que, la infraestructura es un factor determinante para garantizar la estabilidad y funcionamiento a largo plazo de los CCC, generando costes adicionales, pérdida de consumidores o intermitencia para su apertura (Rucabado-Palomar y Cuéllar-Padilla, 2020).

Integrando los aspectos evaluados en los mercados, las familias productoras y los consumidores, se realiza la evaluación de sustentabilidad en la cual los cinco mercados muestran un desempeño predominantemente Alto, destacándose MATV con un porcentaje logrado del 72% en este nivel; en el nivel medio de sustentabilidad predominan ASO y MAP con un porcentaje del 28% de indicadores con ese desempeño; y finalmente, en el nivel bajo de desempeño se encuentra MAP con un 24% de indicadores en ese nivel (Tabla 3).

Tabla 3. Categorización de los indicadores

No.	Indicador	MATV	MCTT	ASO	MOS	MAP
AG1	Financiamiento costos y gastos	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
AG2	Acuerdos colectivos	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
AG3	Negociación institucionalidad local	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
AG4	Sistemas de certificación de confianza	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio
AG5	Fortalecimiento de capacidades y aptitudes	Alto	Medio	Alto	Alto	Bajo
ES6	Aliados para funcionamiento	Alto	Alto	Alto	Bajo	Medio
ES7	Periodicidad de apertura	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
ES8	Recurrencia de consumidores	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio
ES9	Condiciones de funcionamiento	Alto	Alto	Medio	Alto	Medio
DT10	Participación en políticas públicas	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

DT11	Prácticas de economía social y solidaria	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
DT12	Cercanía lugar producción	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
DT13	Semillas nativas o criollas	Alto	Bajo	Alto	Alto	Bajo
DT14	Importancia socio-ambiental del mercado	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
DT15	Canales de comunicación	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
EQ16	Participación de mujeres	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto
EQ17	Participación de jóvenes	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto
EQ18	Prácticas laborales dignas	Alto	Bajo	Alto	Alto	Medio
EQ19	Producción de agricultura familiar	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
EQ20	Asequibilidad para los consumidores	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
CA21	Producción limpia	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto
CA22	Transformación limpia	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
CA23	Transporte de productos	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto
CA24	Empaques entrega	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
CA25	Gestión adecuada de residuos	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo

Fuente: autores a partir de la medida de cada indicador por mercado.

Para mayor detalle de la escala ver Anexo 1.

El ACM mostró cuatro dimensiones que explican estadísticamente toda la variabilidad de los datos para los indicadores evaluados. Con el fin de realizar una representación gráfica en dos ejes se utilizaron las dos primeras dimensiones que

explican el 72,3% de la variabilidad de la información, es decir, que estas dos dimensiones explican en buena medida esa proporción de varianza en las categorías obtenidas por cada mercado en cada uno de los indicadores (Anexo 4).

Así, se obtuvo un análisis del peso de cada indicador en relación con la variabilidad de las respuestas obtenidas (Figura 3). De acuerdo con esto se encuentran núcleos de correlación, como el señalado en color gris donde se encuentran los indicadores AG5 y EQ18, que presentan la más alta varia-

bilidad en las respuestas, mientras que los indicadores AG2, AG3, ES7, DT11, DT12, EQ19, EQ20 y CA22, señalados con amarillo, son los que menor variabilidad presentan, con calificación “Alto” en todos los mercados.

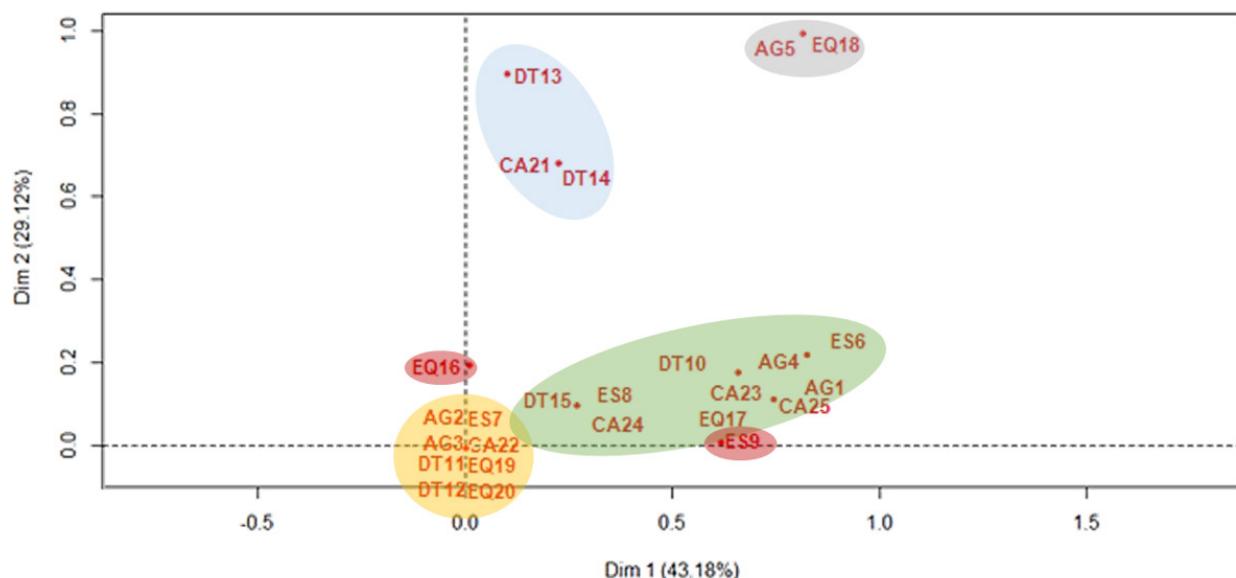


Figura 3. Aporte de información de los indicadores de sustentabilidad.

Fuente: autores a partir del gráfico del software R.

Estos ocho indicadores (en color amarillo) se resaltan por la alta importancia de su desempeño para un mercado en CCC. Se encuentran en este grupo, características que han logrado posicionarse con el tiempo, fortaleciéndose en la marcha por las dinámicas propias de un espacio construido social y autónomamente por sus actores (Schneider, *et al.*, 2015). Perteneцен a todos los atributos considerados en el estudio, y responden a los criterios ambientales, sociales, culturales, económicos, territoriales y políticos involucrados

en el análisis de sustentabilidad (Masera, *et al.*, 2000); por otro lado, dinamizan aspectos propios de un CCC, como la reducción de distancias físicas, la vinculación de productores familiares y el fomento de una agricultura limpia (Lacroix y Cheng, 2014; López, 2012; van der Ploeg, 2014).

Muy cercano a estos indicadores, se ubica la participación de las mujeres (EQ16), constituyendo un aspecto relevante para promover la autonomía económica y las habilidades para la toma de decisiones. El empoderamiento y dinámicas asociativas

para las mujeres rurales ha demostrado una contribución en el mejoramiento de la seguridad alimentaria y nutricional de sus familias, así como una mayor participación e injerencia en los aspectos económicos del hogar (Malak-Rawlikowska, *et al.*, 2019; Suárez, *et al.*, 2018).

Seguidamente, se encuentran aquellos indicadores con una mediana variabilidad en el ACM, señalados con color verde en la Figura 3 (AG1, AG4, ES6, ES8, DT10, DT15, EQ17, CA23, CA24, CA25). Estos indicadores representan los principales desafíos percibidos en los casos estudiados, siendo posible destacar la baja recurrencia de los consumidores y la necesidad de consolidar canales de comunicación efectivos, en la que los productores manifestaron la necesidad de fortalecer sus capacidades de mercadeo y de integración para informar oportunamente sus formas de producción, los insumos utilizados, la calidad de su producto, su procedencia, entre otros, garantizando una vinculación fuerte del consumidor con el mercado a futuro (Kirwan, 2006).

En la dinamización territorial, se señala la baja participación en espacios de discusión de políticas públicas, importantes para el desarrollo de instrumentos legislativos efectivos para el Desarrollo Rural, involucrando a los distintos actores de la sociedad civil (Schneider, *et al.*, 2015). En equidad, el indicador de vinculación de jóvenes a los mercados presentó un nivel medio para cuatro mercados, presentes en algunos casos acompañando a la familia en el mercado, pero sin un papel acti-

vo en los procesos asociados al producto ofertado, evidenciando la necesidad de articular a dicha población a las dinámicas económicas del núcleo familiar, desincentivando su migración a las urbes y promoviendo el relevo generacional del campesinado (Gutiérrez, 2016).

En cuanto al atributo de cuidado ambiental, presenta las puntuaciones con mayores variabilidades dentro de los mercados. Para los indicadores relacionados con la producción y la transformación limpia se obtiene un nivel alto en la gran mayoría de los mercados, pero al momento de evaluar la carga ambiental del transporte de los productos, los empaques usados o la gestión de los residuos, se observa una tendencia hacia evaluaciones medio y bajo. Teniendo en cuenta que la carga ambiental de la sustentabilidad no se puede relegar solamente a aspectos de la producción, resulta interesante abordar estos aspectos de logística y distribución, que no suelen evaluarse en investigaciones de este tipo (Chaparro-Africano, 2019; Reina-Úsuga, 2018).

Al analizar el desempeño por atributos para cada mercado, la autogestión presenta el mayor grado de contribución a la sustentabilidad, ubicándose para MCTT, MATV, MOS y ASO con puntuaciones cercanas a 1; mientras que MAP tiene una puntuación por debajo en 0,6; seguidamente, se encuentra el atributo de cuidado ambiental (0,84), representando una fortaleza para MATV, ASO y MOS, Medio para MAP y Bajo para MCTT; la estabilidad y equidad tuvieron un mismo grado

de aporte (0,82); y finalizando, la dinamización territorial (0,58) con las puntuaciones más bajas, principalmente para MAP

que tiene una ponderación de 0,42 la más baja en todos los mercados y atributos (Figura 4).

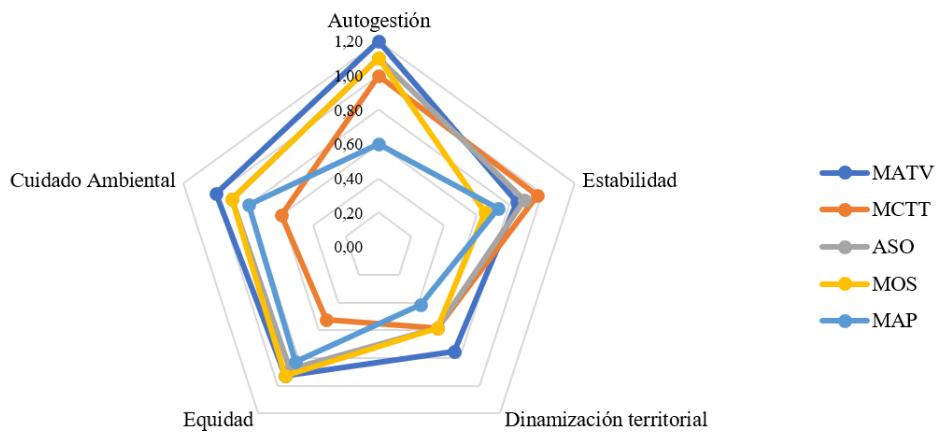


Figura 4. Ponderación por atributo y mercado.

Fuente: autores.

En la Tabla 4, se presenta una ponderación para cada mercado, dando cuenta del grado de aporte a la sustentabilidad en sus contextos particulares. El MATV que obtiene un primer lugar se destaca, por la alta capacidad organizativa de sus integrantes, así como por su esfuerzo en disminuir los impactos ambientales, con estrategias en aspectos como el uso de empaques menos contaminantes o la gestión de residuos; los mercados ASO y MOS, obtienen resultados muy cercanos, en gran medida por que los integrantes de ASO son también participantes en MOS, con aportes principalmente en aspectos de formación de capacidades de sus inte-

grantes y su constancia en la apertura; el MCTT cuenta con aportes importantes en cuanto a estabilidad con un alto número de aliados y buenas condiciones de infraestructura, requiere fortalecer aspectos de participación de jóvenes y seguimiento a prácticas laborales dignas; MAP con el menor grado de contribución, responde a la necesidad de fortalecer sus capacidades organizativas de manera independiente a la organización que los gestiona desde su formación, evidenciado en aspectos como la baja participación de los integrantes en espacios conexos del mercado, como talleres de formación o visitas a los sitios de producción.

Tabla 4. Grado de aporte a la sustentabilidad por mercado

Mercado	Grado de aporte
MATV	0,94
ASO	0,86
MOS	0,83
MCTT	0,72
MAP	0,66

Fuente: autores.

Así, es posible evidenciar que la sustentabilidad de los mercados locales insertos en CCC, contribuyen al fortalecimiento de sistemas alimentarios en los territorios, entendiendo que permiten la integración, en un espacio físico, de todas las actividades del sistema (producción, procesamiento, distribución, preparación y consumo), de la conexión entre sus actores de manera directa (reduciendo distancias físicas y eliminando los intermediarios), además de atender el desarrollo de las personas (empoderamiento de los productores y de los consumidores), junto con el ambiente (oferta de productos frescos, locales y de temporada de origen limpio o agroecológico) (HLPE, 2017; López, 2012; Masera, *et al.*, 2000).

Pero así también, se ponen de manifiesto los desafíos a los que se enfrentan los CCC como las capacidades limitadas de producción y logística (Bayir, 2022; Plakias, *et al.*, 2020), las dificultades de transporte en zonas con difícil acceso, el establecimiento de relaciones duraderas con los consumidores (Tsoulfas, *et al.*, 2023), la necesidad de participar en más de un CCC o en circuitos largos que garanticen un ingreso económico estable (Renkema y Hilletoft, 2022). Es requerida la mirada desde varios enfoques, además de los CCC, para afrontar por completo los desafíos ambientales, económicos, políticos y sociales, que se presentan dentro del sistema alimentario para alcanzar su sustentabilidad (Arthur, *et al.*, 2022).

4. CONCLUSIONES

La sustentabilidad de los mercados en CCC puede ser evaluada a partir de marcos de análisis centrados en atributos clave como autogestión, estabilidad, dinamización territorial, equidad y cuidado ambiental, que deriven en indicadores propios que representen las aspiraciones de los actores que los construyen.

Los mercados locales tienen un alto potencial para la promoción de la sustentabilidad y el fortalecimiento de los sistemas alimentarios en los territorios, sin embargo, requieren del apoyo de la institucionalidad local, siendo necesarias políticas públicas así como el cumplimiento de las ya

existentes, para garantizar la permanencia en el tiempo de estas iniciativas de CCC.

Se destacan dentro de los aspectos evaluados en los cinco mercados en CCC del departamento de Cundinamarca, ocho indicadores con un desempeño alto en todos los mercados evaluados, que permiten el cumplimiento de las características propias de un mercado local inserto en un CCC. Dentro de los aspectos más relevantes para fortalecer los mercados, se encuentran la participación en espacios de construcción de políticas públicas, la consolidación de canales de comunicación, efectivos como duraderos, entre productores y consumidores, además de la promoción del uso de empaques menos contaminantes para la entrega de los productos.

Se observa que, fortalecer aspectos esenciales de los mercados en CCC como el mantenimiento de una demanda constante de productos agroecológicos u orgánicos,

cos, el mejoramiento de capacidades de los actores, la participación en construcción de políticas públicas y el seguimiento de prácticas laborales dignas, contribuyen de manera directa al robustecimiento de los sistemas alimentarios territoriales, incidiendo en todos sus eslabones, desde la producción hasta el consumo, así como en la garantía de un bienestar conjunto de las personas y del ambiente, integrando criterios sociales, culturales, económicos, territoriales y políticos.

Los resultados obtenidos en esta investigación no son generalizables a todos los mercados de la campaña, o a otros de su tipo; más la metodología propuesta sí funcionaría como una base para futuros análisis de otros mercados en otros contextos, permitiendo contrastar resultados obtenidos, al igual que validar y afinar el instrumento propuesto.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Liza Lorena Quitián Ayala: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original,

revisión y edición. **Álvaro Acevedo Osorio:** dirección, metodología, conceptualización, revisión y corrección de escritura.

AGRADECIMIENTOS

A las personas de las organizaciones sociales, mercados, campesinas y campesinos que a través de su tiempo e información permitieron el desarrollo de la investigación; a la Red Nacional de Agricultura

Familiar, RENAF, a través de la campaña “Llevo el campo colombiano”; a la Asociación de Trabajo Interdisciplinario, ATI, por facilitar los espacios, recursos e información.

LITERATURA CITADA

Arthur, H., Sanderson, D., Tranter, P., & Thornton, A. (2022). A review of theoretical frameworks of food system governance, and the search for food system sustainability. *Agroecology & Sustainable Food Systems*, 46(8), 1277-1300. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2104422>

Bayir B, Charles A, Sekhari A, Ouzrout Y. (2022). Issues and Challenges in Short Food Supply Chains: A Systematic Literature Review. *Sustainability* 14(5), 3029. <https://doi.org/10.3390/su14053029>

Béné, C., Prager, S., Achicanoy, H., Álvarez, P., Lamotte, L., Bonilla, C., & Mapes, B. (2019). Understanding food systems drivers: A critical review of the literature. *Global Food Security*, 23, 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.04.009>

Cámara de Comercio de Bogotá. [CCB]. (2022). *Balance de la economía de Bogotá y Cundinamarca 2021, Radiografía de la reactivación*. Autor.

Chaparro-Africano, A. (2019). Toward generating sustainability indicators for agroecological markets. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(1), 40-66. <https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1566192>

Chiffolleau, Y., Millet-Amrani, S., Rossi, A., Rivera-Ferre, M., & Lopez-Merino, P. (2019). The participatory construction

of new economic models in short food supply chains. *Journal of Rural Studies*, 68, 182-190. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.019>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. [DANE]. (2020). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. Autor. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>

Delgado, M. (2010). El sistema agroalimentario globalizado: imperios alimentarios y degradación social y ecológica. *Revista de Economía Crítica*, 10, 32-61. <https://hdl.handle.net/11441/84058>

Ferraz, M. A. (2017). *Direito Humano à Alimentação e Sustentabilidade no Sistema Alimentar*. Paulinas.

Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition. (2016). *Food systems and diets: Facing the challenges of the 21st century*. London, UK: Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition. <https://www.glopan.org/wp-content/uploads/2019/06/ForesightReport.pdf>

González, A., Durand, G. (2020). Comercio justo, mercados locales, los retos de la replicabilidad y del cambio de escala. Análisis de casos latinoamericanos. En: González, A., Nigh, R., Pouzenc, M. (coord.) "La comida aquí". Retos y realidades de los circuitos cortos de comercializa-

ción (pp. 63-84). Universidad Nacional Autónoma de México.

González, A., Nigh, R., Pouzenc, M. (2020). ¿Quiénes comercializan sus alimentos en los circuitos cortos? En: González, A., Nigh, R., Pouzenc, M. (coord.) "La comida aquí". Retos y realidades de los circuitos cortos de comercialización (pp. 28-31). Universidad Nacional Autónoma de México.

Greenacre, M. (2008). Análisis de correspondencias múltiples. En M. Greenacre, *La práctica del análisis de correspondencias* (pp. 185-193). Fundación BBVA.

Gutiérrez, O. (2016). *Políticas para mejorar la participación de pequeños productores en la comercialización de alimentos en Colombia* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.

HLPE. (2017). *Nutrition and food systems*. HLPE-High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_S_and_R/HLPE_2017_Nutrition-and-food-systems_S_R-EN.pdf

IPES-Food. (2017). *Too big to fail? Too big to feed: Exploring the impacts of mega-mergers, concentration, concentration of power in the agri-food sector*. IPES. http://www.ipes-food.org/_img/upload/files/Concentration_FullReport.pdf

Kirwan, J. (2006). The interpersonal world of direct marketing: Examining conventions of quality at UK farmers' markets. *Journal of Rural Studies*, 22(3),

301-312. <https://doi.org/10.1016/j.jurstud.2005.09.001>

Lacroix, P., y Cheng, G. (2014). *Ferias y mercados de productores: Hacia nuevas relaciones campo-ciudad*. CEPES - AVSF. https://www.avsf.org/public/posts/1663/libroRegional_andino_ferias_mercados_productores_avsf_cepes_2014.pdf

López, D. (2012). Canales cortos de comercialización, un elemento dinamizador. *Soberanía Alimentaria, Biodiversidad y culturas*, 8, 20-24. [https://ddd.uab.cat/pub/sobali/sobali_a2012m1n8p20.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/sobali/sobali_a2012m1n8/sobali_a2012m1n8p20.pdf)

Malak-Rawlikowska, A., Majewski, E., Was, A., Borgen, S. O., Vittersø, G., Csillag, P., Török, Á., Donati, M., Freeman, R., Tocco, B., Hoàng, V., Nguyen, A., Lecoeur, J.-L., Saïdi, M., Wavresky, P., Mancini, M. C., & Veneziani, M. (2019). Measuring the economic, environmental, and social sustainability of short food supply chains. *Sustainability*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/su11154004>

Masera, O., Astier, M. y López-Ridaura, S. (2000). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El Marco de evaluación MESMIS*. Mundi-Prensa.

Mateus, L. (2016). La agroecología como opción política para la paz en Colombia. *Ciencia Política*, 11(21), 57-91. <https://doi.org/10.15446/cp.v11n21.60291>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- [FAO]. (2017). Entrevista Sergio Schneider: Agricultura familiar y mercados. Mejores mercados, mejores sistemas alimentarios. *Boletín de Agricultura Familiar para AL y Caribe*, 5-7. <http://www.fao.org/3/a-i7205s.pdf>
- Pita, Y. X., Botía, B. Y. y Fonseca, J. A. (2018). Caracterización y tipificación de los atributos ecosistémicos de la Agricultura Familiar Campesina en la microcuenca del río Cormechechoque (Boyacá). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 49-62. <https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.22490/21456453.2134>
- Plakias ZT, Demko I, Katchova AL (2020). Direct marketing channel choices among US farmers: evidence from the Local Food Marketing Practices Survey. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35, 475-489. <https://doi.org/10.1017/>
- Red Nacional de Agricultura Familiar. [RENAF]. (2019). Llevo el Campo Colombiano. <https://agriculturafamiliar.co/llevo-el-campo-colombiano/>
- Reina-Úsuga, L. (2018). *Sostenibilidad y gobernanza alimentaria: Análisis de la contribución de los canales cortos de comercialización territorial en sendos casos de estudio en Colombia y España*. [Tesis doctoral]. Universidad de Córdoba. <http://hdl.handle.net/10396/17586>
- Renkema, M., & Hilletoft, P. (2022). Intermediate short food supply chains: a systematic review. *British Food Journal*, 124(13), 541-558. <https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2022-0463>
- Requier-Desjardins, D. y Torres, G. (2019). Sistemas Agroalimentarios Localizados (SIAL) y circuitos cortos en América Latina. En Guibert, M., Sabourin, E. (coord.), *Ressources, inégalités et développement des territoires ruraux en Amérique latine, Caraïbe et en Europe* (pp. 119-132). Institut des Amériques / Agence française de développement / Fondation EU-LAC.
- Romero-López, A., & Manzo-Ramos, F. (2017). Understanding the Linkages between Small-Scale Producers and Consumers through the Analysis of Short Food Supply Chains in a Local Market in Nopala de Villagrán, Hidalgo, Mexico. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 14(79), xx. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr14-79.ulsp>
- Rucabado-Palomar, T., y Cuéllar-Padilla, M. (2020). Short food supply chains for local food: a difficult path. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35(2), 182-191. <https://doi.org/10.1017/S174217051800039X>
- Ruiz, C. (2013). *Instrumentos y técnicas de investigación educativa*. DANAGA Training and Consulting.
- Schneider, S., van der Ploeg, J., & Hebinck, P. (2015). Reconsidering the contribution of nested markets to rural development. En P. Hebinck, J. van der Ploeg, & S. Schneider, *Rural Development and the Construction of New Markets* (pp. 190-205). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9781315114712-8>

Schubert, M., & Schneider, S. (2016). Construção social de mercados e as tendências de consumo: o caso do Pavilhão da Agricultura Familiar da EXPOINTER (RS). *Ciências Sociais Unisinos*, 52(3), 373-382. <https://doi.org/10.4013/csu.2016.52.3.08>

Suárez, E., Mosquera, T., & Del Castillo, S. (2018). Empowerment and associative process of rural women: a case study of rural areas in Bogotá and Cundinamarca, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 36(2), 158-165. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n2.66927>

Torres-Salcido, G. (2013). Sistemas Agroalimentarios Localizados. Innovación y debates desde América Latina. *Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis*, 10(2), 68-94. <http://dx.doi.org/10.5007/1807-1384.2013v10n2p68>

Tsoulfas, G. T., Trivellas, P., Reklitis, P., & Anastasopoulou, A. (2023). A Bibliometric Analysis of Short Supply Chains

in the Agri-Food Sector. *Sustainability*, (Switzerland), 15(2). <https://doi.org/10.3390/su15021089>

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. [UPRA]. (2022). *Base Agrícola Evaluaciones Agropecuarias-EVA 2019 a 2021*. Autor. -https://www.agronet.gov.co/Lists/Boletin/Attachments/11970/BaseEVA_Agr%C3%A9cola2019_2020_2021.xlsx

van der Ploeg, J. (2014). Newly emerging, nested markets. A theoretical introduction. En P. Hebinck, v. d. Ploeg, & S. Schneider, *Rural development and the construction of new markets* (pp. 212). Taylor & Francis Group.

Yacaman, C., Matarán, A., Mata, R., López, J., & Fuentes-Guerra, R. (2019). The Potential Role of Short Food Supply Chains in Strengthening Periurban Agriculture in Spain: The Cases of Madrid and Barcelona. *Sustainability*, 11(7), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su11072080>

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 09-03-2023

Fecha de aceptado: 01-06-2023

DOI: 10.22490/21456453.6710

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DE GRANO DE *Theobroma cacao* L. EN RESPUESTA A PROCESOS DE BENEFICIO EN MUNICIPIOS DEL NORTE DEL HUILA, COLOMBIA

THE EVALUATION OF THE PHYSICAL AND SENSORY QUALITY OF THE *Theobroma cacao* L. BEANS IN RESPONSE TO PROCESSING IN NORTHERN HUILA MUNICIPALITIES, COLOMBIA

Leidy Machado Cuellar ¹

Eliana Lizeth Medina Rios ²

Kathryn Yadira Guzmán Pacheco ³

Claudia Mercedes Ordoñez Espinosa ⁴

¹ Magíster en Agroforestería, Servicio Nacional de Aprendizaje, Regional Huila, Centro de Formación Agroindustrial, Campoalegre, Colombia. lmachado@sena.edu.co

² Magíster en Desarrollo Rural, Servicio Nacional de Aprendizaje, Regional Huila, Centro de Formación Agroindustrial, Campoalegre, Colombia. elmedinar@sena.edu.co

³ Ingeniero Agroindustrial, Servicio Nacional de Aprendizaje, Regional Huila, Centro de Formación Agroindustrial, Campoalegre, Colombia. kyguzman@sena.edu.co

⁴ Doctora en Ciencias Biología, Servicio Nacional de Aprendizaje, Regional Huila, Centro de Formación Agroindustrial, Campoalegre, Colombia. cordoneze@sena.edu.co

Citación: Machado, L., Medina, E., Guzmán, K. y Ordoñez, C. (2024). Evaluación de la calidad física y sensorial de grano de *Theobroma cacao* L. en respuesta a procesos de beneficio en municipios del norte del Huila, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 137-156. <https://doi.org/10.22490/21456453.6710>

RESUMEN

Contextualización: los procesos de fermentación y secado de grano de cacao en las fincas cacaoteras, constituyen la base para la obtención de un producto de calidad, no obstante, su manejo varía entre productores y fincas de la misma región, dificultando el mejoramiento de los procesos de beneficio, limitando las condiciones de comercialización y oferta del producto.

Vacío de conocimiento: limitada implementación de prácticas de beneficio del grano de cacao que garanticen la calidad física-sensorial.

Propósito: el objetivo fue evaluar la calidad física y sensorial de grano de cacao en respuesta a procesos de beneficio en fincas productoras de los municipios de Algeciras, Campoalegre y Rivera ubicados en el Norte del departamento del Huila.

Metodología: el estudio se desarrolló en 18 fincas productoras de cacao de los municipios de Rivera, Campoalegre y Algeciras, al norte del Huila. En cada finca se recolectaron 2 Kg de grano de cacao seco que fueron enviados al laboratorio para ser analizados mediante prueba de análisis físico, en donde se identificaron granos completamente fermentados, parcialmente fermentados y granos sin fermentar; y, el análisis sensorial se desarrolló mediante el panel de catación, evaluando des-

criptores como aroma, acidez, astringencia, amargor, sabor a fruta, floral, nueces, panela y herbal; finalmente, se realizaron análisis estadísticos de conglomerados y componentes principales.

Resultados y conclusiones: en el análisis por conglomerados se generaron tres grupos con una correlación del 81,10%, evidenciando similitud y cercanía entre ellos de acuerdo con las variables evaluadas. El grupo 1, constituido por fincas del municipio de Algeciras, se caracteriza por presentar muestras con mejores condiciones de clasificación, mayor porcentaje de granos bien fermentados, contenido de humedad; en los grupos 2 y 3, conformados por fincas de los municipios de Rivera y Campoalegre, se evidenciaron muestras con bajo porcentaje de granos bien fermentados y altos porcentajes de humedad. Por su parte, la evaluación de atributos y características relacionadas con el análisis sensorial, mostraron mayor nivel de agrupamiento en las fincas del municipio de Rivera. Las muestras provenientes de los municipios de Algeciras y Campoalegre, arrojaron mayor presencia de atributos como acidez frutal (cítrica), fruta fresca, especiado (canela), floral y madera.

Palabras clave: atributos, conglomerados, descriptores, fermentación, secado

ABSTRACT

Contextualization: The fermentation and drying process of cocoa beans in cocoa farms is the basis for obtaining a quality product. However, its management varies among producers and farms in the same region, making it difficult to improve the processing and limiting the marketing and supply conditions of the product.

Knowledge gap: Limited implementation of cocoa bean processing practices that ensure the physical and sensory quality.

Purpose: The objective was to evaluate the physical and sensory quality of cocoa beans in response to processing in farms of Algeciras, Campoalegre, and Rivera municipalities located in the northern part of the Huila department.

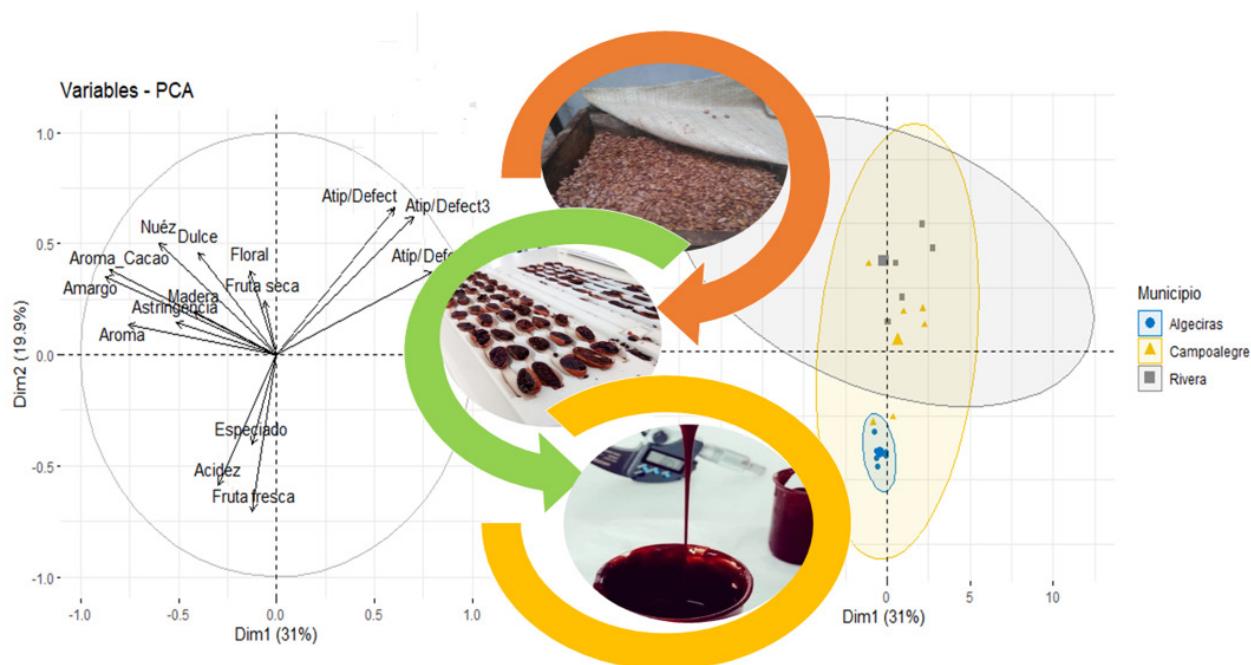
Methodology: The study was conducted in 18 cocoa farms of Rivera, Campoalegre, and Algeciras municipalities of northern Huila. In each farm, 2kg of dry cocoa beans were collected and sent to the laboratory to be analyzed through a physical analysis test, where completely fermented, partially fermented, and non-fermented beans were identified. The sensory analysis was carried out through the tasting panel; the descriptors were evaluated, such as aro-

ma, acidity, astringency, bitterness, and fruit, floral, nutty, panela, and herbal flavors. Finally, statistical analyses of cluster and principal analyses were carried out.

Results and conclusions: In the cluster analysis, three groups were generated according to the variables evaluated with a correlation of 81.10%, showing similarity and closeness among them. Group 1, composed of farms in Algeciras municipality, is characterized by samples with better classification conditions, higher percentages of well-fermented grains, and moisture content. Groups 2 and 3, composed of farms in the Rivera and Campoalegre municipalities, showed samples with low percentages of well-fermented grains and high moisture content. For its part, the evaluation of attributes and characteristics related to sensory analysis showed a higher level of grouping in the farms in the Rivera municipality. Samples from the Algeciras and Campoalegre municipalities showed a more significant presence of attributes such as fruity acidity (citrus), fresh fruit, spicy (cinnamon), floral, and wood.

Keywords: attributes, clusters, descriptors, fermentation, drying

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta de la cuenca amazónica, los frutos obtenidos son utilizados para la generación de productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos. Las características de calidad y sabor del grano de cacao producido en Colombia han permitido el reconocimiento como productor de “cacao fino y de aroma” (ICCO, 2020).

Diferentes autores señalan una relación directa entre las prácticas de beneficio y la calidad del grano (Aprotozoaie *et al.*,

2016). Asimismo, Kongor *et al.* (2016) y De Cock (2019) mencionan que la calidad del cacao es expresada mediante características físicas, químicas y sensoriales, estas últimas directamente relacionadas con su sabor y aroma, expresado en notas florales, frutales y cítricas. En este sentido, el perfil aromático y sensorial se deriva de la composición bioquímica del grano, características genéticas de cada material, procesos de beneficio y condiciones ambientales de la zona (Kumari *et al.*, 2018).

Los procesos de fermentación del cacao involucran la actividad microbiana en el proceso de bioconversión del mucílago y reacciones bioquímicas que son precursores del sabor y aroma de este (Oliveira *et al.*, 2018). La presencia de microorganismos en dichos procesos activa el cambio de temperatura y genera cambios dentro de la masa en fermentación, combinado con los cambios de pH, dan origen al color y formación del sabor del grano (Rojas-Rojas *et al.*, 2021; Viesser *et al.*, 2021).

Asimismo, investigaciones realizadas por De Bertorelli *et al.* (2009) resaltan la importancia del secado del grano fermentado, en este proceso se completa la formación de compuestos de aroma y sabor, además de producirse la eliminación del exceso de humedad del grano, en este sentido, son resaltadas algunas características de humedad de almacenamiento presentándose cáscara quebradiza cuando la humedad es menor al 8,00%, y susceptibilidad a la presencia de hongos cuando está por

encima del mismo valor. El manejo adecuado de la humedad de grano mediante exposición al sol es importante a fin de disminuir la astringencia de los granos, resultado de una hidrólisis enzimática de las antocianinas (Di Mattia *et al.*, 2014).

Los procesos de fermentación y secado se realizan bajo prácticas que difieren entre departamentos, regiones, e incluso, entre los mismos productores, por tal razón, se hace necesaria la elaboración de protocolos para el mejoramiento de la calidad mediante evaluación física, monitoreo de variables del proceso de fermentación y análisis sensorial. Lo anterior, a fin de estandarizar los procesos de postcosecha del cacao que permitan generar un producto de mayor calidad para acceder a nuevos mercados. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad física y sensorial de grano de cacao en respuesta a procesos de beneficio en fincas productoras de los municipios de Algeciras, Campoalegre y Rivera, ubicados en el Norte del departamento del Huila.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La investigación se realizó en fincas caoteras ubicadas en tres municipios del Norte del departamento del Huila, Colombia: Campoalegre, Rivera y Algeciras. Estos municipios cuentan con franjas altitudinales que varían en promedio entre los 550, 750 y 1.050 msnm respectivamente. Las cabeceras municipales registran

las siguientes coordenadas: Campoalegre 02° 41' 16" de latitud norte y 75° 19' 41" de longitud oeste, temperatura promedio de 27°C, precipitación media anual de 1.300 mm; Rivera, localizada a los 02° 47' 07" de latitud norte y 75° 15' 32" de longitud oeste, 26°C y precipitación media anual entre 2.500 mm; y, el municipio de Algeciras, localizado a los 02° 31' 35" de latitud norte y

75° 19' 14" de longitud oeste, temperatura promedio de 22°C, precipitación media anual de 1.500 mm (Machado *et al.*, 2018; Suárez *et al.*, 2020).

2.2 Muestreo

Para la obtención de las muestras fueron seleccionadas 18 fincas en total, 6 por cada municipio, utilizando un diseño de muestreo estratificado, donde los estratos obedecieron a variables de ubicación altitudinal contrastantes entre las veredas de los tres municipios, lo cual resultó de la siguiente forma: 1) Campoalegre con las veredas Llano Sur, La Vuelta y Palmar Bajo, que se encuentran entre los 500 y 600 msnm; 2) Rivera con las veredas Mesitas, La Ulloa, Bajo pedregal, El guadual y Rio frío, las cuales se encuentran entre los 700 y 800 msnm; 3) Algeciras con las veredas de Bella vista, Santa Lucia, Lagunilla y Satías, que se encuentran entre los 1.000 y 1.100 msnm. Los procesos de beneficios (fermentación y secado), fueron realizados según las condiciones que cada productor desarrolla en la finca; el número de fincas estuvo limitado por el costo de los análisis de laboratorio y los desplazamientos para acceder a las fincas (Bolaños, 2012).

2.3 Recolección de la información

Se tomaron 2 kg de granos de cacao seco por muestra, durante el segundo semestre de 2021, se registró el proceso de secado en finca hasta llegar a una humedad del

8,00%. Las muestras se embalaron en bolsas de cierre hermético, debidamente rotuladas, y fueron llevadas al laboratorio de calidad del Centro de Formación Agroindustrial SENA Regional Huila, ubicado en el municipio de Campoalegre, para realizar los análisis descritos a continuación.

2.3.1 Análisis físico

Se realizó una evaluación previa mediante observación de la muestra y percepción de aroma propio o por contaminantes del grano de cacao. Posteriormente, con base en la metodología establecida en la Norma Técnica Colombiana NTC 1252:2021, se estableció la presencia de hongos, insectos, impurezas o materias extrañas, residuos y granos planos; asimismo, se determinó el porcentaje de humedad y el índice de grano, expresado como peso promedio en gramos de 100 granos, los cuales fueron evaluados por medio de la valoración de escalas. En la prueba de guillotina se realizó un corte longitudinal a 100 granos de cacao por muestra, los cuales fueron evaluados mediante observación de la coloración interna del grano, de esta forma, fue posible clasificar en: granos completamente fermentados, parcialmente fermentados, y granos sin fermentar; además, se pudo determinar aquellos dañados por insectos, germinados y mohosos según la (NTC 1252, 2021).

2.3.2 Análisis sensorial

El proceso de evaluación de calidad sensorial fue desarrollado según el protocolo COEX, en donde se evalúan los descrip-

tores de sabor y defectos. Las muestras fueron tostadas en un horno a 130°-135° C por 20 minutos (temperaturas utilizadas para el proceso de tostado de muestras de análisis sensorial), (ISCQF, 2020); una vez tostados los granos de cacao, se procede a separar los cotiledones de la testa; el descascarillado se desarrolla previo a la trituración mecánica del grano, los cuales son sometidos a un separador de cáscara de grano mediante flujo de aire (descascarilladora de cacao IMSA).

Posteriormente, se realizó la preparación de muestras para análisis sensorial (molino planetario de bolas PM 100-Retsch),

para obtener licor de cacao, evaluado mediante un panel de catación a través de una prueba hedónica. Los determinantes de la calidad sensorial se evaluaron mediante escalas de percepción e intensidad de sabor, atributo y defecto (Tabla 1).

Los descriptores de sabor considerados en el estudio fueron: cacao, acidez, astrin- gencia, amargor, fruta seca y fresca, floral, nuez, panela, herbal y sabores atípicos (Afoakwa *et al.*, 2013). Para ello se utilizó una escala de 0 a 10, haciendo registros en un formato de evaluación en el cual se identificó la calidad e intensidad de defectos y atributos de la muestra.

Tabla 1. Descripción de la escala de percepción del sabor.

Intensidad del atributo	Significado
0	No está presente
1	Solo trazas, es posible no encontrar en una segunda catación
2	Presente en la muestra
3-5	Caracterización clara de la muestra
6-8	Dominante
9-10	El máximo que se ha experimentado

Fuente: BEANS (2015).

Análisis estadístico

La información de las variables recolectadas en campo y laboratorio fueron analizadas por medio de técnicas de análisis multivariado como: análisis de varianza multivariada (ANAVAMU), análisis de conglomerados (dendrogramas), mediante método Ward y distancia Gower, análisis de componentes principales (ACP), en los que se tuvo en cuenta las pruebas

de Bartlett (<0.05), Kaiser -Meyer -Olkin (>0.05) y selección de componentes principales por medio del eigenvalues (1,0), además se realizaron técnicas para las comparaciones de medias con error estándar con ayuda de modelos lineales generales y mixtos (MLGM). Los análisis se realizaron utilizando el Software Infostat, versión profesional, 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020) y (RStudio Team, 2020).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Parámetros de calidad física

Los métodos de comparación de medias para la variable municipio, muestra que solamente Roy (Prueba de comparación de pruebas multivariadas) presentó diferencias significativas con p-valor =

0.0424 (Tabla 2). Sin embargo, la Prueba de comparación de medias por el método de Hotelling corregido por Bonferroni ($\alpha=0,05$), mostró diferencias significativas para el análisis multivariado, evidenciando que el municipio Algeciras, con el mayor rango altitudinal, es el que genera dichas diferencias (Tabla 2).

Tabla 2. Métodos de análisis de varianza multivariado (p -valor).

Variable	Wilks	Pillai	Lawley-Hotelling	Roy
Municipio	0,4409	0,7891	0,4371	0,0424

Municipio	GBF	GIF	IG	CH	IME	GSF	R(%FMM)	GP	Comparación
Algeciras	57,67	21,83	118,64	7,15	3,42	20,50	5,95	37,69	A
Rivera	51,33	26,67	128,00	7,46	6,90	22,00	10,76	46,15	B
Campoalegre	48,00	30,67	132,54	7,24	2,80	21,00	6,95	26,53	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) Grano Bien Fermentado (GBF); Grano Insuficientemente Fermentado (GIF); Índice de Grano (IG); Contenido de Humedad (CH); Impureza Materia Extraña (IME); Grano Sin Fermentar (GSF); Tamizaje (T); Residuos o materia relacionada (R %FMM); Grano Plano (GP).

Fuente: autores.

Grano bien fermentado (GBF): la muestra de cacao obtenida en el municipio de Algeciras mostró el porcentaje más alto respecto a esta variable, con el 57,67%;

seguido por la muestra del municipio de Rivera con un 51,33%; y Campoalegre con 48,00%. Según la Norma Técnica Colombiana NTC 1252:2021, este resultado

indica que la muestra de Algeciras se encuentra dentro de la categoría de calidad estándar (entre 55,00 a 65,00%); mientras que Rivera y Campoalegre se encuentran en la categoría de grano corriente (<55,00%).

Grano insuficientemente fermentado (GIF): esta variable se encontró con mayor valor en el municipio de Campoalegre con 30,67%; seguido por Rivera y Algeciras con el 26,67% y 21,83%, presentando deficiencias en la fermentación del grano. Esto, tiene concordancia con la variable grano bien fermentado (GBF), mostrada anteriormente, donde Algeciras presenta los niveles más bajos de granos insuficientemente fermentados y sin fermentar, 21,83% y 20,50% respectivamente, cabe la posibilidad que se deba al establecimiento de protocolos de fermentación durante sus procesos. Lo anterior se relaciona con lo propuesto por Murcia-Artunduaga *et al.* (2022), quienes mencionan una relación entre el porcentaje de granos insuficientemente fermentados y el proceso de fermentación de cacao.

Índice de grano (IG): el análisis de comparación de medias multivariadas al 95,00% de confiabilidad, muestra en la variable de índice de grano, dos grupos homogéneos, Rivera (128 g) y Campoalegre (132,54 g), indicando que el municipio de Algeciras (118,64 g) difiere respecto a estos, mostrando un menor peso de grano; información que es consistente con otros estudios de caracterización física que arrojan promedios de índice de grano similares a los encontrados en esta in-

vestigación (Cilas *et al.*, 2010). También es consistente con los reportes de (Almeida y Valle (2007), quienes relacionaron el índice y peso de grano con características ambientales, especialmente la precipitación y temperatura. En este caso, las alturas de ubicación de las fincas (Campoalegre 500 y 600 msnm; Rivera 700 y 800 msnm; Algeciras 1.000 y 1.100 msnm) entre los municipios, es un factor que podría estar explicando dichas diferencias en el índice del grano.

En este sentido, la variable de índice de grano, según la Norma Técnica Colombiana NTC 1252:2021, permiten clasificar las muestras del municipio de Algeciras como un grano tipo estándar, diferente a las muestras que comprenden los municipios de Rivera y Campoalegre, las cuales son consideradas como grano premium.

Algunas investigaciones relacionan el llenado de grano con factores ambientales como altura sobre el nivel del mar, temperatura y pluviosidad (Daymond y Hadley, 2008), lo que pudiese explicar resultados de este estudio, en donde las fincas ubicadas a mayor altitud (en su totalidad pertenecientes al municipio de Algeciras 1.000 y 1.100 msnm), muestran una relación inversamente proporcional entre las variables temperatura y peso de grano. Asimismo, Daymond y Halley (2008) mencionan que, en un estudio realizado en ambientes simulados de Malasia, Brasil y Ghana, se reportó una relación inversa entre los dos factores mencionados, en materiales amelonado y UF 676.

Contenido de humedad: valores porcentuales de humedad por encima de 7,50% se consideran cacao corriente o estándar, lo cual puede representar un inadecuado proceso de secado. En este caso, la variable analizada mostró que los tres municipios (Algeciras, Rivera y Campoalegre) presentan en promedio un porcentaje de humedad entre 7,0-7,5 lo que según la NTC:1252 catalogaría las muestras como cacao tipo premium.

Impureza materia extraña (IME): el municipio de Rivera evidenció el mayor porcentaje de impurezas y materias extrañas con el 6,90%. Autores como Álvarez *et al.* (2022) mencionan la importancia de este parámetro, debido a que un elevado porcentaje de IME se refleja en una disminución de la calidad sensorial y disminución del rendimiento del grano.

Residuos o materia relacionada (R% FMM): residuos es considerado como granos partidos y deformes. Se evidenciaron valores altos (10,76%) para el municipio de Rivera, seguido por Campoalegre y Algeciras con el 6,95 y 5,95%; según la NTC:1252, este parámetro no debe superar el 3,50% del total de la muestra analizada.

Grano plano (GP): un alto porcentaje de grano plano (46,15%) fue referenciado en el municipio de Rivera, lo cual podría indicar deficiencias agronómicas o ambientales atribuidas al llenado del grano (Fowler y Coutel, 2017), mientras que Algeciras y Campoalegre mostraron valores de 37,69% y 26,53%.

Prueba de corte

Descripción de los conglomerados

En cuanto a la prueba de corte, se desarrolló un análisis mediante el método de Ward y la distancia de Gower, se generaron tres grupos, con una correlación cofenética del 81,10%, evidenciando similitud y cercanía entre ellos de acuerdo con las variables evaluadas. Se evidencian dos grupos (C2 y C3) con pocas unidades de análisis, en comparación con el C1, conformado este último por las fincas ubicadas en el municipio de Algeciras 1, 2, 3, 4, 5 y 6; Rivera 1, 3 y 5; y, Campoalegre 1, 3 y 6. El conglomerado 2 presentó tres fincas: Rivera 4 y 6; y, Campoalegre 4. Por último, el conglomerado 3, las fincas: Rivera 2; y, Campoalegre 2 y 5 (Figura 1).

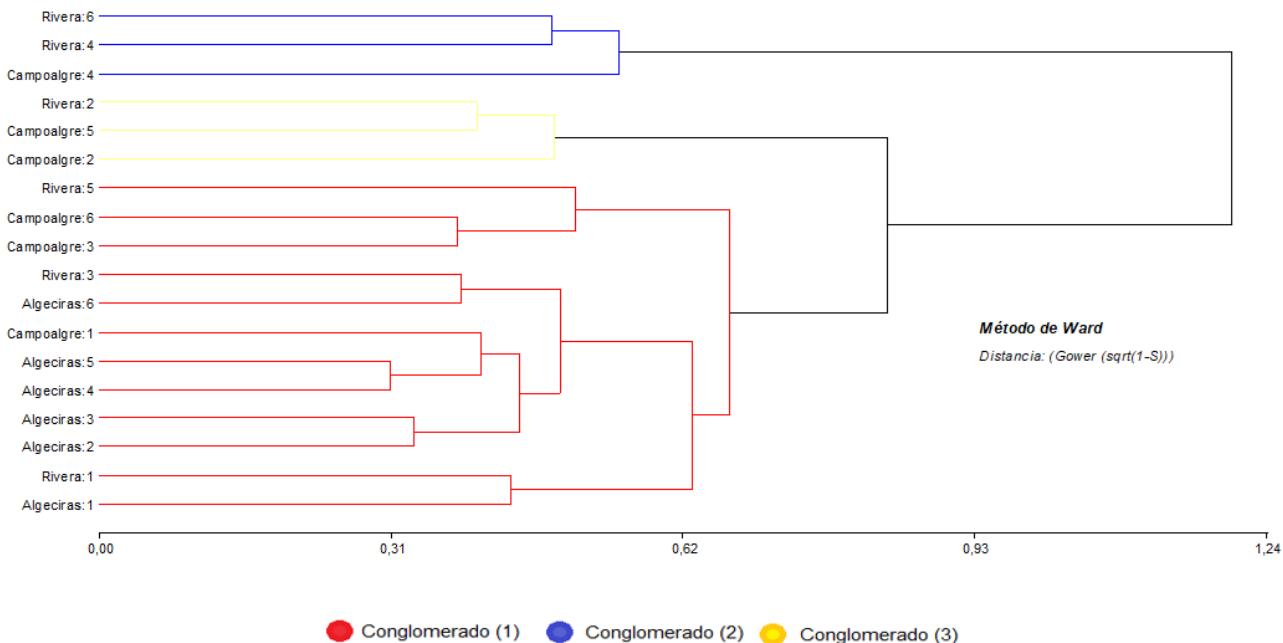


Figura 1. Análisis de conglomerados, según la técnica de Ward, para 18 fincas de zona rural de los municipios Rivera, Campoalegre y Algeciras del departamento del Huila, Colombia. 2021. C1: clúster 1; C2: clúster 2; C3: clúster 3.

Fuente: autores.

En este sentido los grupos de fincas más pequeños (2 y 3) se caracterizaron por un menor porcentaje de granos bien fermentados, y porcentajes de humedad más altos; asimismo, fincas del C2, agruparon las muestras con mayor contenido de impurezas o materias extrañas, mayor contenido de residuos y de granos planos, además de un alto número de granos sin fermentar.

Por el contrario, se evidencia un grupo (C1) más grande, conformado por un total de 12 fincas ubicadas en los tres municipios objeto de estudio. No obstante,

se identifica una mayor proporción de fincas correspondientes al municipio de Algeciras (33,33%), seguido por fincas de Campoalegre y Rivera en una proporción del 16,67% cada uno. Además, este grupo se caracteriza por presentar muestras con mejores condiciones de clasificación, mayor porcentaje de granos bien fermentados, contenido de humedad (sin exceder el 80% en masa), menor porcentaje de residuos e impurezas, y menor número de granos sin fermentar; características relacionadas a partir de los requerimientos para la clasificación de cacao según NTC 1252:2021, 5° actualización.

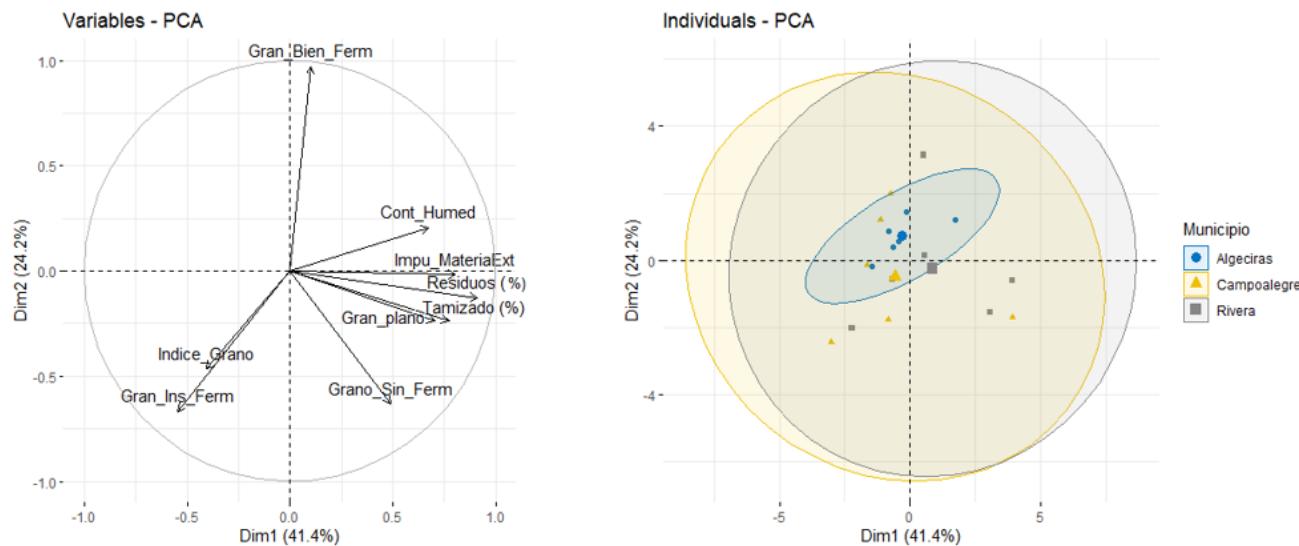


Figura 2. Caracterización del análisis físico de 18 muestras de cacao de fincas productoras de la zona rural de los municipios Rivera, Campoalegre y Algeciras del departamento del Huila. Gran_Ins: Grano insuficientemente fermentado; Con_Humed: Contenido de humedad; Gran_Bien_Ferm: Grano bien fermentado; Impu_MayeriaExt: Impurezas material externo; Gran_plano: Grano plano; Grano_Sin_Ferm: Grano sin fermentar; Índice_Grano: Índice de grano.

Fuente: autores.

Por otra parte, se realizó la prueba de Bartlett, proporcionando datos que rechazan la hipótesis nula, con un p valor de 1,674223 e -35 (< 0.05), asimismo el test de Kaiser-Meyer-Olkin permitió observar que los datos son adecuados con un resultado de p valor 0,8, concluyendo que se puede continuar con el análisis de componentes principales (PCA), representado gráficamente en la Figura 2.

En la Figura 2 se visualizan las principales variables evaluadas en el análisis físico, en donde se explica el 65,6% de la variancia de los datos en los dos primeros ejes; las fincas de los municipios de Rivera y Campoalegre presentaron un mejor comportamiento frente a las variables del análisis físico realizado; mientras tanto, las fincas del municipio de Algeciras, se rela-

cionaron solamente con las variables de contenido de humedad e índice de grano.

3.2 Actividad sensorial

La prueba de Bartlett proporcionó datos que rechazan la hipótesis nula, con un p valor de 3,544856 e -17 (< 0.05), asimismo el test de Kaiser -Meyer -Olkin permitió

observar que los datos son adecuados con un resultado de p valor 0,76, concluyendo que se puede continuar con el análisis. En este sentido, se realizó un análisis de componentes principales, representado gráficamente en la Figura 3, en donde se visualiza las principales variables evaluadas en el análisis sensorial, en donde se explica el 50,90% de la variabilidad de los datos en los dos primeros ejes; es posible observar una variabilidad entre los distintos atributos estudiados y los municipios, es viable que las diferencias de la calidad sensorial en las localidades evaluadas se deban, en buena parte, a condiciones ambientales, en especial a temperaturas altas y oferta hídrica relacionadas con la altitud donde se encuentran ubicadas las fincas de cada municipio, coincidiendo con reportes realizados por Adjalo *et al.* (2012); Ribas *et al.* (2014) y Lujan *et al.* (2021), quienes relacionaron atributos de la calidad con variables ambientales.

El análisis sensorial permitió establecer una diferenciación entre las muestras procedentes de los tres municipios, siendo Rivera aquel que concentró una mayor cantidad de atributos como sabores espe-

cíficos a fruta fresca tropical, pulpa amarilla, fruta seca como arándanos, uvas, especiados, floral, sabor dulce, azúcar morena, blanca, panela y miel, en este sentido autores como Santander-Muñoz *et al.* (2020), mencionan la importancia de desarrollar un adecuado proceso de postcosecha para generar un perfil sensorial de alta calidad. Sin embargo, el mismo municipio agrupó sabores adquiridos de moho y verde, junto con defectos como tierra, sucio empolvado, carnoso animal, cuero y putrefacción, relacionados según Guzmán y Gómez (2014) con un inadecuado almacenamiento, contaminación por hongos, y tiempos prolongados de fermentación; por otra parte, muestras analizadas del municipio de Algeciras agruparon atributos relacionados con sabores a fruta fresca cítrica, acidez láctica, acidez frutal, especiados como canela, y sabores adquiridos a crudo verde, este último corresponde a una alta fermentación o falta de tostado; en cuanto a la tercera localización, que relaciona las fincas procedentes del municipio de Campoalegre, se encontraron muestras con sabores a fruta fresca, floral, especiado tabaco y madera resina.

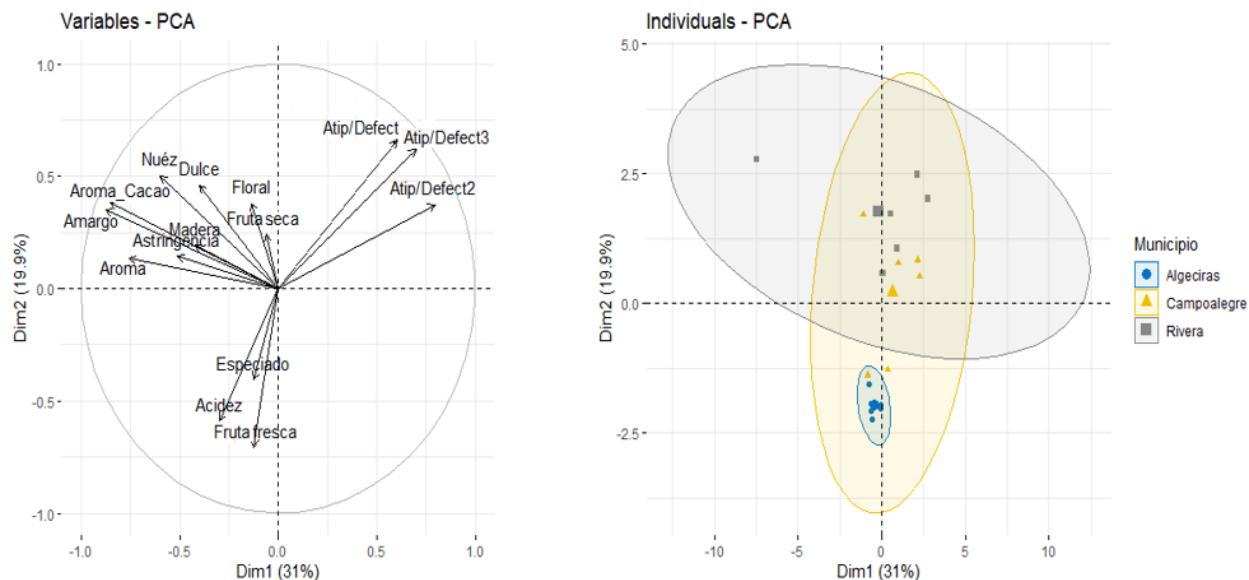


Figura 3. Análisis de componente de la calidad sensorial de cacao de 18 fincas de la zona rural de los municipios Rivera, Campoalegre y Algeciras del departamento del Huila. Atip/Defect: (Sucio, Húmedo, Mohoso); Atip/Defect2: (Cuero, Humo, Verde); Atip/Defect3: (Sobrefermentado, Tierra).

Fuente: autores.

La Tabla 3 muestra los valores medios de las escalas evaluadas en el estudio para cada municipio. De este grupo de escalas se evidencia que la Acidez, Atípicos/Defecto y Atípicos/Defecto, 3 presentaron diferencias significativas entre estos municipios, además resalta que diferencias importantes de la acidez se relacionaron

con el municipio de Algeciras; sin embargo, sobresale el bajo nivel de amargor y astringencia, valores muy importantes para las características de calidad sensorial del Cacao. De igual forma se destacan la presencia de aromas a cacao y otros aromas que sobresalen en las características del cacao en estos municipios.

Tabla 3. Modelos Lineales Generalizados y Mixtos (MLGM): Comparación de medias con diferencia mínima significativa (LSD) Fisher Alfa=0,05 para la calificación de escalas por variable en los tres municipios

Escala	Campoalegre	Algeciras	Rivera	p-valor
Otros aromas	$3,65 \pm 1,5a$	$2,86 \pm 1,4a$	$3,29 \pm 1,4a$	0,7824
Aroma cacao	$3,49 \pm 0,9a$	$2,14 \pm 0,9a$	$3 \pm 0,9a$	0,2158
Acidez	$3,13 \pm 1,4b$	$6 \pm 1,41a$	$3,43 \pm 1,4b$	0,0466

Amargo	$2,94 \pm 0,94a$	$2,14 \pm 0,92a$	$2,57 \pm 0,92a$	0,542
Astringencia	$2,29 \pm 1,0a$	$2,71 \pm 0,9a$	$2,86 \pm 0,9a$	0,7897
Fruta fresca	$1,17 \pm 0,8ab$	$2,29 \pm 0,7a$	$0,71 \pm 0,7b$	0,0581
Fruta seca	$0 \pm 02a$	$0,14 \pm 0,1a$	$0,14 \pm 0,1a$	0,631
Floral	$0,15 \pm 0,1a$	$0 \pm 0a$	$0,14 \pm 0,1a$	0,4069
Madera	$1,12 \pm 0,5a$	$0,14 \pm 0,5b$	$0,43 \pm 0,5ab$	0,0566
Especiado	$0,29 \pm 0,3a$	$0,43 \pm 0,3a$	$0,14 \pm 0,3a$	0,6106
Dulce	$0,02 \pm 0a$	$0 \pm 0a$	$0,29 \pm 0,2a$	0,1459
Nuez	$0,44 \pm 0,4ab$	$0 \pm 0b$	$0,71 \pm 0,4a$	0,101
Atípico/Defectuoso	$0,99 \pm 1,2b$	$0,29 \pm 1,2b$	$3,86 \pm 1,2a$	0,0068
Atípico/Defectuoso2	$0,37 \pm 0,4a$	$0,57 \pm 0,4a$	$2 \pm 1,4a$	0,3091
Atípico/Defectuoso3	$0 \pm 0b$	$0,43 \pm 0,3b$	$2,86 \pm 0,3a$	0,0321

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Fuente: autores.

La información obtenida en la prueba sensorial muestra en el municipio de Campoalegre el valor más alto de sabor amargo; sin embargo, arroja los mejores resultados en percepción de aroma típico a cacao, característica que indica un buen manejo en el proceso de beneficio, tostión y ausencia de defectos, tal como lo relaciona Guzmán y Gómez (2014) en evaluación sensorial de Cacao en seis municipios del sur de Bolívar, donde las muestras que tuvieron mayor calificación en la escala de astringencia y amargor, tuvieron la mejor

calificación para aroma típico a cacao; dichos autores mencionan que la contradicción en la información pudiera deberse a las condiciones de manejo de las muestras en beneficio por la mezcla de diferentes clones y cosechas, afectando así su sabor y aroma; no obstante, se resaltan en general valores bajos en la escala de amargor, lo que sugeriría una fermentación y nivel de tostión adecuados (Tabla 4), debido a que el tostado genera la evaporación de ácidos disminuyendo el amargor de los granos de cacao (Kongor *et al.*, 2016).

Tabla 4. Valoración de escalas a través de las medianas para las diferentes variables de calidad sensorial en los tres municipios

Variable	Municipio	Mediana	Municipio	Mediana	Municipio	Mediana
Escala_Otros_aromas	Algeciras	3	Campoalegre	4,5	Rivera	4
Escala_Aroma_Cacao	Algeciras	2	Campoalegre	3,5	Rivera	4

Escala_Acidez	Algeciras	6	Campoalegre	4,5	Rivera	4
Escala_Amargo	Algeciras	2	Campoalegre	3,5	Rivera	3
Escala_Astrin-gencia	Algeciras	3	Campoalegre	3	Rivera	3
Escala_Fruta_fresca	Algeciras	2	Campoalegre	1	Rivera	1
Escala_Fru-ta_seca	Algeciras	0	Campoalegre	0	Rivera	0
Escala_Floral	Algeciras	0	Campoalegre	0	Rivera	0
Escala_Madera	Algeciras	0	Campoalegre	1	Rivera	0
Escala_Espe-ciado	Algeciras	0	Campoalegre	0	Rivera	0
Escala_Dulce	Algeciras	0	Campoalegre	0	Rivera	0
Escala_Nuéz	Algeciras	0	Campoalegre	0,5	Rivera	1
Escala_Atíp/Defect	Algeciras	0	Campoalegre	0,5	Rivera	4
Escala_Atíp/De-fect2	Algeciras	0	Campoalegre	0	Rivera	0
Escala_Atíp/De-fect3	Algeciras	0	Campoalegre	0	Rivera	2

Fuente: autores.

4. CONCLUSIONES

Los factores de incidencia de la calidad física y sensorial del grano de cacao se evidenciaron principalmente en la etapa de post cosecha de las fincas evaluadas, en las muestras analizadas se refleja una relación directa entre las condiciones técnicas de fermentación-secado y control de las variables, en este sentido es importante generar la implementación de un plan de mejora continuo así como recomendaciones para cada zona evaluada.

El municipio de Algeciras, aunque reporta el mayor porcentaje de granos bien fermentados en los procesos de beneficio, no representa la mejor calidad sensorial; este municipio se caracteriza por siembras nuevas, resultado de procesos de renova-

ción de cultivos; por tanto, la selección de materiales se considera base fundamental en la obtención de cacao que cumple con los requisitos de calidad física y sensorial que exige el mercado.

El municipio de Campoalegre presento el índice de grano mayor al promedio de las muestras de los municipios de Rivera y Algeciras, lo que permite clasificar su grano como tipo premium; no obstante, su potencialidad se ve afectada por otros parámetros de calidad física dado que las condiciones y técnicas de fermentación, contenido de humedad, presencia de impurezas y residuos, no tienen el manejo adecuado.

Los resultados sugieren que las muestras de cacao procedentes del municipio de Rivera se caracterizan por tener granos de cacao con atributos sensoriales diferen-

ciados, pero debido al inadecuado manejo durante la post cosecha, su calidad se ve afectada por contaminación y deficiencias en la etapa de secado.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Leidy Machado Cuellar: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.
Eliana Lizeth Medina Rios: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.

Kathryn Yadira Guzmán Pacheco: metodología, investigación, conceptualización, revisión. **Claudia Mercedes Ordoñez Espinosa:** metodología, investigación, conceptualización, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA; Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación-SENNOVA; Centro de Formación Agroindustrial, Regional Huila; y en especial a los producto-

res de los municipios de Algeciras, Rivera y Campoalegre, que permitieron el desarrollo de la investigación en cada uno de sus sistemas productivos de cacao.

LITERATURA CITADA

Adjalo, M. K., Oduro, W., & Banful, B. K. (2012). Floral phenology of Upper Amazon Cocoa trees: implications for reproduction and productivity of Cocoa. *International Scholarly Research Notices*, 8. <http://doi:10.5402/2012/461674>

Afoakwa, E. O., Kongor, J. E., Takrama, J. F., & Budu, A. S. (2013). Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (Theobroma cacao) beans. *International Food*

Research Journal, volumen 20(3), 1215-1222. https://csirspace.foodresearch-gh.org/bitstream/123456789/1337/1/IFRJ_20_3_Afoakwa_et%20al.pdf

Almeida, A. A. F. D., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 425-448. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>

Álvarez-Fernández, C. O., Liconte-Salgado, N. D., Pérez-Silva, E. E., Lar-

- es-Amaíz, M.P. y Perozo-González, J. G. (2022). Revisión sobre los atributos físicos, químicos y sensoriales como indicadores de la calidad comercial del cacao. *Fundación Grupo para la Investigación, Formación y Edición Transdisciplinar (GIFET)-Directiva*, 12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6548316>
- Aprotosoaie, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor chemistry of cocoa and cocoa products-an overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 73-91. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
- Beans, C. (2015). *Cocoa Beans: Chocolate & Cocoa Industry Quality Requirements*. Michelle End & Robin Dand. <https://www.icco.org/wp-content/uploads/2019/07/19.-Wednesday-Track-2-9.00-Martin-Gilmour-CAOBISCO-Guide.pdf>
- Bolaños, E. (2012). *Muestra y muestreo. Asignatura: Estadística para el Desarrollo Tecnológico*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/tizayuca/gestion_tecnologica/muestraMuestreo.pdf
- Cilas, C., Machado, R., & Motamayor, J. C. (2010). Relations between several traits linked to sexual plant reproduction in *Theobroma cacao* L.: number of ovules per ovary, number of seeds per pod, and seed weight. *Tree genetics & genomes*, 6, 219-226. <https://doi.org/10.1007/s11295-009-0242-9>
- Daymond, A. J., & Hadley, P. (2008). Differential effects of temperature on fruit development and bean quality of contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology*, 153(2), 175-185. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00246.x>
- De Cock, A. (2019). Altitude and shade influence on sensorial and nutritional cocoa quality in *San Vicente de Chucuri, Colombia*. s.l.. Ghent University, 1-107.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzareni, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2020). *InfoStat Versión 2020; Centro de Transferencia InfoStat, FCA*. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- De Bertorelli, L. O., De Farinas, L. G., y Rovedas, G. (2009). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía tropical*, 59(2), 119-127. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5225213>
- Di Mattia, C., Martuscelli, M., Sacchetti, G., Beheydt, B., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2014). Effect of different conching processes on procyandin content and antioxidant properties of chocolate. *Food Research International*, 63, 367-372. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.009>
- Fowler, M. S., & Coutel, F. (2017). Cocoa beans: from tree to factory. *Beckett's industrial chocolate manufacture and use*, 9-49. <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch2>

Guzmán, J. A., y Gómez, S. L. (2014). Evaluación sensorial de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado en la región del sur del departamento de Bolívar (Colombia). *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), 221-237. <https://doi.org/10.22490/21456453.1338>

International Cocoa Organization. [ICCO]. (2020). Países productores que exportan exclusiva o parcialmente cacao fino o de aroma. Anexo "c" del convenio internacional del cacao. 34.^a Sesión Especial del Consejo Internacional del Cacao en diciembre de 2020. <https://www.icco.org/fine-or-flavor-cocoa/>

International Standards for the Assessment of Cocoa Quality and Flavour. [ISCQF]. (2020). Los protocolos de esta web han sido revisados, actualizados, completados y recopilados en la Guía 2023 para la Evaluación de la Calidad y Sabor del Cacao. ISCQF. www.cocoaqualitystandards.org

Kongor, J. E., Hinneh, M., Van de Walle, D., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile-A review. *Food Research International*, 82, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>

Kumari, N., Grimbs, A., D'Souza, R. N., Verma, S. K., Corno, M., Kuhnert, N., & Ullrich, M. S. (2018). Origin and varietal based proteomic and peptidomic fingerprinting of *Theobroma cacao* in non-fermented and fermented cocoa

beans. *Food research international*, 111, 137-147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.010>

Lujan, V. R., Sánchez, J. S., García, A. L., Reyes, V. M., Navarrete, C. D., Valiente, F. D., Saldaña, Y., & Rivas, D. V. (2021). Physical and Sensory Characterization of Cocoa (*Theobroma Cacaol*) from Northin Peru. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(6), 5807-5817.

Machado, L., Ordoñez, C. M., Angel, Y. K., Guaca, L., & Suárez Salazar, J. C. (2018). Organoleptic quality assessment of *Theobroma cacao* L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia. *Acta Agronómica*, 67(1), 46-52. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.66572>

Murcia-Artunduaga, K., Gasca-Torres, L., y del Rosario, M. (2022). Evaluación físico-sensorial de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.), región sur del Huila (Colombia). *Informador Técnico*, 86(2), 194-204. <https://doi.org/10.23850/22565035.4358>

Normas Técnicas Colombianas. [NTC]. (2021). NTC 1252. Cacao en grano. Especificaciones y requisitos de calidad. ICONTEC, 65. <https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdf-view/viewer.aspx?locale=es-419-&Q-04D103EFA7FE09150F248A099F1E-77F9312408EA304CDFA9&Req=>

Oliveira, J. S., Costa, K., Acurcio, L. B., Sandes, S. H. C., Cassali, G. D., Uetanabaro, A. P. T., & Porto, A. L. F. (2018). In vitro and in vivo evaluation of two potential probiotic lactobacilli isolated

from cocoa fermentation (*Theobroma cacao L.*). *Journal of Functional Foods*, 47, 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.055>

Ribas-Agustí, A., Gratacós-Cubarsí, M., Sárraga, C., Guàrdia, M. D., García-Requeiro, J. A., & Castellari, M. (2014). Stability of phenolic compounds in dry fermented sausages added with cocoa and grape seed extracts. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 329-336. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.046>

Rojas-Rojas, K., Hernández-Aguirre, C., y Mencía-Guevara, A. (2021). Transformaciones bioquímicas del cacao (*Theobroma cacao L.*) durante un proceso de fermentación controlada. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 53-65. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45694>

RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA. Posit. <http://www.rstudio.com/>

Santander, M., Rodríguez, J., Vaillant, F. E., & Escobar, S. (2020). An overview of

the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(10), 1593-1613. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1581726>

Suárez, J. C., Polanía, J. A., Contreras, A. T., Rodríguez, L., Machado, L., Ordoñez, C., Bee, S., & Rao, I. M. (2020). Adaptation of common bean lines to high temperature conditions: Genotypic differences in phenological and agromomic performance. *Euphytica*, 216(2), 28. [https://doi.org/10.1007/s10681-020-2565-4\(01234567890\).](https://doi.org/10.1007/s10681-020-2565-4(01234567890).)

Viesser, J. A., de Melo, G. V., de Carvalho, D. P., Favero, G. R., de Carvalho, J. C., Goés-Neto, A., & Soccol, C. R. (2021). Global cocoa fermentation microbiome: revealing new taxa and microbial functions by next generation sequencing technologies. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03079-2>

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 30-11-2022

Fecha de aceptado: 21-04-2023

DOI: 10.22490/21456453.6552

EVALUACIÓN POR FTIR DE EXTRACTOS DE PROPÓLEOS DE ABEJAS SIN AGUIJÓN DE BOCHALEMA-NORTE DE SANTANDER

FTIR EVALUATION OF PROPOLIS EXTRACTS FROM STINGLESS BEES FROM BOCHALEMA, NORTE DE SANTANDER

María Camila Gamboa Rodríguez ¹

Amanda Lucía Chaparro García ²

Diana Alexandra Torres Sánchez ³

¹ Química en formación, Universidad de Pamplona, Programa de Química, Grupo de Investigación en Recursos Naturales (GIRN), Pamplona, Colombia.

maria.gamboa3@unipamplona.edu.co

² Doctora en Química, Universidad de Pamplona, Programa de Química, Grupo de Investigación en Recursos Naturales (GIRN), Pamplona, Colombia. achaparro@unipamplona.edu.co

³ Doctora en Ciencias-Química, Universidad de Pamplona, Programa de Química, Grupo de Investigación en Biocalorimetría, Pamplona, Colombia. datorres@unipamplona.edu.co

Citación: Gamboa, M., Chaparro, A. y Torres, D. (2024). Evaluación por FTIR de extractos de propóleos de abejas sin aguijón de Bochalema-Norte de Santander. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 157-173. <https://doi.org/10.22490/21456453.6552>

RESUMEN

Contextualización: el propóleo es producido por las abejas a partir de resinas recolectadas de brotes o exudados de plantas; se emplea para sellar grietas y reducir el riesgo de enfermedades dentro de la colmena. Las propiedades medicinales del propóleo son bien conocidas, reportándose hasta ahora cualidades como antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante y citotóxica. En el país, se han realizado investigaciones de diferentes propiedades del propóleo, pero la diversidad de abejas y plantas es tan variada que se requieren muchos más análisis para establecer una norma de calidad acorde.

Vacío de conocimiento: la composición química del propóleo está estrechamente relacionada con la vegetación cercana al sitio de recolección y la especie de abeja que lo produce. En Colombia, el vacío de información en relación con la composición química de propóleos de las abejas nativas sin aguijón es grande, específicamente en el departamento de Norte de Santander.

Propósito: evaluación por FTIR de extractos etanólicos de propóleos de abejas sin aguijón de las especies: *Scaptotrigona sp.*, *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera*, colectados en Bochalema, Norte de Santander, y comparados con el de *Apis mellifera*.

Metodología: El propóleo colectado se congeló a -18°C, y luego se trituró. Se pesa-

ron 0,25g que luego se extrajeron con 5ml de etanol al 96% a temperatura ambiente, después se mantuvieron durante dos semanas realizando agitaciones manuales; posteriormente se procedió a centrifugar, se filtró y se llevó a la incubadora hasta que se eliminó el disolvente; los espectros ATR-FTIR fueron obtenidos en la región de 4000-600 cm⁻¹, resolución 4 cm⁻¹ y 48 scans, se identificaron las bandas donde se muestran las regiones espectrales asociadas a biomoléculas; luego, se realizó la matriz de datos para el PCA y dendrograma en la región de huella dactilar para orden cero, primera y segunda derivada.

Resultados y conclusiones: los resultados mostraron que los extractos de todas las especies presentaron bandas que indican la presencia de compuestos fenólicos, hidrocarburos, esteres, además del residuo de cera restante en las muestras. Se concluye que FTIR combinada con quimiometría, permite establecer diferencias y similitudes entre las muestras de propóleos, indicando que las abejas tienen preferencias específicas de las plantas que tienen disponibles para la recolección de las resinas. Adicionalmente, los extractos de *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera* tienen composición similar al de *Apis mellifera*, y el de la especie *Scaptotrigona sp.* resulta ser diferente.

Palabras clave: abejas sin aguijón, FTIR, propóleo

ABSTRACT

Contextualization: Propolis is produced by bees from resins collected from shoots of plants or plant exudates. It is used to seal cracks and reduce the risk of diseases within the hive. The medicinal properties of propolis are well known, with antimicrobial, anti-inflammatory, antioxidant, and cytotoxic activities reported so far. Research has been carried out in Colombia on different properties of propolis. However, the diversity in bees and plants is so diverse that many more analyses are necessary to establish an appropriate quality standard.

Knowledge gap: The chemical composition of propolis is closely related to the vegetation near the harvesting site and the bee species that produce it. In Colombia, the information gap regarding the chemical composition of propolis from native stingless bees is significant, specifically in the Norte de Santander department.

Purpose: To evaluate, through the FTIR, the ethanolic extracts of stingless bee propolis of the *Scaptotrigona* sp., *Trigona angustula*, and *Frieseomelitta paupera* species collected in Bochalema, Norte de Santander; and to compare them with that of *Apis mellifera*.

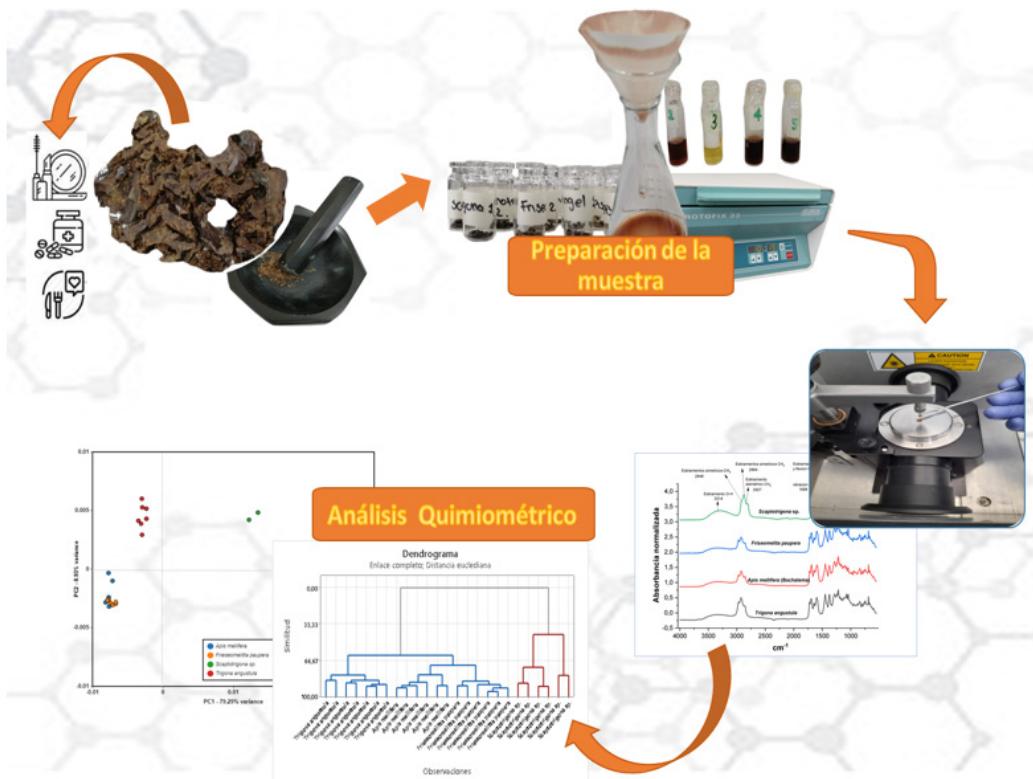
Methodology: The collected propolis was frozen at -18°C and then crushed. From

which, 0.25g was weighed and extracted with 5ml of 96% ethanol at room temperature. For two weeks, they were kept in manual shaking. It was then centrifuged, filtered, and placed in the incubator until the solvent was removed. ATR-FTIR spectra were obtained in the 4000-600cm⁻¹ region, 4cm⁻¹ resolution, and 48 scans. Furthermore, the bands showing spectral regions associated with biomolecules were identified. Subsequently, the data matrix for the PCA and dendrogram in the fingerprint region for zero order, first and second derivative was carried out.

Results and conclusions: Results showed that the extracts of all species had bands indicating the presence of phenolic compounds, hydrocarbons, and esters, in addition to the wax residue left in the samples. It is concluded that FTIR combined with chemometrics allows establishing of differences and similarities between propolis samples, indicating that bees have specific preferences for the plants available for resin collection. Additionally, the extracts of *Trigona angustula* and *Frieseomelitta paupera* have a similar composition to that of *Apis mellifera*, whereas *Scaptotrigona* sp. extract is different.

Keywords: propolis, FTIR, stingless bees

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La biodiversidad en los ecosistemas y la producción mundial de la agricultura, dependen directamente de la polinización de las abejas, ya que actúan como “proveedores de servicios” (Herrera-López *et al.*, 2019). Las abejas proporcionan variedad de productos a los humanos; uno de los productos apícolas de uso más extendido es la miel, sin embargo, existen

otros productos de las abejas por los que la humanidad ha mostrado gran interés, entre ellos se pueden mencionar la cera, el polen, la jalea real y el propóleo, siendo este último el más aprovechado desde hace aproximadamente tres mil años por los sacerdotes del antiguo Egipto, los cuales lo empleaban como medicina y como un ungüento (Kuropatnicki *et al.*, 2013)

El propóleo es un material producido por las abejas a partir de sus secreciones salivales, cera y sustancias resinosas, que recogen de diferentes soportes vegetales como cogollos, ramas jóvenes, o heridas de ciertos árboles (álamos, abedules, sauces, hayas, entre otros) y arbustos. En la colmena, el propóleo tiene múltiples usos: sirve para llenar grietas o huecos, para sellar contra la humedad y proteger del desarrollo de moho, y para resguardar la colonia de enemigos estrechando la entrada de la colmena (Monteil *et al.*, 2022).

La composición del propóleo es variada por su origen botánico y geográfico. Básicamente, el propóleo crudo se compone principalmente de resinas vegetales (50-70%), aceites y ceras (30-50%), 10% de polen y otros compuestos químicos que incluyen aminoácidos, minerales, azúcares, vitamina B, C y E, flavonoides, fenol y compuesto aromáticos (5%-10%). Los flavonoides, fenoles, diterpenos y compuestos alifáticos son los principales compuestos químicos que caracterizan los diferentes tipos de propóleos (álogo, brasileño y mediterráneo), y son responsables de su actividad antimicrobiana (Bouchelaghem, 2022).

Actualmente en Colombia, la meliponicultura es una actividad agrícola que está iniciando, pero cada vez toma más fuerza; sin embargo, pocos saben de las abejas nativas, y del potencial de mercadeo de sus productos, lo cual requerirá tener una buena cantidad de estudios de sus propiedades para sentar las bases que permitan

establecer normas de calidad que faciliten la comercialización interna y externa.

La metodología utilizada para realizar control de calidad involucra generalmente técnicas instrumentales de análisis; muchas de ellas, se realizan para establecer si un producto se ajusta a la descripción que el productor o procesador indica, es decir, se puede comprobar su autenticidad. La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), se ha convertido en uno de los medios analíticos más útiles debido a sus méritos, incluida la detección rápida, la fácil operación y el ahorro de costos. Esta se basa en los cambios en los modos vibratorio y rotacional de las moléculas al recibir luz infrarroja (Derrick, 1989). Como cada muestra tiene una composición química única, sus modos vibratorios y espectros asociados son únicos, lo que hace que la técnica sea altamente sensible y precisa. La espectroscopía ATR-FTIR vinculada con quimiotetría proporciona una forma efectiva de determinar las propiedades físicas y químicas de los materiales.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar, mediante espectroscopía FTIR, los extractos etanólicos de propóleos de abejas sin aguijón de las especies *Scaptotrigona* sp., *Trigona angustula*, *Friesomelitta paupera*, colectados en Bochalema, Norte de Santander, y compararlos con el de *Apis mellifera* para después discriminarlos mediante análisis de componentes principales y análisis de conglomerados a partir de las matrices de datos generadas con los espectros infrarrojos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Origen geográfico: las muestras de propóleo de las especies de abejas sin aguijón *Scaptotrigona* sp., *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera*, y la especie *Apis mellifera* (africanizada), fueron colectadas en marzo de 2022, en la vereda Zarcuta del municipio de Bochalema, ubicado en Norte de Santander (latitud: 7,58, longitud: -72,64, altitud: 1027 msnm).

El propóleo colectado de las colmenas fue almacenado en bolsas de cierre hermético, se llevó al laboratorio de Biocalorimetría de la Universidad de Pamplona, posteriormente, se rotuló y se congeló a -18 °C, después de congelado, se procedió a macerarlo.

Preparación de extractos: los extractos se prepararon por duplicado para cada especie; para ello, se pesaron 25 g del propóleo ya triturado (Figura 1), se extrajeron tres veces con etanol al 96% (5 mL) a temperatura ambiente y se mantuvieron durante dos semanas realizando agitaciones manuales (Boisard *et al.*, 2014). Después de las dos semanas, se procedió a centrifugar la mezcla a 1000 rpm durante 20 minutos utilizando una centrífuga (Hettich universal 320R, Alemania). Seguidamente, a la muestra sobrenadante se le adicionó 10 mL de etanol (96%) para lavarla, se llevó a la centrifuga a 2000 rpm durante 20 minutos, después de lavado el sobrante se combinó con la muestra, por último, se filtraron con papel filtro para separar las ceras precipitadas (Figura 1), el filtrado se

llevó a la incubadora (Memmert SE 200 sterilisator) hasta que se eliminó el disolvente. Los extractos se realizaron por duplicado, para cada una de las cuatro especies evaluadas.

Análisis de extracto de propóleo (ATR-FTIR): las mediciones por espectroscopia ATR-FTIR se realizaron en un espectrofotómetro FTIR marca SHIMADZU modelo IR Prestige-21, provisto de un detector DLATGS (Deuterated L- Alanine Doped Triglycine Sulphate) y equipado con un accesorio ATR modelo MIRacle, marca Pike Technologies, con cristal de diamante. Se calibró el equipo empleando poliestireno como estándar de calibración. Los espectros se obtuvieron en la región del infrarrojo medio, con un barrido de 4000 cm⁻¹ hasta 600 cm⁻¹, a una resolución de 4 cm⁻¹ y 48 scans. Cada extracto se analizó por triplicado de manera independiente. La adquisición de los datos se realizó utilizando el software del equipo, IR Solution 2002.

Tratamiento espectral: una vez adquiridos los espectros, se les aplicó tratamiento de corrección de línea base para minimizar la diferencia entre los espectros durante el cambio de línea base, suavizado y normalizado, para reducir el ruido en datos espectrales y regularización de los datos con respecto a las variaciones en la preparación de la muestra, utilizando el programa ORIGIN 2018 (OriginLab Corporation, USA); posteriormente, se realizó el cálculo de primera y segunda

derivada de cada espectro empleando el mismo programa. Después de que los espectros fueron tratados, y se calculó primera y segunda derivada, se utilizaron como datos de entrada para la aplicación del método multivariado PCA y análisis de conglomerados.

Análisis quimiométrico: los análisis de componentes principales y análisis de conglomerados se realizaron con el fin de reconocer muestras atípicas, discriminar los cuatro extractos de propóleos e identificar las variables (números de onda) responsables de esta discriminación, a partir de las diferencias espectrales, utilizando el

software BIOVINCI (BioTuring-USA) para PCA y MINITAB (LLC-USA) para HCA a un nivel de significancia de 0,05. Aunque el rango de trabajo fue de 4000 cm^{-1} a 600 cm^{-1} , el análisis quimiométrico se realizó, teniendo en cuenta lo reportado por algunos autores, solamente a partir de una matriz de datos con los espectros obtenidos empleando la región de huella dactilar (1800 cm^{-1} - 600 cm^{-1}) de orden cero, primera y segunda derivada, y se definió cual tratamiento discriminó mejor las muestras. Las distancias espectrales fueron analizadas mediante la correlación de Pearson, y en la determinación de las similitudes de la muestra se utilizó la distancia euclíadiana.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas de extractos etanólico de propóleo

Las características físicas están relacionadas con la fuente vegetal, el método de recolección y el clima de la región donde es recolectado (Rodríguez *et al.*, 2020). Se realizaron observaciones físicas de color de los extractos, encontrando que los extractos etanólicos de muestras de

Scaptotrigona sp., *Trigona angustula*, *Friesomelitta paupera* y *Apis mellifera* (Bochalema), mostraron intensidades variables de tonalidades marrones; los extractos de *Scaptotrigona* sp. y *Friesomelitta paupera* exhibieron el color marrón más oscuro mientras que *Trigona angustula*, *Apis mellifera* (Bochalema) y *Melipona favosa* fueron de color marrón más claro (Figura 1).

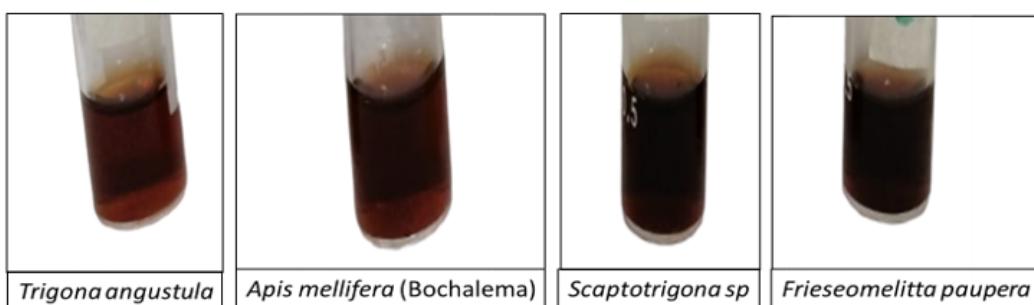


Figura 1. Extractos etanólicos de muestras de propóleo.

Fuente: autores.

Análisis de las muestras de extractos etanólicos de propóleo mediante ATR-FTIR

En los espectros de ATR-FTIR de extractos de propóleo (Figura 2), se evidenció la absorción a $3314 - 3283 \text{ cm}^{-1}$ atribuida a la presencia de compuestos flavonoides y fenólicos (Cai *et al.*, 2020). Asimismo, las bandas a $2970 - 2927 \text{ cm}^{-1}$ y 2864 cm^{-1} correspondieron con los tramos simétricos de CH_3 y tramos asimétricos de CH_2 de hidrocarburos insaturados y aromáticos. Estas bandas se detectaron en todas las muestras de extractos etanólicos examinadas, pero con diferentes intensidades; de hecho, el propóleo *Scaptotrigona* sp., *Tri-*

gona angustula y *Frieseomelitta paupera* tienen los picos más intensos. Por otra parte, las absorbancias a 1701 cm^{-1} (C=O), 1633 cm^{-1} (C=C), 1445 cm^{-1} (aromático C-H) y a 1376 cm^{-1} (C-O aromáticos), se asociaron con la presencia de flavonoides, también se observaron amplias bandas vibratorias a 1026 cm^{-1} debido al estiramiento C-O de los grupos éster (Zhang *et al.*, 2018). Según Pant *et al.* (2022), las bandas que componen las longitudes de onda entre 1724 y 1689 cm^{-1} , están relacionadas con las vibraciones del grupo C=O presentes en aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos y ésteres. La presencia de carbonilos y carboxilos puede estar asociada con la presencia de los constituyentes fenólicos.

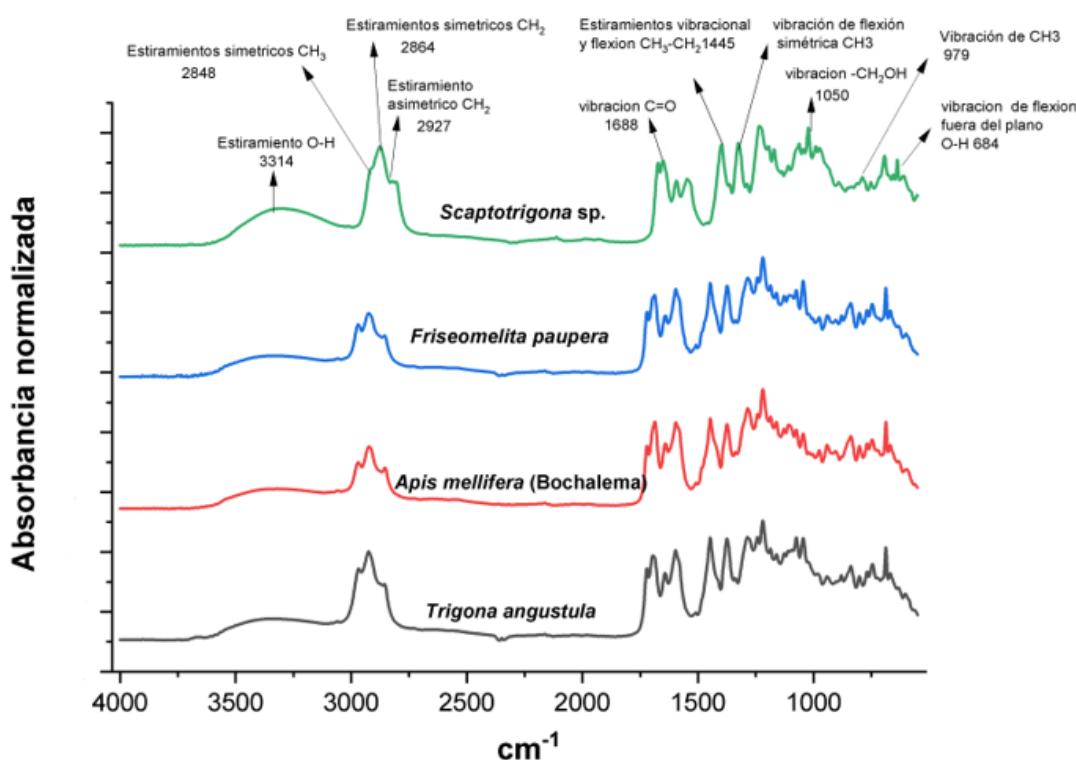


Figura 2. Espectro ATR-FTIR de extractos etanólicos de propóleo.

Fuente: autores.

Los anillos aromáticos son responsables de fuertes vibraciones en la región de 900 a 600 cm⁻¹, estas bandas varían según la cantidad y conformación de las sustituciones en el benceno (Do Nascimento *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2018). Las bandas obtenidas a esta longitud de onda pueden asociarse principalmente con enlaces presentes en compuestos antioxidantes, como la instauración y la presencia de anillos aromáticos como ácidos fenólicos y flavonoides (Cömert y Gökmén, 2018). El perfil del espectro infrarrojo obtenido para el extracto de propóleos estudiado, fue similar a los datos previos publicados para propóleos de otros orígenes (Odalanowska *et al.*, 2021).

Análisis quimiométrico

La espectroscopía infrarroja aplicada para discriminar o determinar la autenticidad de un material no es selectiva. Esta técnica no permite determinar la presencia o ausencia de una molécula específica que se pueda utilizar como marcador, pero los espectros obtenidos contienen información sobre la composición química completa de la muestra bajo análisis, y para poder extraer información relevante de estos, se hace necesario realizar un análisis quimiométrico (análisis de datos multivariados) como PCA o HCA (Biancolillo *et al.*, 2020).

Durante muchos años, el análisis multivariado se ha utilizado en muchas áreas, como la informática, la ingeniería, la far-

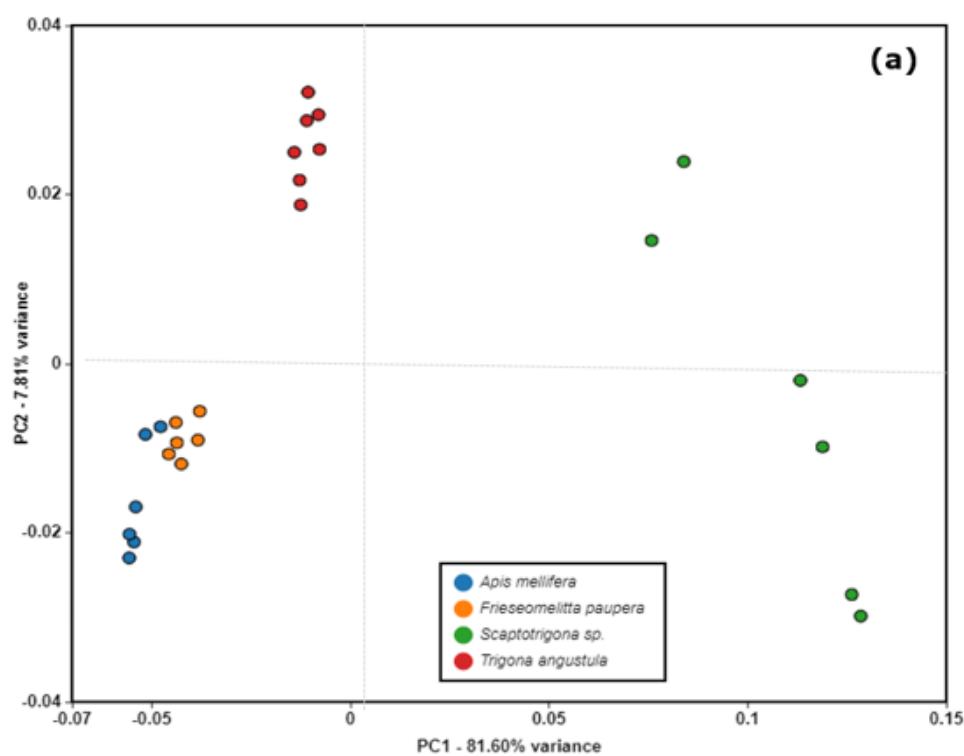
macia, la química, entre otras, para la reducción de un conjunto de datos de interés; cuando se realiza utilizando datos químicos, se denomina “quimiometría”, como son los casos del análisis de componentes principales (PCA) y del análisis jerárquico de conglomerados (HCA), donde la información generada por los espectros IR (Frecuencia vs Absorbancia) se usa para generar las matrices utilizadas como datos de entrada, y son miles los valores que hacen parte de las mismas. Los análisis de componentes principales y análisis de conglomerados, permiten identificar muestras atípicas, discriminar los cuatro extractos de propóleos e identificar las variables (números de onda) responsables de esta discriminación a partir de las diferencias espectrales.

Análisis de componentes principales PCA para extractos etanílicos de propóleo

Los espectros ATR-FTIR de orden cero, primera derivada y segunda derivada de 24 muestras de extractos etanílicos de propóleo fueron analizados mediante el análisis de componentes principales PCA (Figura 3). Los modelos de PCA se conformaron de dos componentes principales, PC1 y PC2, los cuales obtuvieron el mayor porcentaje de varianza, con el objetivo de identificar cual matriz de datos discriminaba mejor las muestras de propóleo. En la matriz de orden cero (Figura 3a) el componente principal 1(PC1) explicó el

81,60 % de la varianza total, mientras que el componente principal 2 (PC2) explicó el 7,08% de la varianza total (Figura 3a), pese a su alto porcentaje en la varianza total no se evidencia un agrupamiento específico para las muestras, en comparación con las gráficas obtenidas para primera y segunda derivada donde se observa que en los dos PCA las muestras se agruparon en grupos discretos. La gráfica de PCA para la primera derivada (Figura 3b) explicó el 79,29% de la varianza total en su componente 1 (PCA 1), mientras que el componente principal 2 (PCA 2) explicó el 8,93% de la va-

rianza total (Figura 3b); y de la segunda derivada (Figura 3c), donde el aporte del componente principal 1(PC1) explicó el 62,71% de la varianza total, mientras que el componente principal (PC2) explicó el 28,46% de la varianza total (Figura 3c). El modelo de PCA que mejor describe la discriminación de los datos fue la matriz de orden cero, debido a que sus componentes principales representaron el 88,68% de la varianza total, un porcentaje relativamente mayor comparado con el de la segunda derivada que fue de 88,22%.



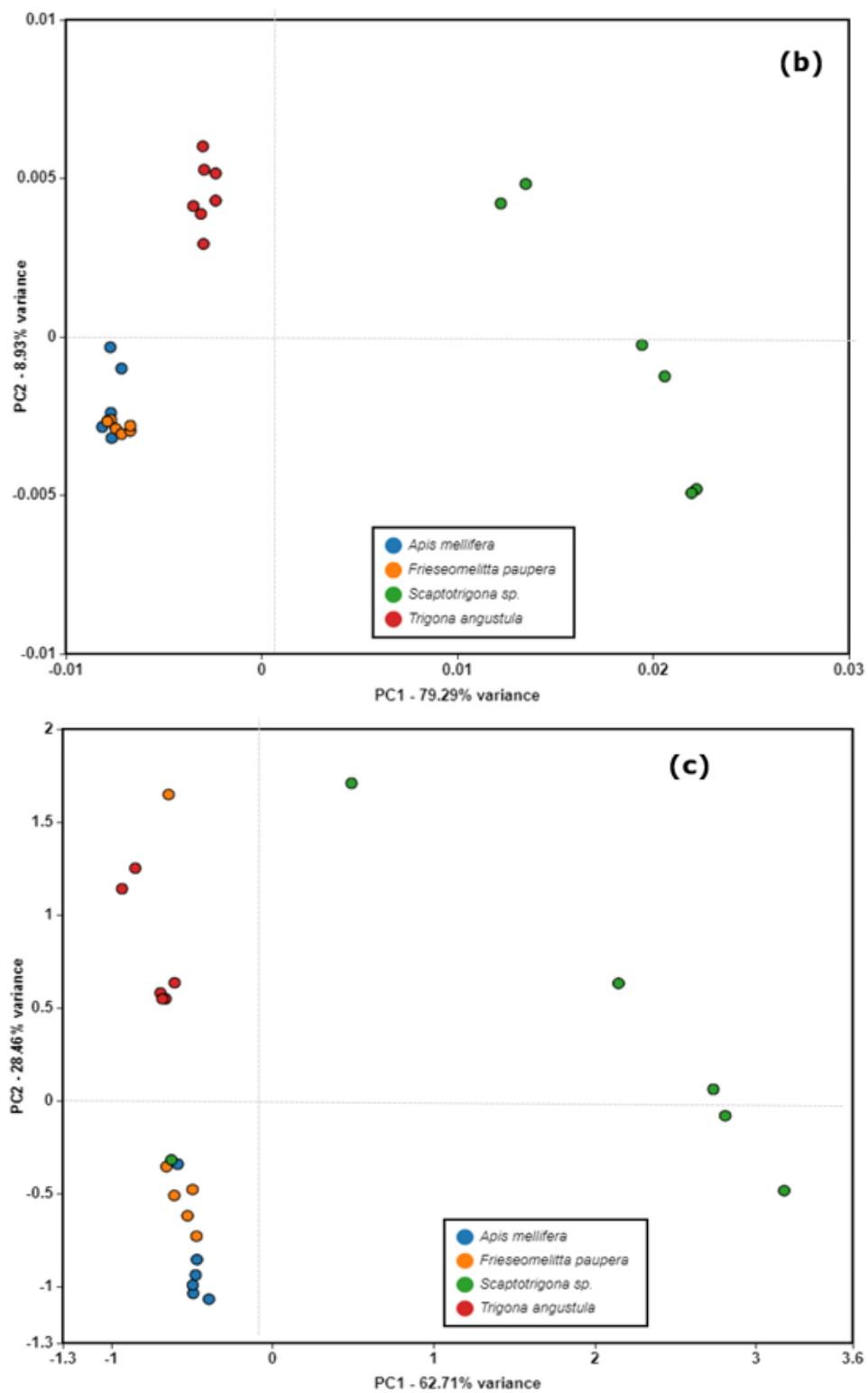


Figura 3. PCA de los espectros IR de extractos etanólicos de propóleos, utilizando la región entre 1800-600 cm⁻¹ para las matrices de orden cero (a); primera derivada (b); segunda derivada (c). Fuente: autores.

El análisis de componentes principales con ATR-FTIR, explica los principales patrones de las variaciones en los datos, generando información no solo de la discriminación de su origen geográfico sino también sobre la composición química (Pavlovic *et al.*, 2020). Con el fin de obtener una visión general de las diferencias en la composición química de las muestras de propóleo de *Scaptotrigona sp.*, *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera* y *Apis mellifera* (Bochalema), se utilizó PCA. La Figura 3a ilustra el gráfico de puntajes (muestras) de PC1 versus PC2, donde se puede verificar una buena separación de los extractos. Las muestras de propóleo se clasificaron en tres grupos. Las bandas en la región espectrales a 1800-12000 cm⁻¹ y 900-700 cm⁻¹, PC1 y PC2, son responsables de la discriminación de los extractos de la región, resolviendo aproximadamente el 88,68 %. El modelo PCA fue capaz de reconocer las muestras atípicas, obtener una buena separación de muestras e identificar las variables responsables de esta separación.

Las muestras de *Trigona angustula* y *Frieseomelitta paupera* se agruparon en la parte inferior izquierda de la gráfica, lo que indica que tienen composiciones químicas similares que atribuyen a su agrupamiento, mientras que *Scaptotrigona sp.* se ubicó en la parte inferior derecha a pesar de que esta muestra fue recolectada de la misma zona que las demás muestras, y se esperaba un agrupamiento con ellas. Dicho hallazgo se puede explicar en cualquier extensión en función de la composición de la flora de la región geográfica estudiada,

Apis mellifera (Bochalema) se ubica en la parte superior alejada de los otros grupos. Esto posiblemente se debe a que este propóleo fue recolectado de una fuente vegetal diferente, lo cual concuerda con estudios relacionados con la composición química de propóleos (Anjum *et al.*, 2019; Maraschin *et al.*, 2016).

Análisis jerárquico de conglomerados (HCA)

Los datos también se sometieron a análisis de conglomerados jerárquicos (HCA) para la clasificación de muestras de propóleos. Se alcanzaron los tres grupos (Figura 4) y se evaluaron las similitudes de la muestra mediante el uso de distancias euclidianas (enlace único).

El dendrograma obtenido como resultado de HCA, muestra tres grupos correspondientes a la composición química de propóleos. Las muestras de extractos de propóleo se clasificaron en tres grupos: grupo 1 se distribuyeron en el clúster I, a diferencia de los grupos 2 y 3, que se clasificaron en los clúster II y III. Las muestras de extractos de propóleo de la especie *Trigona angustula*, *Frieseomelitta paupera* y *Melipona favosa*, se ubicaron en el clúster I, en este grupo se evidencian las similitudes entre estas muestras, mientras que, las muestras que clasificaron en diferentes conglomerados fueron diferentes entre sí. Las muestras de *Scaptotrigona sp.*, *Trigona angustula* y *Frieseomelitta paupera* a pesar de que son originarias del mismo lugar, se observa que la composición química de los propóleos varía. Las especies *Scapto-*

trigona sp. y *Apis mellifera* a pesar de que son de subfamilias diferentes presentaron similitudes en su composición, esto puede deberse a la atracción de esta especie por un tipo de planta diferente a la que las

otras especies extraen las resinas, teniendo en cuenta que la composición química del propóleo depende de la vegetación del sitio (Herrera-López *et al.*, 2019).

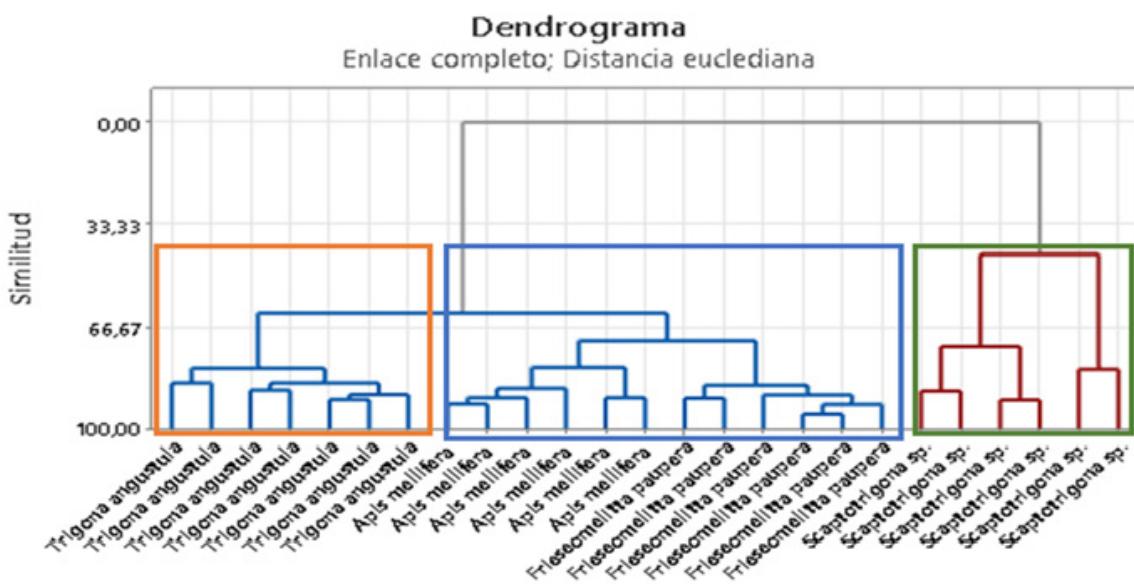


Figura 4: Análisis de Conglomerados para la primera derivada muestras de extractos etanólicos de propóleos.

Fuente: autores.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Nur Basyraha *et al.*, 2019, donde utilizaron FTIR en la región de huella dactilar para la discriminación de extractos etanólicos y metanólicos de dos especies de propóleos de abejas sin aguijón de Malasia, *Heterotrigona itama* y *Geniotrigona thoracica*. Encontraron que el total de la varianza fue de 95.63 % (PC1 = 54.01 %, PC2 = 41.61 %) y los dendrogramas HCA de los datos de FTIR se agruparon en tres grupos, con un resultado similar al de PCA. Concluyeron que es razonable utilizar la región de huella dac-

tilar del espectro IR junto con el análisis quimiometrónico para diferenciar las dos especies diferentes, de extractos de propóleo de la abeja sin aguijón.

Resultados similares fueron encontrados por Ibrahim *et al.* (2018), donde aplicaron la región de huellas dactilares del espectro infrarrojo junto con quimiometría para la comparación de extractos etanólicos de propóleos de abeja sin aguijón de *Heterotrigona itama* obtenidos a partir de diferentes métodos de extracción, que fueron maceración, sonicación y soxhlet. Los re-

sultados de PCA para diferentes métodos de extracción, revelaron que la variabilidad de PC1 y PC2 fue del 84,76 %. Con lo cual, se llega a la conclusión de que La FTIR junto con el análisis quimiométrico mostró la clasificación de diferentes métodos de extracción de propóleos a partir de PCA y HCA en función de la vibración de la presencia de grupos funcionales en las muestras (Nur Basyirah *et al.*, 2019).

Como se puede observar, los estudios previos y los resultados obtenidos en este trabajo, permiten concluir que la espectroscopia infrarroja acoplada con el análisis quimiométrico (PCA y conglomerados), es una buena herramienta, económica y rápida, que puede ser utilizada para establecer diferencias y similitudes entre la composición química de las muestras de extractos de propóleo de las especies estudiadas.

4. CONCLUSIONES

El análisis ATR-FTIR reveló patrones espectrales únicos de los extractos etanólicos de propóleos de Bochalema, los cuales reflejaron diferencias en su composición, asociadas a las distintas posiciones e intensidades de las bandas, revelando variaciones asociadas con el contenido de hidrocarburos procedentes de la cera de abeja presente en el propóleo, flavonoides (resi-

nas de plantas) y otros componentes que fueron significativos entre las muestras.

La espectroscopia infrarroja acoplada con el análisis quimiométrico (PCA y conglomerados), permitió establecer diferencias y similitudes entre la composición química de las muestras de propóleo de las especies estudiadas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Autor 1: Desarrollo de la parte metodológica, análisis de datos, y redacción del documento.

Autor 2: Desarrollo de la parte metodológica, análisis de datos, y redacción del documento.

Autor 3: Desarrollo de la parte metodológica, análisis de datos, y redacción del documento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Pamplona y al laboratorio de Biocalorimetría por la disposición

de los espacios y equipos necesarios para la realización de la parte experimental.

LITERATURA CITADA

Anjum, S. I., Ullah, A., Khan, K. A., Attullah, M., Khan, H., Ali, H., Bashir, M. A., Tahir, M., Ansari, M. J., Ghramh, H. A., Adgaba, N., & Dash, C. K. (2019). Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review. Saudi Journal of Biological Sciences, 26(7), 1695-1703. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.08.013>

Biancolillo, A., Marini, F., Ruckebusch, C., & Vitale, R. (2020). Chemometric strategies for spectroscopy-based food authentication. Applied Sciences, 10(18), 6544. <https://doi.org/10.3390/app10186544>

Boisard, S., Le Ray, AM., Gatto, J., Audmond, MC., Blanchard, P., Derbré, S., Flurin, C., Richomme, P. (2014). Chemical composition, antioxidant and anti-AGEs activities of a French poplar type propolis. J Agric Food Chem., 62(6), 1344. <https://doi.org/10.1021/jf4053397>

Bouchelaghem, S. (2022). Propolis characterization and antimicrobial activities against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*: A review. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(4),

1936-1946. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.063>

Cai, W., Xu, J., Li, G., Liu, T., Guo, X., Wang, H., & Luo, L. (2020). Ethanol extract of propolis prevents high-fat diet-induced insulin resistance and obesity in association with modulation of gut microbiota in mice. Food Research International, 130(June 2019), 108939. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108939>

Cömert, E. D., & Gökm̄en, V. (2018). Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. Food Research International, 105(November 2017), 76-93. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.056>

Derrick, M. (1989). Fourier transform infrared spectral analysis of natural resins used in furniture finishes. Journal of the American Institute for Conservation, 28(1), 43-56. <https://doi.org/10.1179/019713689806046264>

Do Nascimento, T. G., de Almeida, C. P., da Conceição, M. M., dos Santos, A., de Almeida, L. M., de Freitas, J. M. D., Grillo, L. A. M., Dornelas, C. B., Ribeiro, A. S., da Silva, J. F., da Silva, C. J., Basílio-Júnior, I. D., & de Freitas, J. D.

- (2022). Caseinates loaded with Brazilian red propolis extract: preparation, protein-flavonoids interaction, antioxidant and antibacterial activities. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(2), 1329-1343. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10448-w>
- Herrera-López, M. G., Calvo-Irabién, L., Luis, Y. y Peña-Rodríguez, M. (2019). El propóleo y su potencial económico como producto de la industria apícola. Desde El Herbario CICY, 11, 190-194. <http://www.cicy.mx/sitios/desde/herbario/>
- Kuropatnicki, A. K., Szliszka, E., & Krol, W. (2013). Historical aspects of propolis research in modern times. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/964149>
- Maraschin, M., Somensi-Zeggio, A., Oliveira, S. K., Kuhnen, S., Tomazzoli, M. M., Raguzzoni, J. C., Zeri, A. C. M., Carreira, R., Correia, S., Costa, C., & Rocha, M. (2016). Metabolic Profiling and Classification of Propolis Samples from Southern Brazil: An NMR-Based Platform Coupled with Machine Learning. *Journal of Natural Products*, 79(1), 13-23. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.5b00315>
- Monteil, J., Hadj-sassi, A., Guzmán-barbera, N., Poque, E., & Leal-calderon, F. (2022). Method to prepare aqueous propolis dispersions based on phase separation. 389(April). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133072>
- Nur Basyirah Md Zin, Azierah Azemin, Muhammad Muslim Mohd Rodi, Zalilawati Mat Rashid, Khamsah Suryati Mohd. (2019). Application of FTIR fingerprints coupled with chemometric for comparison of stingless bee propolis from different extraction methods. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(2-1), 350-355. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v15n2-1.1553>
- Ibrahim, N., Jamil, A., Ismail, Z., Ahmad, Y. and Suryati Mod, K. (2018). Application of GCMS and FTIR Fingerprinting in Discriminating Two Species of Malaysian Stingless Bees Propolis. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.43), 106-112. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.43.25828>
- Odalanowska, M., Woźniak, M., Ratajczak, I., Zielińska, D., Cofta, G., & Borysiak, S. (2021). Propolis and organosilanes as innovative hybrid modifiers in wood-based polymer composites. *Materials*, 14(2), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ma14020464>
- Pant, K., Thakur, M., Chopra, H. K., & Nanda, V. (2022). Encapsulated bee propolis powder: Drying process optimization and physicochemical characterization. *Lwt*, 155, 112956. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112956>
- Pavlovic, R., Borgonovo, G., Leoni, V., Giupponi, L., Ceciliani, G., Sala, S., Bassoli, A., & Giorgi, A. (2020). Effectiveness of different analytical methods for the characterization of propolis: A case

of study in northern Italy. *Molecules*, 25(3). <https://doi.org/10.3390/molecules25030504>

Rodríguez, B., Canales, M. M., Penieres, J. G., y Cruz, T. A. (2020). Composición química, propiedades antioxidantes y actividad antimicrobiana de propóleos mexicanos. *Acta Universitaria*, 30, 1-30. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2435>

Zhang, H., Fu, Y., Niu, F., Li, Z., Ba, C., Jin, B., Chen, G., & Li, X. (2018). Enhanced antioxidant activity and in vitro release of propolis by acid-induced aggregation using heat-denatured zein and carboxymethyl chitosan. *Food Hydrocolloids*, 81, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.019>

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 10-02-2023

Fecha de aceptado: 12-05-2023

DOI: 10.22490/21456453.6657

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA EN UNA PRADERA DE KIKUYO MEDIANTE EL USO DE SENsoRES REMOTOS

ESTIMATION OF BIOMASS IN A PRAIRIE OF KIKUYU GRASS USING REMOTE SENSORS

Álvaro A. Bernal¹

Amanda Acero-Camelo²

Alex Fernando Gutiérrez³

¹ MSc, docente Universidad de Cundinamarca, Facatativá, Cundinamarca, Colombia.
aalfonsobernal@ucundinamarca.edu.co

² PhD, profesora asociada Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
raaceroc@unal.edu.co

³ Zootecnista, asistente técnico Cooperativa Colanta, Funza, Cundinamarca, Colombia.
alexgh@colanta.com.co

Citación: Bernal, Á., Acero-Camelo, A. y Gutiérrez, A. (2024). Estimación de la biomasa en una pradera de Kikuyo mediante el uso de sensores remotos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 175-190. <https://doi.org/10.22490/21456453.6657>

RESUMEN

Contextualización: la medición directa de la biomasa en las pasturas es el método más confiable, sin embargo, es un método destructivo y dispendioso.

Vacío de conocimiento: recientemente se han investigado técnicas con el uso de sensores remotos para estimar características fisiológicas y morfológicas en cultivos a partir de sus propiedades ópticas, y llegar a estimaciones de biomasa; de manera que, resulta valioso evaluar estas técnicas en forrajes perennes como el kikuyo (*Cenchrus clandestinus*).

Propósito: el objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología para estimar biomasa en praderas a partir de sus características espectrales y morfológicas, utilizando diferentes fuentes de información remota.

Metodología: se empleó una franja de pastoreo de 1870 m², subdividida en 27 subparcelas, en donde se realizaron mediciones directas de biomasa y altura sin disturbar (ASD); se tomaron fotografías aéreas con un UAS, y se seleccionó una imagen del satélite Sentinel 2B que capturó la escena del lugar de estudio coincidente con la fecha de vuelo del UAS y las medidas de campo; por medio de técnicas de fotogrametría aérea, se calculó un

modelo digital de elevación (DEM, por su sigla en inglés) utilizado para estimar la altura de la pastura; a partir de la ortofotografía se calculó el índice de vegetación rojo, verde, azul (RGBVI), y con la imagen del satélite se determinó el índice de diferencia de vegetación normalizado (NDVI); se correlacionó la altura medida en campo con la altura estimada mediante el DEM, usando el coeficiente de Pearson, y se correlacionó la biomasa medida en campo con los índices NDVI, RGBVI y la altura estimada mediante modelos de regresión lineal.

Resultados y conclusiones: se encontró una correlación fuerte (0,64) entre la altura medida directamente y la altura calculada mediante el DEM. La correlación entre NDVI y la biomasa fue baja ($R^2=0,13$), y no se encontró relación con el índice RGBVI ($R^2=0,02$). Entre la altura estimada mediante el DEM y la biomasa se encontró una relación media ($R^2=0,42$), la cual indica que esta es una metodología promisoria capaz de sustituir los métodos destructivos y de brindar información más precisa en tiempo y espacio.

Palabras clave: *Cenchrus clandestinus*, drone, fitomasa, manejo de praderas, pastoreo de precisión

ABSTRACT

Contextualization: Direct measurement of biomass in pastures is the most reliable method; however, it is a destructive and wasteful method.

Knowledge gap: Recently, techniques using remote sensing to estimate physiological and morphological characteristics in crops have been investigated from their optical properties and reach biomass estimates. It is valuable to evaluate these techniques in perennial forages such as Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*).

Purpose: This work aimed to develop a methodology to estimate biomass in prairies based on their spectral and morphological characteristics using different sources of remote information.

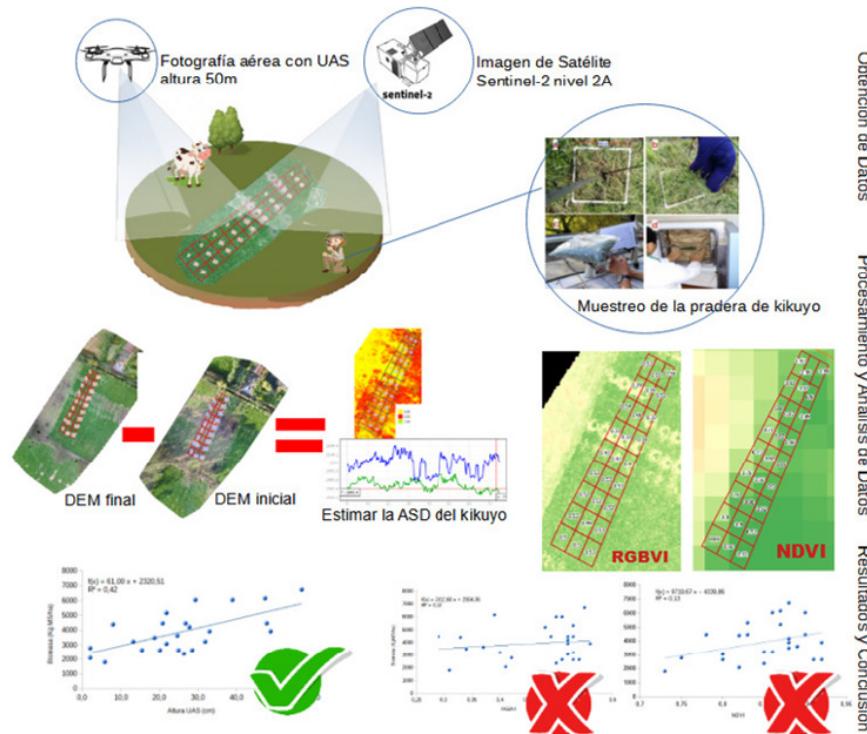
Methodology: A grazing strip of 1870 m² was used, subdivided into 27 subplots, where direct measurements of biomass and undisturbed height (ASD, for its Spanish acronym) were carried out. Aerial photographs were taken with a UAS. A Sentinel 2B satellite image that captured the scene of the study site coinciding with the UAS flight date and the field measurements was selected. A digital elevation model (DEM) was calculated using aerial photogrammetry techniques, which

was used to estimate pasture height. The Red-Green-Blue Vegetation Index (RGBVI) was calculated from the orthophotography, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was determined from the satellite image. The height measured in the field was correlated with the estimated height by DEM using the Pearson correlation coefficient. The biomass measured in the field was correlated with the NDVI, RGBVI, and the estimated height through linear regression models.

Results and conclusions: A strong correlation (0.64) was found between the directly measured height and the height calculated using the DEM. However, the correlation between NDVI and biomass was low ($R^2= 0.13$), and no relationship was found with the RGBVI index ($R^2= 0.02$). An average relationship ($R^2=0.42$) was found between the height estimated by DEM and the biomass, indicating that this is a promising methodology to replace destructive methods and to provide more accurate information in time and space.

Keywords: *Cenchrus clandestinus*, drone, phytomass, prairies management, precision grazing

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de leche en Colombia para 2021 fue de 7821 millones de litros (Fedegan, 2021), con una producción promedio por vaca de 6,3 L/d (DANE, 2020). En Colombia, la producción de leche está basada en sistemas en pastoreo, y para el caso del trópico de altura, la especie forrajera predominante es el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hoschst ex Chiov) (Carulla y Ortega, 2016). Conocer la biomasa disponible por unidad de área es un aspecto fundamental para tomar decisiones acertadas en los sistemas de pastoreo (López-Guerrero *et al.*, 2011; Murphy *et al.*,

1995), dado que permite controlar la oferta de forraje para los animales y realizar un adecuado manejo de la cuerda eléctrica para asignar las franjas a pastorear. Otra decisión que se puede tomar considerando la biomasa disponible, es el momento de dejar como rezago un potrero y destinarlo a la conservación de forrajes (Canseco *et al.*, 2007). Por otra parte, es posible estimar el consumo de los animales a partir de la medición de la biomasa disponible antes y después del ingreso de los mismos al área de pastoreo (Lantinga *et al.*, 2004).

Una de las dificultades que presenta la estimación de la biomasa disponible es la heterogeneidad de la pradera, la cual es causada por la variación en la tasa de crecimiento del forraje. La tasa de crecimiento se ve influenciada por factores como la composición botánica, la calidad y estructura del suelo, la fertilización y la disponibilidad de agua (Lantinga *et al.*, 2004). Adicionalmente, la disponibilidad de biomasa en una pradera es dinámica (Canseco *et al.*, 2007), pues las tasas de crecimiento cambian en respuesta a las condiciones ambientales, como la temperatura y la precipitación, que son variables durante el año. Estos aspectos hacen que conocer la verdadera disponibilidad de forraje no sea una tarea fácil.

Una alternativa viable es la utilización de sensoramiento remoto que dinamice y precise la cuantificación de la biomasa disponible (de Alckmin, *et al.*, 2021; Dusseux *et al.*, 2014), permitiendo realizar una planeación a mediano y largo plazo del pastoreo, lo cual contribuiría a una mayor rentabilidad de las fincas ganaderas.

El uso de sensores remotos para la estimación de biomasa en diferentes tipos de cultivos y forrajes es cada vez más común, principalmente por su capacidad para hacer estimaciones en áreas de gran tamaño

o difícil acceso sin que se requieran mediciones destructivas en campo (Michez *et al.*, 2020). Actualmente se utilizan imágenes multiespectrales de satélites pasivos, aunque tienen ciertas limitaciones debido a la interferencia de la atmósfera; otra fuente de información remota que ha cobrado popularidad en la última década es el monitoreo con sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS, por su sigla en inglés), dotados con sensores de alta resolución (Rueda *et al.*, 2015). Trabajos como el de González (2019), muestran el potencial de usar imágenes aéreas de alta resolución para la medición de características de las plantas como la altura y la estimación de la biomasa en cultivos, también se han evaluado algunos índices a partir de imágenes ópticas en color rojo, verde y azul (RGB, por su sigla en inglés) y estimación de la biomasa a partir de su correlación con la altura de la planta medida por medio de modelos de elevación digital (Bending *et al.*, 2015; Possoch *et al.*, 2016, Corti *et al.*, 2022).

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología para la estimación de la biomasa disponible en praderas de kikuyo a partir de sus características espectrales o morfológicas obtenidas mediante el uso de sensores remotos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en una finca ubicada en el municipio de Facatativá (4°50'00"N; 72°22'50"O), departamento

de Cundinamarca, Colombia, a una altitud promedio de 2595 m.s.n.m., con temperatura media anual entre 12 y 16°C, y

un régimen hídrico bimodal caracterizado por dos épocas secas y dos de lluvias (IDEAM, 2015).

Medición directa de la altura sin disturbar de la pradera y muestreo de la biomasa

En el área de estudio se seleccionó una franja transversal con un área de 1870 m², la cual fue dividida en veintisiete subparcelas de 10 m de largo y un ancho variable entre 4 y 7 m, obteniendo un área media de 53.8 m² (Figura 1); en cada subparcela se tomó al azar un punto y con una varilla graduada se midió la ASD que fue tomada como la representativa para la subparcela; una vez medidas las alturas se clasificaron en tres estratos: bajo, medio y alto.

De acuerdo a la altura definida para cada estrato se llevó un cuadro de muestreo de

0.25 m², se arrojó al azar en dos de las subparcelas que cumplan el criterio de la altura para cada estrato, y se cosechó el forraje contenido en el cuadro a una altura de corte de 10 cm; el forraje cosechado se pesó y las muestras fueron llevadas a laboratorio y secadas en horno de ventilación forzada a 60°C por 48 horas para la determinación de la materia seca (AOAC, 2006).

Con los datos obtenidos se calculó la biomasa disponible expresada en kilogramos de materia seca por hectárea; se realizaron muestreos durante tres ciclos de pastoreo, comprendidos entre el 21 de agosto y el 3 de diciembre de 2019; en cada ciclo se hizo un muestreo inicial dos o tres días después del pastoreo, un muestreo intermedio y un muestreo final antes del ingreso de los animales.

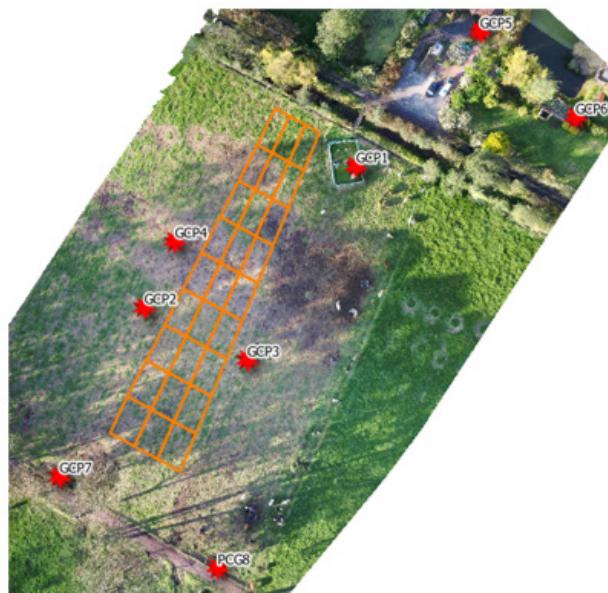


Figura 1. Ortofotografía del área de estudio y la delimitación de las subparcelas. Fuente: autores.

Adquisición de imágenes

Se descargó una imagen Sentinel 2 nivel 2A sensada el día 5 de diciembre de 2019 desde la plataforma Copernicus Open Access Hub de la Agencia Espacial Europea, la cual fue apropiada para comparar con los datos del muestreo del 3 de diciembre de 2019.

Para obtener las imágenes RGB se tomaron fotografías aéreas con un UAS con cámara abordo en posición cenital. La resolución de las fotografías fue de 4000 x 3000, 12 megapíxeles efectivos y fueron almacenadas en formato JPG. Se realizaron dos vuelos: el primero fue el 5 de noviembre de 2019, dos días después de haber sido pastoreada la franja estudiada; y el segundo, el 3 de diciembre de 2019, dos días antes del ingreso de los animales al nuevo ciclo de pastoreo. Los vuelos se hicieron a 50 metros de altura, definida como la altura mínima segura debido a la presencia de árboles. Se establecieron ocho puntos de control reconocidos en las fotografías y georeferenciados.

Análisis de la información

Información capturada por UAS

Las imágenes obtenidas mediante el UAS fueron filtradas para separar las que cubrían el área muestreada y que mantuvieran un solape de más de 80%. Se generó un ortofotomap en formato tiff con el software Open Drone Map (Opendrone-map.org, 2021), el cual arrojó como producto una ortofotografía y un DMS para

cada vuelo; en el primer vuelo se obtuvo el DSM con la altura inicial del terreno más el residual del pastoreo; y en el segundo vuelo se obtuvo el DSM incluyendo la altura de la pastura al momento de cosecha o ingreso al nuevo ciclo de pastoreo. Dado que las alturas obtenidas se encuentran en metros sobre el nivel del mar, se calculó la diferencia entre la altura del DSM del segundo vuelo menos la altura del DSM del primer vuelo, estimando de esta manera la altura de crecimiento de la pastura durante el período evaluado.

Con la ortofotografía en formato tiff obtenida del segundo vuelo realizado por el UAS se separaron las bandas, obteniendo cuatro bandas. Banda 1 correspondiente al canal rojo, banda 2 correspondiente al canal verde, banda 3 correspondiente al canal azul y banda 4 correspondiente al canal Alpha del brillo de la imagen; y con estas, se generó la capa del índice RGBVI, usando la ecuación desarrollada por Bendig *et al.* en 2015 (Ecuación 1). Para este procedimiento se utilizó el software QGIS (QGIS.org, 2021).

$$RGBVI = \frac{G^2 - (B * R)}{G^2 + (B * R)}$$

(Ecuación 1)

Información proveniente del satélite

Se utilizaron las bandas del rojo (Banda 4) y el infrarrojo cercano (Banda 8) para generar el NDVI. Se cortaron las imágenes de las diferentes bandas para el área de estudio con el software QGIS y el plugin Semi-Automatic Classification. Con di-

chas imágenes se generó la capa de NDVI y se calculó un índice promedio para cada subparcela, el cual permitió hacer el análisis de correlación de los índices con la biomasa.

Análisis estadístico de los datos

Se generaron ecuaciones para la estimación de la biomasa a partir de la altura sin disturbar, medida por el método directo con los datos de los tres ciclos de mediciones y ecuaciones específicas para cada ciclo, considerando que hubo diferencias en el comportamiento de la precipitación. El primer ciclo correspondió a la época de

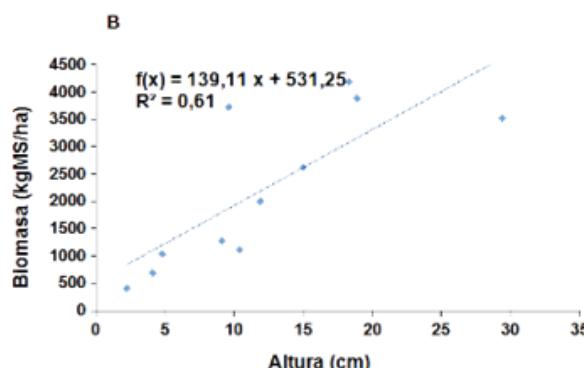
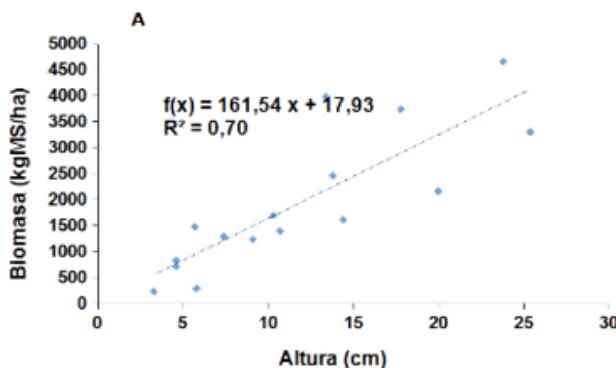
baja precipitación, el segundo ciclo a transición de época seca a lluvias y el tercer ciclo a la época de lluvias. Aplicando la ecuación generada con los datos de todos los muestreos se determinó la biomasa para cada subparcela.

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar si existía relación entre la altura medida con método directo y la altura estimada por el DEM; también, se hizo un análisis de regresión lineal simple entre el NDVI, el RGBVI y la altura estimada por el DEM versus la biomasa definida para cada subparcela.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró que existe una relación lineal entre la ASD y la biomasa para las praderas de kikuyo en época seca ($r^2=0,7$), época de transición ($r^2=0,6$), época de lluvias ($r^2=0,8$) y con el modelo general que contenía la información de los tres ciclos

($r^2=0,7$) (Figura 2). Estos resultados confirman que la ASD es un buen predictor de la biomasa en el pasto kikuyo dentro de las alturas manejadas en pastoreo, como había sido reportado en trabajos previos (Acero, 2019).



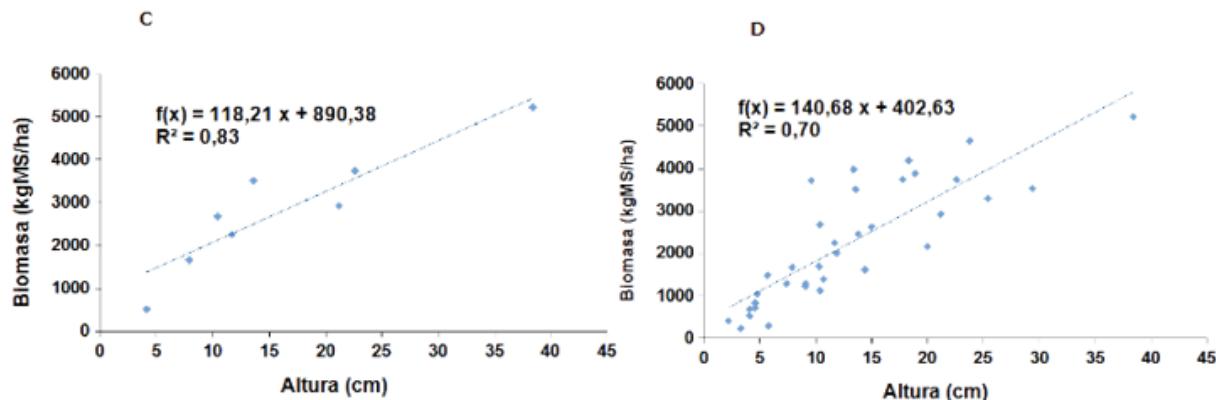


Figura 2. Relación entre la ASD y la biomasa en praderas de kikuyo para época seca(A), transición (B) y lluvias (C) y con la información de los tres ciclos de mediciones (D).

Fuente: autores.

El análisis de correlación de Pearson mostró que existe una relación significativa ($p<0.001$) entre la ASD de la pradera de kikuyo medida por el método directo y la altura estimada por el DEM, obteniéndose un coeficiente de 0.64, lo cual coincide con los resultados encontrados por Corti *et al.*, (2022) ($r^2= 0,8$) en diferentes cultivos que incluían gramíneas y por Mai-maitijiag *et al.*, (2019) en cultivos de soya ($r^2=0.89$). Este resultado muestra la viabilidad de uso de los DEM para estimar ASD en pasturas.

Los modelos de regresión generados entre la altura estimada a partir del DEM y la biomasa obtenida a partir de la ecuación para época de lluvias, que corresponde al ciclo en que se tomaron las imágenes y la ecuación general, fueron significativos ($p>0.01$) y similares, con un coeficiente de determinación medio de 0.42 (Figura 3). Dos aspectos que pudieron afectar esta

correlación fueron la composición botánica y la altura baja de la pradera. Además, las praderas muestreadas tenían presencia de especies diferentes al kikuyo como *Rumex crispus* y *Lolium sp.*, las cuales no fueron tenidas en cuenta en las mediciones realizadas por el método directo, sin embargo, el análisis a través del DEM sí las incluyó. Por otra parte, Possoch *et al.* (2016) evaluaron la correlación entre la altura comprimida medida con plato medidor y la altura estimada con DEM, reportando que en alturas bajas se acumula error, y que requiere generar factores de ajuste. La diferencia con otros trabajos que han encontrado coeficientes de determinación más altos, como Possoch *et al.* (2016) ($r^2= 0.6$) y Bending, *et al.*, (2015) ($r^2=0.85$), pudo deberse al número de parcelas utilizadas en dichos estudios, el cual fue superior a cien. A pesar de los aspectos discutidos previamente, los cuales deben analizarse y generar posibles criterios

de ajuste, la predicción de la biomasa en las pasturas de kikuyo a partir de la ASD estimada mediante DEM es una metodo-

logía promisoria como alternativa al método directo, que puede brindar información más precisa en tiempo y espacio.

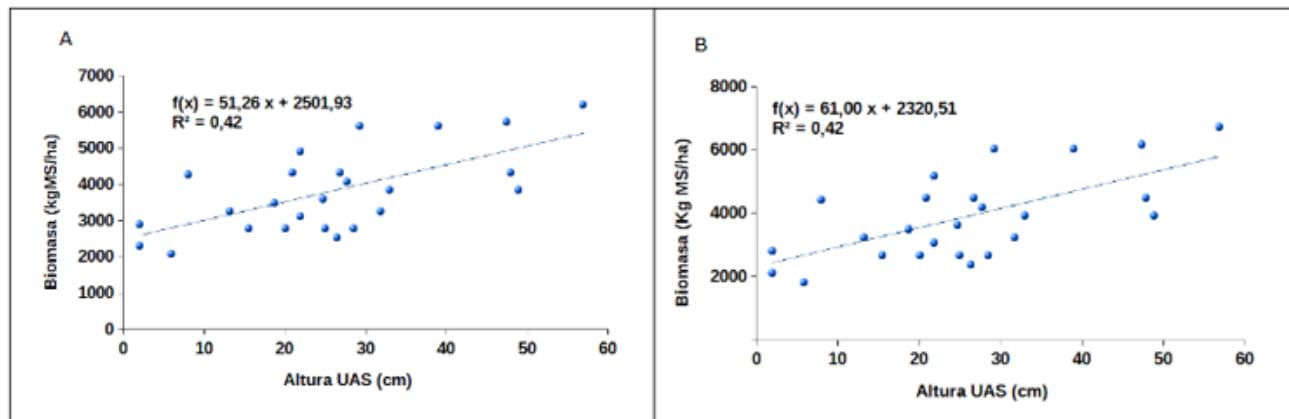


Figura 3. Relación entre la ASD calculada a partir del DEM y la biomasa en praderas de kikuyo estimada con la ecuación de época de lluvias (A) y con la ecuación general (B). Fuente: autores.

Se encontró una relación baja ($r^2=0,13$) entre el índice NDVI y la biomasa del kikuyo obtenida a partir de la ecuación de la época de lluvias, al igual que con la ecuación general (Figura 4). Los valores obtenidos para el NDVI a partir de las imágenes satelitales estuvieron entre 0.73 y 0.92, lo cual coincide con lo encontrado por Posada-Asprilla *et al.* (2019) en kikuyo, quienes obtuvieron valores para este índice entre 0.63 y 0.89 utilizando una cámara con sensor multiespectral. Aunque en trabajos previos se ha encontrado una relación lineal entre el índice NDVI y la biomasa en diferentes cultivos (de Alckmin *et al.*, 2021; Bending *et al.*, 2015), en este trabajo no se encontró una relación lineal fuerte, obteniendo un coeficiente de determinación de 0.13. Bending *et al.*

(2015) encontraron en cultivos de cebada una correlación entre el NDVI y la biomasa baja ($r^2=0.4$), atribuyendo el resultado a un posible efecto de saturación. Por su parte, Alckmin *et al.* (2021) encontraron para la relación entre el NDVI y la biomasa en raigrás un coeficiente de determinación de 0.48. Posada-Asprilla *et al.* (2019) reportaron una alta correlación entre el NDVI y la biomasa expresada como forraje verde (g/m^2) en kikuyo, usando un modelo que consideró el NDVI como una función suavizada, logrando un coeficiente de determinación de 0.993. Un aspecto que pudo influir en la baja correlación entre el NDVI y la biomasa en este trabajo es la menor resolución espacial de las imágenes satelitales comparada con fuentes como las cámaras multiespectra-

les y los espectroradiómetros. Algunos autores (Easdale *et al.*, 2019) no recomiendan el uso de imágenes de satélite para el análisis en áreas de parche de vegetación

o especie, en las cuales estarían clasificadas las parcelas de este estudio, debido a su baja resolución espacial.

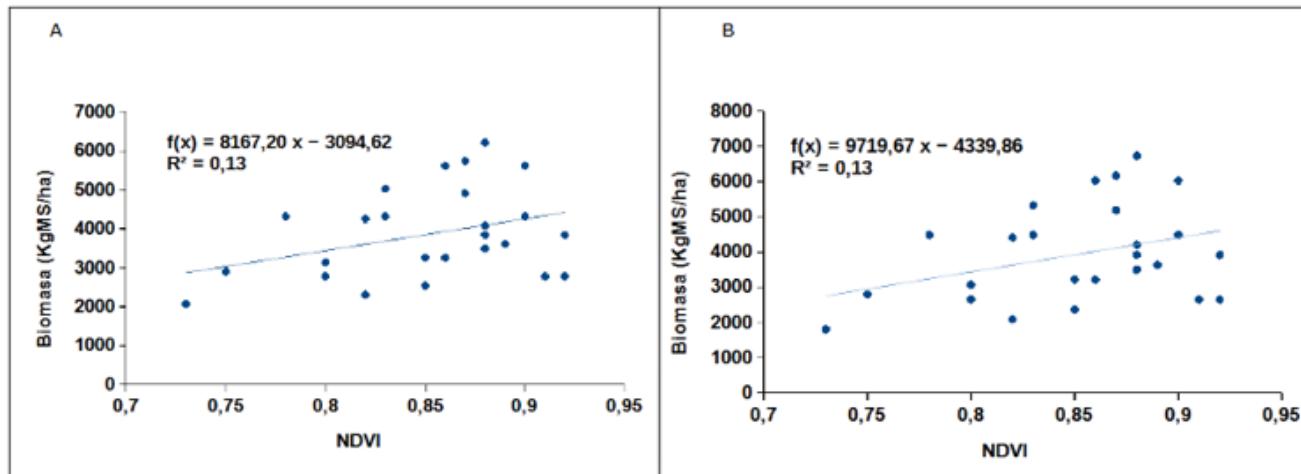


Figura 4. Modelo de regresión entre el NDVI y la biomasa en praderas de kikuyo estimada con la ecuación de época de lluvias (A) y con la ecuación general (B). **Fuente:** autores.

No se encontró una relación entre el índice RGBVI y la biomasa del kikuyo determinada a partir de la ecuación de la época de lluvias, ni con la ecuación general ($r^2=0.02$) (Figura 5). Esto coincide con los resultados reportados por Possoch *et al.* (2016), quienes obtuvieron un coeficiente de determinación de 0.0012 entre el índice RGBVI calculado a partir de la ortofoto y la biomasa, y un resultado de 0.0877 entre el índice RGBVI obtenido a partir de mediciones hiperespectrales tomadas con un espectrómetro manual y la biomasa. Por su parte, Bending *et al.* (2015) encontraron una correlación que consideraron baja entre la biomasa en cultivos de cebada y el índice RGBVI, con un coeficiente de determinación de 0.47, sin embargo, los autores mencionan que este resultado debe

tomarse con cuidado por el bajo conjunto de datos utilizados para la calibración y validación del modelo. Más recientemente Lussem *et al.*, (2018) no encontraron relación ($r^2=0.00$) entre el índice RGBVI obtenido a partir de una ortofoto generada con imágenes UAS y la biomasa en praderas con un total de 156 datos. Estos resultados indican que, bajo las condiciones de este estudio y teniendo en cuenta los resultados contrastantes entre los diferentes trabajos previos, los índices de vegetación evaluados no son predictores fuertes de la biomasa, en especial el RGBVI, a pesar de tener una alta resolución espacial; razón por la cual, deben realizarse más estudios en el caso de las praderas para considerar su aplicación con fines prácticos.

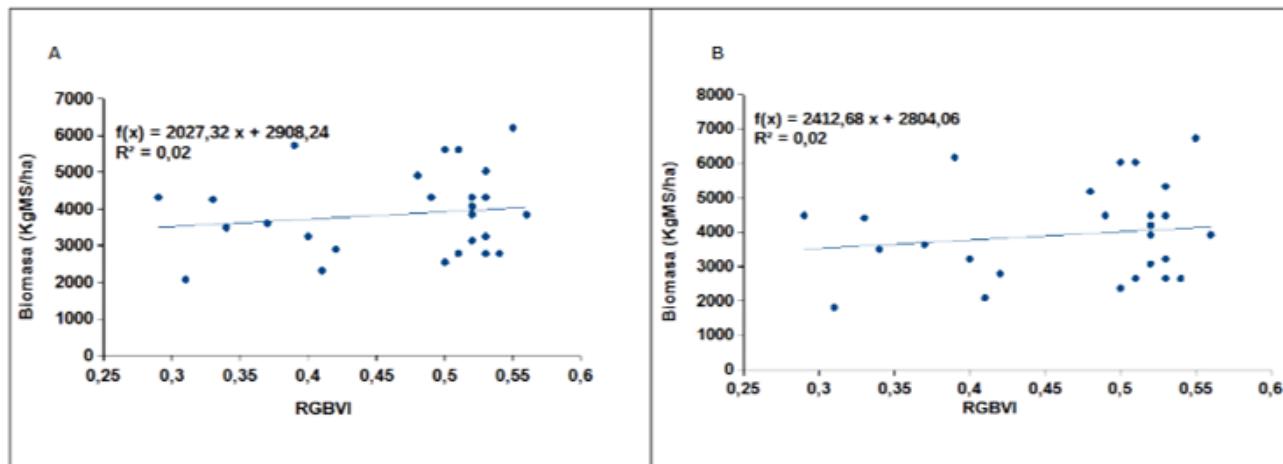


Figura 5. Modelo de regresión entre el RGBVI y la biomasa en praderas de kikuyo estimada con la ecuación de época de lluvias (A) y con la ecuación general (B). Fuente: autores.

El efecto de saturación de los índices para determinar la biomasa de las praderas merece ser estudiado, dado que como se mencionó anteriormente, algunos autores

lo han reportado, y para el caso de praderas muy densas como el kikuyo podría ser una limitante, especialmente al final del período de descanso de la pastura.

4. CONCLUSIONES

Las nuevas tecnologías en geomática como la fotogrametría y el sensoramiento remoto constituyen un apoyo importante a la agricultura de precisión, permitiendo mejorar el manejo de los sistemas de pastoreo. La estimación de la biomasa en los cultivos a partir de la altura determinada por modelos de elevación digital resulta ser una metodología promisoria, confiable para sustituir los métodos destructivos y brindar información más precisa en tiempo y espacio. En el caso de este estudio, esta fue la metodología que mostró mejor resultado para la estimación de la biomasa.

No se encontró relación fuerte entre el índice de vegetación NDVI y la biomasa medida en campo, y no hubo relación entre el índice de vegetación RGBVI y la biomasa bajo las condiciones de este experimento; sin embargo, trabajos realizados por otros autores muestran resultados diversos en algunos casos con relaciones medias y altas entre los índices y la biomasa, y en otros con relaciones muy bajas o inexistentes, lo cual indica que es necesario seguir investigando sobre el uso de estos índices con la finalidad de estimar la biomasa en pasturas.

El uso de imágenes de satélite de uso libre como las Sentinel 2 para la determinación de índices de vegetación como el NDVI en áreas de parche de vegetación o especie como las parcelas medidas en este trabajo,

no entregó buenos resultados debido a su menor resolución espacial y a la dificultad de encontrar mayor cantidad de imágenes en el período de estudio a causa de la interferencia por presencia de nubes.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Álvaro A. Bernal: metodología, investigación, análisis de imágenes y datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Amanda Acero-Camelo:** me-

dología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Alex Fernando Gutiérrez:** metodología, investigación, conceptualización.

AGRADECIMIENTOS

A la Hacienda Megaleche y a su gerente Ricardo Camacho por la disponibilidad del espacio para el desarrollo del estudio; al laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de

Colombia, Bogotá; al laboratorio de suelos de la Universidad de Cundinamarca extensión Facatativá por el apoyo en el secado de muestras de forraje; y al departamento de asistencia técnica de la planta UHT Colanta, Funza.

LITERATURA CITADA

Acero C., R.A. (2019). *Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. exChiov. Morrone) en la Provincia de Ubaté*. [Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75536>

Association of Official Analytical Chemists. [AOAC]. (2006). *Official Methods*

of Analysis of AOAC International. [18 ed. Chapter 4: Animal Feed]. WENDT THIEX NJ.

Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L. and Bareth, G. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*

39, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>

Canseco, C., Demanet, R., Balocchi, O., Parga, J., Anwandter, V., Abarzúa, A., Teuber, N., y Lopetegui, J. (2007). Determinación de la disponibilidad de materia seca de praderas en pastoreo. En: *Manejo del pastoreo*. Proyecto FIA. Osorno.

Carulla, J.E. y Ortega, E. (2015). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83 -87.

Corti, M., Cavalli, D., Cabassi, G., Bechini, L., Pricca, N., Paolo, D., Marinoni, L., Vigoni, A., Degano, L., and, Gallina, P. (2022). Improved estimation of herbaceous crop aboveground biomass using UAV-derived crop height combined with vegetation indices. *Precision Agriculture*, 24, 587–606. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09960-w>

de Alckmin, G.T., Kooistra, L., Rawnsley, R., and Lucieer, A. (2021). Comparing methods to estimate perennial ryegrass biomass: Canopy height and spectral vegetation indices. *Precision Agriculture*, 22(1), 205-225. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09737-z>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. [DANE]. (2020). Boletín técnico. *Encuesta Nacional Agropecuaria 2019*. Autor. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019.pdf.

Dusseux, P., Corpetti, T., Hubert-Moy, L. and Corgne, S. (2014). Combined use of multi-temporal optical and radar satellite images for grassland monitoring. *Remote Sensing*, 6(7), 6163-6182.

Easdale, M.H., Umaña, F., Raffo, F., Fariña, C., y Bruzzone, O. (2019). Evaluación de pastizales patagónicos con imágenes de satélites y de vehículos aéreos no tripulados. *Ecología Austral*, 29(3), 306-314. <https://doi.org/10.25260/EA.19.29.3.0.791>.

Federación Colombiana de Ganaderos. [Fedegan]. (2021). *Producción de leche y sacrificio bovino en Colombia*. Autor. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/general>

González, P.L. (2019). *Plant height and biomass estimations on wheat using high-resolution aerial imagery in an experimental field in Sonora, Mexico*. [Tesis de maestría]. UniGIS-Universidad de Salzburg https://issuu.com/unigis_latina/docs/104798

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [IDEAM]. (2015). *Atlas Climático de Colombia-Interactivo* [Volumen 1]. Ministerio de Medio Ambiente. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Lantinga, E.A., Neuteboom, E.A., Meijss, J.A.C. (2004). Sward Methods in: Herbage intake handbook. British Grassland Society (BGS). 23-52p.

López-Guerrero, I., Fontenot, J.P. y García-Peniche, TB. (2011). Comparaciones

entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(2), 209-220.

Lussem, U., Bolten, A., Gnyp, M. L., Jasper, J. and Bareth, G. (2018). Evaluation of RGB-based vegetation indices from UAV imagery to estimate forage yield in grassland. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*, 42(3), 1215-1219. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1215-2018>

Maimaitijiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Maimaitiyiming, M., Hartling, S., Peterson, K.T., Maw, M.J., Shakoor, N., Mockler, T. y Fritschi, F.B. (2019). Vegetation index weighted canopy volume model (CVMVI) for soybean biomass estimation from unmanned aerial system-based RGB imagery. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 151, 27-41. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.03.003>

Michez, A., Lejeune, P., Knoden, D., Cremer, S., Decamps, C. y Bindelle, J. (2020). Can Low-Cost Unmanned Aerial Systems Describe the Forage Quality Heterogeneity? Insight from a Timothy Pasture Case Study in Southern Belgium. *Remote Sens.*, 12, 1650. <https://doi.org/10.3390/rs12101650>

Murphy, W. M., Silman J. P. y Mena-Barreto A. D. (1995). A comparison of quadrat, capacitance meter, HFRO sward stick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadow grass-dominant white clover sward. *Grass Forage*

Science, 50, 452-455. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1995.tb02340.x>

Opendronemap.org. (2021). *Open Drone Map*. <https://www.opendronemap.org/>

Posada-Asprilla W., Medina-Sierra M. y Cerón-Muñoz M. (2019). Estimación de la calidad y cantidad de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) usando imágenes multiespectrales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), e1195. <https://dx.doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1195>

Possoch M., Bieker S., Hoffmeister D., Bolten A., Schellberg J. and Bareth G. (2016). *Multi-temporal crop surface models combined with the RGB vegetation index from UAV-based images for forage monitoring in grassland*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic.

QGIS.org. (2021). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <http://www.qgis.org>

Rueda C., F., Peñaranda M., L.A., Velásquez V., W.L., y Diaz B., S.A. (2015). Aplicación de una metodología de análisis de datos obtenidos por percepción remota orientados a la estimación de la productividad de caña para panela al cuantificar el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). *Revisita Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 25-40.



■ Conflicto de intereses

*Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses.*



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Área Pecuaria

Área: pecuaria

Fecha de recibido: 28-11-2022

Fecha de aceptado: 26-06-2023

DOI: 10.22490/21456453.6547

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE FILETE Y COMPOSICIÓN DE CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*)

EVALUATION OF FILLET YIELD AND COMPOSITION OF WHITE PIRAPITINGA (*Piaractus brachypomus*)

Liliana Patricia Mancera Rodríguez ¹

¹ MSc Ciencia y tecnología de alimentos, Corporación Unificada Nacional de Educación Superior, Bogotá, D.C., Colombia. liliana_mancera@cun.edu.co

Citación: Mancera, L. (2024). Evaluación del rendimiento de filete y composición de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Revista de Investigación Agraria y Ambiental 15(1), 191-210. <https://doi.org/10.22490/21456453.6547>

RESUMEN

Contextualización: la cachama blanca es una especie nativa, la cual tiene propiedades de adaptabilidad a cuerpos de agua que presentan una calidad inferior. Además, presenta resistencia a bajas condiciones de oxígeno, y el consumidor la elige por su sabor al igual que por el color de la carne. En la actualidad, las investigaciones se enfocan en aspectos como la reproducción en cautiverio, formas de alimentación, mejora genética y manejo.

Vacío de conocimiento: la información acerca del rendimiento en filete y canal de cachama blanca es escasa, lo cual impone una planeación estratégica en el momento de la siembra, así como la diversificación del producto y la insuficiente información acerca de la cantidad de residuos que presenta esta especie.

Propósito: el objetivo de esta investigación es evaluar si existen diferencias entre dos tallas comerciales en relación con las variables de rendimiento en filete y su composición fisicoquímica de la especie cachama blanca.

Metodología: se estimaron los rendimientos corporales tomando como muestra 92 animales provenientes del departamento del Meta. Los peces fueron beneficiados,

eviscerados y clasificados en dos grupos dependiendo su peso; luego, se procesaron para obtener el filete; posteriormente, se llevó a cabo un análisis proximal y se midió el pH, la actividad de agua, el color y el grado de oxidación, por medio de bases nitrogenadas totales. Los datos obtenidos fueron procesados utilizando el software Statgraphics Centurion XVI.

Resultados y conclusiones: los animales que se encontraban en el rango de peso de 406 a 600 gramos presentaron un rendimiento en filete del 51%, y en canal del 74%. De acuerdo con la producción de residuos, el grupo con tallas entre 210 y 405 gramos expresó la mayor cantidad, constituido por la cabeza, cola, aletas y otros remanentes. Esta información podría ser relevante para estimar la mejor talla de cosecha dependiendo del producto final a obtener. Por otro lado, las diferencias significativas se presentaron a nivel de contenido lipídico, relacionándose con la capacidad metabólica y el uso de energía dependiendo de la actividad fisiológica.

Palabras clave: acuicultura, análisis proximal, comercio de pescado, fileteado de pescado, pescado fresco, *Piaractus orinocoensis*, *Serrasalmidae*.

ABSTRACT

Contextualization: The white pirapitinga is a native species that has properties of adaptability to water bodies of inferior quality. In addition, it is resistant to low oxygen conditions, and the consumer chooses it for its flavor and meat color. Currently, research is focused on aspects such as captive breeding, ways of feeding, genetic improvement, and management.

Knowledge gap: Information about the fillet and carcass yield of white pirapitinga is scarce and makes strategic planning at the time of planting and product diversification impossible, and the information about the amount of waste that this species presents is insufficient.

Purpose: This research aims to evaluate if there are differences between the two commercial sizes regarding the variables of fillet yield and white pirapitinga physicochemical composition.

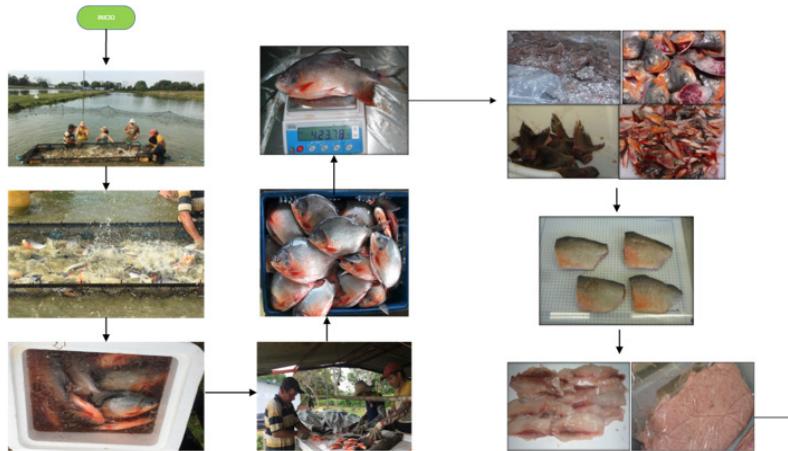
Methodology: Physical yields were estimated using a sample of 92 animals from the Meta department. The fish were processed, eviscerated, and classified into

two groups depending on their weight. They were then processed to obtain the fillet. Subsequently, a proximate analysis was carried out, and the pH, water activity, color, and degree of oxidation by total nitrogenous bases were measured. The data obtained were processed using the Statgraphics Centurion XVI software.

Results and conclusions: The animals in the 406 to 600 grams weight range had a 51% fillet yield and a 74% of carcass yield. According to the waste production, the group with sizes between 210 and 405 grams expressed the largest amount, which was constituted by the head, tail, fins, and other remnants. This information could be essential to estimate the best harvest size depending on the final product to be obtained. Furthermore, there were significant differences in the level of lipid content, which relates to metabolic capacity and energy use depending on the physiological activity.

Keywords: aquaculture, proximate analysis, fish trade, filleting fish, fresh fish, *Piaractus orinoquensis*, *Serrasalmidae*

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura en Colombia se relaciona con el sector de la producción de alimentos para consumo nacional y exportación. Esta, genera un impacto significativo al crear empleos e ingresos, contribuyendo a la seguridad alimentaria, en especial para las poblaciones rurales y pequeños productores, cuyas oportunidades de acceso a los factores productivos son limitadas, por esto, se considera que es un renglón que contribuye a la superación de la pobreza en las zonas rurales (MADR, 2019). Ahora bien, la acuicultura colombiana se encuentra liderada por la producción de tres especies como: tilapia, trucha y cachama (Figura 1) (Bonilla y De la Pava, 2013).

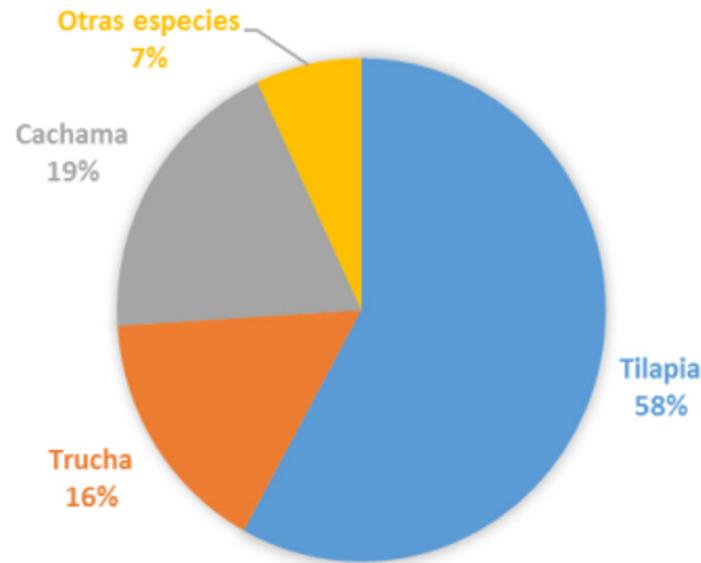


Figura 1. Producción piscícola en Colombia para el año 2020.

Fuente: SIOC (2021).

Respecto a la producción de cachama en Colombia, esta especie es la segunda más producida en el país con la producción de dos géneros: la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y la cachama negra (*Colosoma macropomum*) (Mesa-Granda y Botero, 2007; SIOC, 2021). Recientemente *Piaractus orinoquensis*, es una especie que tiene características similares, pero presenta un cuerpo más delgado, una cabeza y boca más pequeño y menos escamas (Escobar *et al.*, 2019). De esta manera, la cachama blanca, que pertenece a la familia Characidae presenta hábitos omnívoros, y es originaria de las cuencas del Amazonas y del Orinoco; también, se caracteriza por su tolerancia y resistencia a las producciones intensivas, empleándose como alternativa en la siembra de policultivo (Cruz *et al.*, 2011). Luego del beneficio, se comercializa de forma entera, fresca y congelada, lo cual genera en los consumidores una baja aceptación a nivel nacional debido al gusto por su consumo, porque posee gran cantidad de espinas intramusculares en forma de "Y" que genera rechazo por gran parte de los consumidores (Bonilla y De la Pava, 2013). Con respecto a la comercialización, la cachama blanca se produce en mayor cantidad debido a que se encuentran estandarizados los comportamientos y fisiología reproductiva, además el consumidor prefiere la cachama blanca en referencia a la cachama negra (Fedeacua, 2015).

Por su parte, Fedeacua (2015) asegura que a pesar de que la especie tiene grandes oportunidades para consumo interno y externo, es necesario articular la cade-

na productiva y estandarizar los procesos que devenguen en el conocimiento y desarrollo de la especie.

Actualmente, las investigaciones se centran en la producción y suplementación alimenticia de la especie (Apeña y Rodríguez, 2018; Castillo-Quispe *et al.*, 2018; Sánchez *et al.*, 2022; Rodríguez y Landinez, 2018; Vásquez, 2021). A nivel fisiológico, se han llevado a cabo varios estudios que investigan los microorganismos y bacterias presentes en el tracto digestivo (Castañeda *et al.*, 2019; Cuadros *et al.*, 2021; Puello-Caballero *et al.*, 2018); también, hay información relacionada con la reproducción y mejora genética de ciertas características (Mesa-Granda y Botero-Aguirre, 2007; Bernal *et al.*, 2019; Escobar *et al.*, 2022); en referencia a la sostenibilidad autores como Bilal *et al.*, 2023; Devi *et al.*, 2020; y Garcés, 2021; han realizado estudios sobre el impacto ambiental, uso de subproductos y presencia de microplásticos en *Piaractus brachypomus*.

Sin embargo, en Colombia los estudios acerca de esta especie son escasos en materia de transformación, además de que no se han evaluado los rendimientos en la talla comercial ni se han propuesto alternativas de transformación para generar valor agregado en la especie. Debido a esto, el objetivo del manuscrito fue evaluar cuáles son los rendimientos en la comercialización convencional de cachama denominada platera (Fedeacua, 2015), asimismo, determinar el contenido nutricional que permita establecer si existen diferencias en dos tallas comerciales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio: la muestra se obtuvo en una finca piscícola ubicada en el departamento del Meta, en la vía Villa-vicencio-Puerto López, con coordenadas 3°56'10.4"N 73°05'36.7"W. Esta región fue elegida debido a que presenta una de las mayores producciones de la especie en Colombia y sus características son óptimas para la producción.

Recolección de la muestra: los animales fueron alimentados con concentrado comercial y fueron cultivados en estanques de tierra previamente fertilizados. Se cosecharon 92 animales de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), los cuales fueron cosechados aleatoriamente de varios estanques que presentaron ambientes similares, se consideró que fueran de la misma edad; luego, se insensibilizaron mediante un choque térmico en agua con hielo, cuya temperatura máxima fue de 5°C (Gonzales, 2013), después fueron sacrificados, eviscerados y pesados; seguidamente, se pesaron las vísceras, se determinaron las pérdidas del 12% de peso vivo; posterior a esto, los pescados se transportaron en cajas térmicas con hielo hasta el laboratorio de Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos -ICTA.

Obtención del filete: basados en la comercialización bajo el nombre de cachama platera (Fedeacua, 2015) y formas de

consumo en los mercados locales, fueron pesadas las muestras, dividiéndose en dos rangos de peso ($M1=210,7$ a $405,6$ g, 47 individuos; y $M2=405,7$ a 600 g, 45 individuos). A continuación, en cada etapa de forma individual, se pesó el pescado en el descamado, en el corte de las aletas: adiposa, anal, dorsal, pélvicas y pectorales; luego, se retiró la cola y la cabeza, ejecutando un corte en sentido dorso ventral cerca al opérculo; por último, la piel, costillas y columna vertebral (espinazo) son retiradas para obtener el filete.

Evaluación del rendimiento en canal y filete: se registraron los pesos de cada ejemplar para estimar los rendimientos, adecuando los índices evaluados por Cirne *et al.*, (2019); García y Maciel (2021); Mora (2005); Silva y Honorato (2013), para cachama blanca y pacú (*Piaractus mesopotamicus*). Se determinó el peso del tronco, filete, los residuos, y a partir de ello, se calculó el rendimiento en canal, filete y residuos.

Análisis proximal: por cada grupo $M1$ y $M2$, se seleccionaron al azar tres muestras. Se realizó un análisis proximal para determinar la humedad utilizando la metodología de secado en estufa a 105°C hasta normalizar y contar con un peso estable, la proteína, extracto etéreo y cenizas (AOAC, 2010).

Evaluación fisicoquímica del filete.

Medición de pH: se empleó agua destilada, añadiéndose parte del filete en una proporción 1:5. Se evaluó la lectura del electrodo del pH metro en cada uno de los grupos. El pH metro fue calibrado previamente (NTC, 2015).

Medición actividad agua: se empleó la metodología de Abbey et al., (2017), teniendo en cuenta la normatividad colombiana (INVIMA,2017). Se colocaron 7g de muestra en el envase del equipo HygroLab C1 (Rotronic Instrument Corp, NY, USA).

Determinación de bases nitrogenadas totales: las bases nitrogenadas volátiles totales (BNVT) se evaluaron según la metodología de Cicero et al., (2014) y la normatividad colombiana (Ministerio de Salud y Protección Social, 2012; NTC, 2016).

Evaluación instrumental del color del filete: se empleó un colorímetro HunterLab

Ultra Scan XE (Hunter Associates Laboratory, Inc. Reston, VA, USA), utilizando el espacio de color CIELAB (D65, 10°) modo SCI (Reflectancia Especular Incluida), colocando una rejilla de 1 pulgada de diámetro para analizar las muestras. Se evaluó la luminosidad ($*L$), el croma (C^*) y tono (oh), con base en las coordenadas rojo/verde (a^*) y amarillo/azul (b^*) (Costa et al., 2016; Cassens et al., 1995).

Análisis estadístico: los datos fueron procesados a partir de la validación de los supuestos de homogeneidad de varianzas por medio del test de Levene para comprobar la homocedasticidad considerando $p \leq 0,05$. La distribución normal de los datos fue comprobada (test de kolmogorov-smirnov), y se realizó una prueba T-Student para comparar los grupos y verificar si existían diferencias significativas. Se utilizó el software estadístico Statgraphics Centurion XVI (Statistical Graphics Corp, The Plains, VA,USA).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados promedio obtenidos para los

dos grupos en las variables de rendimiento (Tabla 1).

Tabla 1. Promedios y desviación estándar de parámetros de rendimiento para dos grupos de peso de cachama blanca.

Grupo de peso	Peso eviscerado (g ± SD)	Peso tronco (g ± SD)	Peso filete (g ± SD)	Residuos (g ± SD)	Rendimientos		
					Canal	Filete	Residuos
					%RC	%RFi	%R
M1	331,3±60,08 ^a	246,6±44, 71 ^a	152,9±27,72 ^a	178,4±32,35 ^a	74,42±0,74	46,15±0,48	53,85±0,34
M2	485,8± 52,91 ^b	361,5±39,38 ^b	247,4±26,96 ^b	238,2±25,95 ^b	74,43±0,84	50,95±0,6	49,05±0,47

%RC: rendimiento en canal; % RFi: rendimiento del filete; %R: rendimiento en residuos. Cada valor representa la media aritmética ± y la desviación estándar (SD). Letras diferentes dentro de una columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$). **Fuente:** autores.

En la Tabla 1, se observan las variables de medición para determinar los rendimientos. Respecto al rendimiento en canal, se entiende que está conformada por el tronco del animal y se excluyen las vísceras, la cabeza, las aletas, la cola y las escamas, conservando únicamente la piel. Evidentemente, los dos grupos presentaron diferencias significativas en cada uno de los rendimientos.

Por otro lado, para determinar el rendimiento en filete se tuvieron en cuenta el peso de la piel, las vértebras caudales y torácicas, sustrayendo el peso del filete. El cálculo de los residuos fue determinado con base en las aletas, escamas, cola, cabeza, piel y espinazo. De igual forma, se pesaron las vísceras y se determinaron las pérdidas del 12% de peso vivo para ambos grupos.

Mora (2005), evaluó estas características en tallas desde 400g a 1600g, encontrando el mejor rendimiento en canal en peces de 800g a 1200g (65,7%); para el caso de

las tallas de 400g a 600g, se presentó un rendimiento apenas del 55%. Estas diferencias se presentaron porque la forma de corte podría ser distinta a la descrita. Por otro lado, Abad *et al.* (2014), utilizaron tres rangos de peso para evaluar los rendimientos de cachama blanca, obteniendo resultados de rendimiento en canal del 87%; de igual manera, Bernal-Buitrago *et al.*, (2019), hallaron rendimientos en canal del 89% para pesos promedio de 376g; el resultado incluye el pescado entero sin vísceras, debido a esto, el rendimiento es mayor. Estas estimaciones se hicieron para cachama blanca.

Adicionalmente, Moraes (2015), determinó un rendimiento en canal semejante al presentado en este estudio, 72,2%, sin embargo, la especie evaluada fue cachama negra (*Colossoma macropomum*) con un peso vivo promedio de 425g. Cifras un poco menores son presentados por Perdomo *et al.*, (2017), quién estimó un rendimiento en canal del 64,9% para la misma especie con un peso vivo en promedio de 765g.

Las diferencias entre estas dos variedades se originan por las proporciones del tamaño de la cabeza y la cavidad abdominal; también, la dieta está directamente relacionada con estos rendimientos (Chaverra *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2016; Tumbaco, 2020).

En relación con el filete, Ribeiro *et al.*, (2019) aseguran que no existe correlación entre de filete y canal en relación con las tallas y medidas morfométricas. A pesar de esta afirmación, el grupo M2 obtuvo el mayor rendimiento (50,9%) en comparación con el grupo de menor talla, validando que las tallas sí influyen en el rendimiento, en filete y canal; por su parte, Bernal-Buitrago *et al.*, (2019), consiguieron un resultado del 32%, correspondiente al filete, considerando como divisor el cuerpo del animal sin eviscerar; en caso distinto, Perdomo *et al.*, (2017), obtuvieron un rendimiento del 45,3% para pesos frescos de 385g de cachama negra eviscerada; otros autores reportan rendimientos en filete que oscilan de 39,5% a 43,8% dependiendo de la subfamilia (Gomes, 2009; Rodríguez, 2015). Estas diferencias se presentan debido a que aspectos cómo: la ali-

mentación, la densidad en el cultivo y los tipos de cortes que se realizan durante la etapa post-mortem, contribuyan al peso final del filete. (Lima y Monteiro, 2021).

Referente a la cantidad de residuos, el grupo M1 presentó un valor superior (53,9%), constituido por el peso de la cabeza, aletas, cola, piel, escamas y espinalzo, en comparación con el grupo M2. Esto afirma que el rendimiento del filete es inversamente proporcional a la cantidad de residuos. Otros autores hallaron rendimientos inferiores para la cachama negra, como Cavali *et al.*, (2021), que encontraron un rendimiento del 51,1%; Lima y Monteiro (2021) evaluaron un rendimiento de 43,2%; y Perdomo *et al.*, (2017), estimaron un rendimiento en residuos de 44,7% para cachama negra respectivamente.

Evaluación proximal y análisis fisicoquímico

Luego de valorar las medidas y rendimientos, se evaluaron las características fisicoquímicas para los dos grupos, los cuales solo presentaron diferencias significativas en un parámetro (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis proximal y fisicoquímico de filete de pescado y su efecto en dos grupos de peso.

Parámetro	M1	M2	P-value
Humedad (%)	75,23±0,94 ^a	75,35±0,25 ^a	0,84
Proteína (%)	18,79±0,23 ^a	19,20±0,34 ^a	0,15
Lípidos (%)	4,5±0,19 ^a	4,13±0,11 ^b	0,04
Cenizas (%)	1,12 ±0,14 ^a	1,11±0,08 ^a	0,92

Carbohidratos (%)	0,36±1,08 ^a	0,21±0,21 ^a	0,82
pH	6,55±0,06 ^a	6,55±0,04 ^a	0,973
Aw	0,98±0,007 ^a	0,99±0,006 ^a	0,11
BNVT (mg N/100 g de muestra)	18,4±0,36 ^a	17,81±0,22 ^a	0,075

Aw: actividad de agua; BNVT: Bases nitrogenadas volátiles. Cada valor representa la media aritmética ± y la desviación estándar (SD). Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas ($P<0,05$). **Fuente:** autores.

El porcentaje de humedad para las dos tallas de cachama blanca no presentan diferencias significativas entre los grupos, los filetes obtuvieron un 75% de humedad ratificando los valores que presentan autores como Alzate (2017), con un 74,9% de humedad en filete; Bernal-Buitrago *et al.*, (2019), identificaron un 79% en animales cultivados con pesos finales de 386g. Para la especie *Piaractus mesopotamicus*, Hisano *et al.*, (2016) consiguieron medir el porcentaje de humedad en filete arrojando valores de 75%, y Gomes (2009) evaluó la carne de cachama negra que expresó un porcentaje de humedad del 75% respectivamente.

En contraste, se encontraron diferencias significativas en los valores relacionados con el porcentaje de extracto etéreo. Según Franco de Lima *et al.* (2018), se pueden observar diferencias dependiendo de la región de donde se tome la muestra, ya sea de la costilla o el lomo, con valores que oscilan entre el 2,0% al 5,7%. Otros autores han señalado un porcentaje de extracto etéreo para la cachama blanca que varía entre el 5% y el 5,8% (Bombardelli et

al., 2005). Sin embargo, Alzate (2017) determinó un contenido de extracto etéreo del 2,3% para tres tallas comerciales de cachama blanca evaluadas.

Por otro lado, Cuervo (2014) llegó a la conclusión de que la cachama blanca puede presentar un rango que va desde 0,96% hasta 8,16% de contenido de extracto etéreo, dependiendo de las alternativas alimenticias, las condiciones ambientales y el tipo de estanque, los cuales son factores determinantes para obtener una cantidad adecuada de lípidos. Finalmente, estas variaciones están relacionadas con las capacidades metabólicas, el uso de energía en las actividades fisiológicas y la eficiencia en la utilización de las proteínas, entre otros factores (Ribeiro *et al.*, 2016).

El contenido de proteína está directamente influenciado por la dieta suministrada (Boscolo, 2010). Alzate (2017), Bernal-Buitrago *et al.* (2019) y Gomes (2009) encontraron valores de contenido proteico en el filete de cachama blanca de 18,5%, 18,6% y 19,7%, respectivamente. En cuanto al contenido de cenizas, no se observaron diferencias significativas, encontrán-

se estas dentro del rango reportado por otros autores, como Alzate (2017), Gomes (2009) e Hisano *et al.*, (2016).

En términos de pH, no se observaron diferencias significativas en el grado de determinación de acidez. Según Ndraha (2017), esta medida está relacionada con el contenido de glucógeno muscular, los procesos *mortem* y *post mortem*, la transformación en ácido láctico y su posterior almacenamiento, lo cual puede influir en la actividad bacteriana, generando cambios sensoriales en el pescado como la apariencia, textura, color y sabor. Ritter *et al.*, (2016), Araújo *et al.* (2016) y Rodríguez (2015) evaluaron el pH de la cachama negra, cachama blanca y su híbrido, obteniendo valores de 6,5; 6,5 y 6,3, en cada uno de ellos.

Por su parte, la actividad de agua del filete de cachama blanca es cercano a 1. Estos valores son similares a los encontrados por Garbelini (2013), quien informó una Aw de 0,94 a 0,95 para la Carne Mecánicamente Separada (CMS) del pacú; para pescados recién beneficiados, se han re-

gistrado valores de 0,994 y 0,95 (Abbas *et al.*, 2009 y Tamarit, 2014).

Según la reglamentación NTC (2022), los valores de bases nitrogenadas volátiles para el pescado, deben estar alrededor de 70mg/100g. Otros organismos como Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento do Brasil y la comisión europea, sugieren límites para esta medida entre 30mg/100g y 35mg/100g para productos pesqueros (Ministério da Agricultura pecuária e abastecimento do Brasil (2017) y (European Comission, 1995). Ndraha, (2017); clasifica un pescado de alta calidad cuando los valores de BNVT se sitúan por debajo de 25mg/100g, y de buena calidad cuando se encuentran alrededor de 30mg/100g. De acuerdo con esta información los filetes de cachama blanca cumplen con todos los parámetros de calidad, y se demuestra que el sacrificio empleando choque térmico contribuye a una disminución en este indicador (Estrella, 2022).

En la Tabla 3, se presenta la determinación del color para el filete obtenido en cada grupo de peso:

Tabla 3. Determinación del color de filete para dos grupos de cachama blanca.

Variable	M1	M2	P value
L*	59,53±1,28 ^a	58,40±1,31 ^a	0,068
a*	4,86±0,61 ^a	5,16±0,42 ^a	0,158
b*	14,93±0,39 ^a	15,47±0,90 ^a	0,10
C*	15,71±0,50 ^a	16,31±0,86 ^a	0,08
h°	71,49±1,86 ^a	72,00±1,18 ^a	0,46

Cada valor representa la media aritmética ± y la desviación estándar (SD). Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas(P<0,05). Fuente: autores.

El color de la carne de pescado es un parámetro de calidad clave para la aceptación del consumidor. Un color homogéneo se considera un indicador de frescura y alta calidad del producto, lo cual influye en su aceptabilidad (Sánchez-Zapata *et al.*, 2008).

Después de realizar las mediciones de las coordenadas de color, no se encontraron diferencias significativas en la luminosidad (L^*) entre los grupos. Sin embargo, Hisano *et al.* (2016) obtuvieron valores entre 48 y 54 para la especie *Piaractus mesopotamicus*. Estas variaciones están relacionadas con la cantidad de mioglobina y hemopigmentos característicos de cada especie (Sánchez *et al.*, 2010); las diferencias también pueden atribuirse a la estructura muscular, el tamaño y la cantidad de fibras musculares, donde fibras con mayor diámetro dispersan la luz y resultan en una carne más pálida (Bugeon *et al.*, 2010). Asimismo, entre mayor sea la coordenada L^* , podrían atribuirse colores pálidos relacionándolos con la cantidad de fibras musculares blancas (Hisano *et al.*, 2016).

En lo que respecta a la coordenada a^* , la cual está relacionada con el color rojo de la carne, no se encontró diferencia entre los grupos M1 y M2. Esta coordenada está influenciada por la cantidad de proteínas del grupo heme, presentes en cada músculo (Hematyar *et al.*, 2018). Por otro lado, Sánchez *et al.*, (2010) sugieren que las variaciones en esta coordenada podrían atribuirse a las diferentes formas de mioglobina muscular, como desoximoglobina, oximoglobina y metamioglobina, así como a otros pigmentos suministrados a través de la dieta y su concentración en el músculo.

En relación con la coordenada b^* , los valores obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Hisano *et al.* (2016), quienes encontraron valores de 12,57 y 14,25 para la coordenada b^* en el filete de pacú. El valor de esta coordenada está relacionado con la proporción de grasa en la especie, lo cual podría implicar un aumento en la coordenada a lo largo del tiempo (Watterskog y Undeland, 2004).

4. CONCLUSIONES

El grupo M2 exhibió los mayores rendimientos tanto en la canal como en el filete. Sin embargo, el grupo M1 registró una mayor cantidad de residuos, que incluyen la cabeza, cola, aletas, piel, y el espinazo compuesto por los músculos abdominales ventrales junto con la columna vertebral. Estos datos son re-

levantes para determinar la talla comercial adecuada para obtener productos de valor a partir de la cachama. Además, se considera que el proceso manual de obtención podría ser reemplazado por un proceso tecnificado para la producción de filetes. Este producto cumple con la normativa actual y no contiene espinas.

En cuanto a los análisis fisicoquímicos, no se encontraron diferencias significativas, excepto en el contenido de lípidos, lo que sugiere que esta variación podría estar in-

fluenciada por factores como la composición de la dieta, las prácticas de cultivo y la edad de los animales.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, por permitir el desarrollo de las actividades ejecutadas. Asimismo, los recursos para desarrollar la investigación se obtuvieron

a través del convenio 0567-2015, y la convocatoria nacional de proyectos para el fortalecimiento de la investigación, creación e innovación de la Universidad Nacional de Colombia 2016-2018.

LITERATURA CITADA

Abad, D., Rincón, D., y Poleo, G. (2014). Índices de rendimiento corporal en morocoto *Piaractus brachypomus* cultivado en sistemas Biofloc. *Zootecnia tropical*, 32(2).

Abbas, K., Saleh, A., Mohamed, A., and Lasekan, O. (2009) The relationship between water activity and fish spoilage during cold storage: A review. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(3,4), 86-90.

Abbey, L., Glover-Amengor, M., Atikpo, M., Atter, A., and Topper, J. (2017). Nutrient content of fish powder from low value fish and fish byproducts. *Food Science & Nutrition*, 5(3), 1-6. <https://doi.org/10.1002/fsn3.402>

Alzate, H. (2017). *Efecto de la fuente proteica del alimento sobre la calidad de la carne de la cachama blanca Piaractus brachypomus en un sistema de tecnología biofloc*. [Tesis Magister en Ciencias Agrarias]. Departamento de producción animal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Apeña, A. I., y Rodríguez, C. D. P. (2019). *Efecto de la sustitución parcial de harina de pescado por harina de torta de Plukennetia volubilis "sacha inchi" en dietas, en el crecimiento y supervivencia de alevines de Piaractus brachypomus "paco", en laboratorio*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Santa.

Araújo W, De Lima C, Joele R, Lourenço L. (2016). Development and application of the quality index method (QIM)

for farmed tambaqui (*Colossoma macropomum*) stored under refrigeration. *Journal of Food Safety*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1111/jfs.12288>

Association of Official Analytical Chemists. [AOAC]. (2010). Official Methods of Analysis. [18. ed.]. Author.

Bernal-Buitrago, G. F., Valderrama, J. A., Monroy-Suárez, D., Manrique-Perdomo, C. y Medina-Robles, V. M. (2019). Parámetros genéticos para características de crecimiento, canal, calidad y espinas intramusculares en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1182>

Bilal, M., Ul Hassan, H., Siddique, M. A. M., Khan, W., Gabol, K., Ullah, I., Sultana, S., Abdali, U., Mahboob, S., Khan, M. S., Atique, U., Khubaib, M. y Arai, T. (2023). Microplastics in the Surface Water and Gastrointestinal Tract of *Salmo trutta* from the Mahodand Lake, Kalam Swat in Pakistan. *Toxics*, 11(1), 3. <https://doi.org/10.3390/toxics11010003>

Bombardelli, R. A., Syperreck, M. A., Sanches, E. A. (2005). Situação atual e perspectivas para o consumo, processamento e agregação de valor ao pescado. *Arquivos de ciências veterinárias e zoologia da UNIPAR*, 8(2).

Bonilla, S. y De la Pava, M. (2013). *Desarrollo de estrategias para el incremento de consumo de pescados y mariscos provenientes de la acuicultura de Colombia, como alternativa viable de comercialización en el mercado doméstico*. AUNAP.

Boscolo, W., Reidel, A., Feiden, A., Signor, A., Losh, J., Lorenz, E., y Neto, M. (2006). Rendimento corporal do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) cultivados em tanques-rede no reservatório de Itaipu, alimentados com diferentes níveis de proteína bruta. In *Primer Simpósio nacional de Engenharia de Pesca* (pp. 1-5). Paraná, Brasil.

Bugeon, J., Lefevre, F., Cardinal, M., Uyanik, A., Davenel, A. and Haffray, P. (2010). Flesh quality in large rainbow trout with high or low fillet yield. *Journal of Muscle Foods*, 21, 702-721. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2010.00214.x>

Castañeda-Monsalve, V. A., Junca, H., García-Bonilla, E., Montoya-Campuzano, O. I., and, Moreno-Herrera, C. X. (2019). Characterization of the gastrointestinal bacterial microbiome of farmed juvenile and adult white Cachama (*Piaractus brachypomus*). *Aquaculture*, 512, 734325. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734325>

Castillo-Quispe, S., Castillo-Quispe, H., Giraldo-Ríos. E., Díaz-Viteri. J. E., Cháñi-Paucar, L. O. y Muñoz-Berrocal, M. H. (2018). Efecto de dietas balanceadas con harina de semillas de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) en el crecimiento de Paco (*Piaractus brachypomus* Cuvier). *Livestock Research for Rural Development*, 30(17).

Cassens, R., Demeyer, D., Eikelenboom, G., Honikel, K., Johansson, G., and, Nielsen, T. (1995). Recommendation of reference method for assessment of

meat color. In *Proceedings of 41st International Congress of Meat Science and Technology* (pp. 410-411). San Antonio, USA.

Cavali, J., Nóbrega, B. A., Dantas Filho, J. V., Ferreira, E., Porto, M. O., Pontuschka, R. B., Fonseca de Freitas, R. T. (2021). Morphometric Evaluations and Yields from Commercial Cuts of Black Pacu *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) in Different Body Weights. *The Scientific World Journal*, 2021, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/3305286>

Chaverra, S. C., García, J. J., and Pardo, S. C. (2017). Biofloc effect on juveniles Cachama Blanca *Piaractus brachypomus* growth parameters. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 12(3), 170-180. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.12.3.1>

Cicero L, Furlan E, Yomita R, Prisco R, Savoy V, Neiva C. (2014). Estudo das metodologias de destilação na quantificação do Nitrogênio das Bases Voláteis Totais em pescada, tilápia e camarão. *Brazilian Journal of Food Technology*. 17(3), 192-197. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.5713>

Cirne, L. G., Souza, W., Brito, P., Souza, J., Feltran, R., Santos, M., Andrade, E., Silva, A. J., Jesus, R. e Pereira, S.L.A. (2019). Qualidade da carne de tambaqui abatido com diferentes classes de pesos. *Boletim De Indústria Animal*, 76, 1-7. <https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1459>

Costa, J., Nogueira, R., Freitassá, D. e Freitas, S. (2016). Utilização de carne

mecanicamente separada (CMS) de tilápia na elaboração de farinha com alto valor nutricional. *Boletin Instituto de Pesca*, 42(3), 548-565. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2016v42n3p548>

Cuadros, R. C., Rivadeneyra, N. L., Flores-Gonzales, A., Mertins, O., Malta, J. C., Serrano-Martínez, M. E., and Matthews, P. D. (2021). Intestinal histological alterations in farmed red-bellied pacu *Piaractus brachypomus* (Characiformes: Serrasalmidae) heavily infected by roundworms. *Aquaculture International*, 29(3), 989-998. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00670-0>

Cuervo, L.I. (2014). *Perfil de ácidos grasos en algunas especies dulceacuícolas de interés comercial en Colombia, estado del conocimiento y perspectivas*. [Tesis pregrado]. Universidad de la Salle.

Cruz, C., Medina, V., and Velasco Y. (2011). Fish farming of native species in Colombia: current situation and perspectives. *Aquaculture Research*, 42, 823-831. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02855.x>

Devi, S. S., Sreedevi, A. V., and Kumar, A. B. (2020). First report of microplastic ingestion by the alien fish Pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) in the Ramsar site Vembanad Lake, south India. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111637. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111637>

Escobar, L., Ota, R. P., Machado□Allison, A., Andrade□López, J., Farias, I. P., and Hrbek, T. (2019). A new species of

Piaractus (Characiformes: *Serrasalmidae*) from the Orinoco Basin with a redescription of *Piaractus brachypomus*. *Journal of Fish Biology*, 95(2), 411-427. <https://doi.org/10.1111/jfb.13990>

Escobar, L., Farias, I. P. and Hrbek, T. (2022). Genetic comparison of populations of *Piaractus brachypomus* and *P. orinoquensis* (Characiformes: *Serrasalmidae*) of the Amazon and Orinoco basins. *Neotropical Ichthyology*, 20(3). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2022-0056>

Estrella, M. (2022). Cambios post mortem en la calidad de carne de peces amazónicos de las especies *Piaractus brachypomus*, *Arapaima gigas*, *Brycon amazonicus*, *Pseudoplatystoma punctifer* y *Colossoma macropomum*. Revisión bibliográfica. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 89-108. <https://doi.org/10.23850/24220582.4635>

European Commission. (1995). *Commission Decision on Fixing the Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) Limit Values for Certain Categories of Fishery Products and Specifying the Analysis Methods to Be Used*. 1995. Off. J. Eur. Communities. Author.

Federación Colombiana de Acuicultores. [Fedeacua]. (2015). *Plan de negocios sectorial de la piscicultura colombiana*. Fedeacua. https://fedeacua.org/files/plannegociopiscicola2015_1.pdf

Franco de Lima, L.K., dos Santos, S., dos Santos V., Bem Luiz, D. e Gaberz P. (2018). Rendimento e composição centesimal do tambaqui (*Colossoma*

macropomum) por diferentes cortes e categorias de peso. *Revista brasileira de higiene e Sanidade Animal*, 12(2), 223-235. <https://doi.org/10.5935/1981-2965.20180022>

Garbelini J. (2013). *Aditivos na conservação de CMS e estabilidade de empandas de pacu de tanques-rede do Pantanal*. Tese Mestrado em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca. Centro de Engenharias e Ciencias Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Garcés, Y. J., Perea, C., Vivas, N. J. y Hoyos, J. L. (2021). Obtención y evaluación de concentrado proteico hidrolizado de residuos animales como alternativa de alimentación en *Piaractus brachypomus* (Cuvier 1818). *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 68(3), 223-235. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n3.99930>

García, A. M. L., & Maciel, H. (2021). Tambaqui yield in different filleting methods | Research, Society and Development, 10(4). <https://doi.org/10.33448/rsd-v10j4.13849>

Gomes, P. (2009). *Desempenho do tambaqui (*Colossoma macropomum*), da pira-pitinga (*Piaractus brachypomus*), e do híbrido tambatinga (*C. macropomum x P. brachypomum*) mantidos em viveiros fertilizados na fase de engorda*. [Tese Mestrado em Ciência Animal]. Universidade Federal de Goiás.

Gonzales, A. (2013). Nuevas técnicas de aturdimiento y sacrificio en la acuicultura. Caso práctico en lubina (*Dip-*

centrarchus labrax). <http://hdl.handle.net/10553/9924>

Hematyar, N., Masliko, J., Mraz, J. and Sampels, S. (2018). Nutritional quality, oxidation, and sensory parameters in fillets of common carp (*Cyprinus carpio L.*) influenced by frozen storage (-20°C). *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(5), 1-13. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13589>

Hisano, H., Pilecco, J. e Ferreira de Lara, J. (2016). Corn gluten meal in pacu *Piaractus mesopotamicus* diets: effects on growth, haematology, and meat quality. *Aquacult Int*, 24, 1049-1060. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-9970-7>

Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. [INVIMA]. (2017). *Plan de control oficial en productos de la pesca para la exportación a la unión europea*. Dirección de alimentos y bebidas. INVIMA.

Lima, A. M. y Monteiro, H. (2021). Rendimento de tambaqui em diferentes métodos de filetagem. *Research, Society and Development*, 10(4). <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13849>

Mesa-Granda, M. N. y Botero-Aguirre, M. C. (2007). La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(1), 79-86.

Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento do Brasil. (2017). *Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produ-*

tos de origem animal (RIISPOA). Pescados e derivados. Decreto no. 9013 de 2017.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. [MADR]. (2019). *Acuicultura. Sistema de información y gestión y desempeño de organizaciones de cadenas*. Autor. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Pages/default.aspx>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). *Resolución 122 de 2012. Por la cual se modifica parcialmente la resolución 776 de 2008*. Autor. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0122-de-2012.pdf>

Mora, J. (2005). Rendimiento de la canal en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y el híbrido *Colossoma macropomum* x *P. brachypomus*. Procesamiento primario y productos con valor agregado. *Revista Bioagro*, 17(3), 161-169.

Moraes, C. R. (2015). *Avaliação do rendimento de carcaça e resíduos de tambaqui alimentados sob crescentes níveis de proteína, cultivados em tanques-rede*. [Tese graduação]. Fundação Universidade Federal de Rondônia.

Ndraha N. (2017). Fish Quality Evaluation Using Quality Index Method (QIM), Correlating with Physical, Chemical and Bacteriological Changes During the Ice-Storage Period: A Review. A. Isnansetyo, and T. Nuringtyas (Eds.), *Proceeding of the 1st International Conference on Tropical Agriculture* (pp. 185-196) . Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-60363_18

Norma Técnica Colombiana. [NTC]. (2022). *Productos provenientes de la acuicultura. Buenas prácticas de proceso, transporte y comercialización de las especies cachama, mojarra - tilapia y trucha.* NTC 5443.

Norma Técnica Colombiana. [NTC]. (2016). *Productos de la pesca y la acuicultura. Pescado entero, medallones, filetes y trozos (refrigerados o congelados).* NTC 1443.

Norma Técnica Colombiana. [NTC]. (2015). *Productos alimenticios. Métodos de ensayo.* NTC 440.

Perdomo, D., Castellanos, K., Maffei, M., Gechele-Ramírez, J., Corredor, Z., Piña, J., Martínez, M. y Naranjo, A.(2017). Comparación morfométrica y de los rendimientos cárnicos de dos especies piscícolas continentales criadas en el estado Trujillo, Venezuela. *Revista Academia*, 16(37), 83-95.

Puello-Caballero, L. P., Montoya-Campuzano, O. I., Castañeda-Monsalve, V. A., Moreno-Murillo, L. M. (2018). Caracterización de la microbiota presente en el intestino de *Piaractus brachypomus* (Cachamablanca). *Revista de Salud Animal*, 40(2).

Ribeiro, F., Freitas, P., Dos Santos, E., De Sousa, R., Carvalho, T., De Almeida, E., Dos Santos, T. e Costa, A. (2016). Alimentação e nutrição de Pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Revisão. Publicações Em Medicina Veterinária e*

Zootecnia, 10(12), 873-882. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n12.873-882>

Ribeiro, F.M., Lima, M., Tataíra, P.A., Machado, D., Carvalho, T., de Souza, T., Bothelo, H., Fonseca, F., Carvalho, C. (2019). Associations between morphometric variables and weight and yields carcass in Pirapitinga *Piaractus brachypomus*. *Aquaculture research* 50(7), 2004-2011. <https://doi.org/10.1111/are.14099>

Ritter, D. O., Lanzarin, M., Novaes, S. F., Monteiro, M. L. G., Almeida Filho, E. S., Mársico, E. T., & Freitas, M. Q. (2016). Quality Index Method (QIM) for gutted ice-stored hybrid tambatinga (*Colossoma macropomum* × *Piaractus brachypomum*) and study of shelf life. *LWT-Food Science and Technology*, 67, 55-61. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.041>

Rodríguez P. (2015). *Aplicación de Recubrimiento Comestible Adicionado con Extractos Etanólicos de Propóleo y Aceites Esenciales a un producto cárneo tipo "Luncheon fish".* [Tesis Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia.

Rodríguez, L. y Landines-Parra, M. A. (2018). Desempeño productivo y fisiológico de juveniles de *Piaractus brachypomus* sometidos a restricción de alimento. *Orinoquia*, 22(1), 57-67. <https://doi.org/10.22579/20112629.480>

Sánchez, E., Sáez, S., Fuentes, E., Martín, A., Barber, X., Fernández, J. y Pérez, J.

(2010). Estudio descriptivo de los espectros de reflexión y de las coordenadas de color de Merluza (*Merluccius australis*), Salmón (*Salmo salar*) y músculo claro y oscuro de Atún (*Thunnus thynnus*). (pp. 375-378). En, IX Congreso Nacional del Color Alicante. Universidad de Alicante

Sánchez, A. J. L., Tigrero, C. K. T., Alarcón, M. E. Z., Coox, D. A. C. (2022). Evaluación del crecimiento de "Piaractus brachypomus" en dos sistemas de producción complementando la alimentación con harina de soya, maíz hidropónico y su análisis sensorial. *RECIAMUC*, 6(1), 15-24. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(1\).enero.2022.15-24](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(1).enero.2022.15-24)

Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., Sayas, E., Sendra, E., Navarro, C. y Pérez-Álvarez, J. A. (2008). Estudio orientativo para la caracterización colorimétrica de distintos productos de pescado ahumados y seco-salados presentes en el mercado español. *Óptica Pura y Aplicada*, 41(3), 273-279.

Silva, E. e Honorato, C. (2013). Tecnologia de processamento de salga úmida e salga seca de filé com e sem pele de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Nucleus Animalium*, 5(1), <https://doi.org/10.3738/1982.2278.823>

Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organización de Cadena. [SIOC]. (2021). *Acuicultura en*

Colombia, cadena de la acuicultura. Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas. Autor. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Tamarit A. (2014). *Evaluación de la calidad y vida útil de bacalao ahumado obtenido por un nuevo método*. [Tesis Máster Universitario en Gestión y Seguridad Alimentaria.]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia.

Tumbaco, C. (2020). *Evaluación del crecimiento de "Piaractus brachypomus" en dos sistemas de producción complementando la alimentación con soya hidropónica*. [Tesis de pregrado]. Universidad de Guayaquil.

Vásquez, W. L. (2021). *Efecto de diferentes fuentes lipídicas en el alimento, sobre el perfil de ácidos grasos en filete de Paco (*Piaractus brachypomus*)*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Wetterskog, D. and Undeland, I. (2004). Loss of Redness (a^*) as a Tool To Follow Hemoglobin-Mediated Lipid Oxidation in Washed Cod Mince. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(24), 7214-7221. <https://doi.org/10.1021/jf037907>



■ Conflicto de intereses

*Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses.*



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 31-01-2023
Fecha de aceptado: 22-05-2023
DOI: 10.22490/21456453.6627

PRODUCTIVIDAD Y ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE METANO EN VACAS DE LECHE EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON PAPA (*Solanum tuberosum*)

THE PRODUCTIVITY AND METHANE EMISSION ESTIMATION IN DAIRY COWS ON PASTURE SUPPLEMENTED WITH POTATO (*Solanum tuberosum*)

Duván Sanabria Bautista ¹

Román Maza Ortega ²

Juan Leonardo Cardona Iglesias ³

Viviana Lucia Cuarán ⁴

¹ Zoot, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
duvan.sanabria@unipamplona.edu.co

² MVZ., Ph.D. en Zootecnia, Universidad de Pamplona, Colombia.
roman.maza@unipamplona.edu.co

³ Zoot., MSc., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA,
Centro de Investigación La Suiza, Rionegro, Santander, Colombia.
jlcardona@agrosavia.co

⁴ Ing. Agrónoma, MSc., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA,
Centro de Investigación La Suiza, Rionegro, Santander, Colombia.
vcuaran@agrosavia.co

Citación: Sanabria, D., Maza, R., Cardona, J. y Cuarán, V. (2024). Productividad y estimación de la emisión de metano en vacas de leche en pastoreo suplementadas con papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 211-227
<https://doi.org/10.22490/21456453.6627>

RESUMEN

Contextualización: los sistemas de alimentación bovina deben enfocarse en propiciar el aumento de la productividad, generando la menor huella ambiental posible en los ecosistemas. Dentro de los sistemas ganaderos de trópico alto del departamento de Santander, Colombia, el uso de papa (*Solanum tuberosum*) de rechazo en la alimentación animal, podría ser una ruta de valorización sostenible de este producto.

Vacío de conocimiento: algunos estudios sobre la producción de leche bovina han demostrado efectos positivos de la suplementación con papa. Sin embargo, son escasos los estudios sobre el efecto de la suplementación con papa de desecho en la producción y composición de leche, así como su efecto sobre la producción de metano (CH_4) en vacas de leche.

Propósito: evaluar el efecto de la suplementación con papa variedad Única, sobre la producción y composición de la leche, y estimación de la producción de CH_4 de vacas de leche en pastoreo.

Metodología: fueron utilizadas 12 vacas Normando con peso corporal inicial promedio de 460 kg. Se empleó un diseño completamente al azar con dos trata-

mientos y seis repeticiones: control (sin suplementación) y suplementado (suplementación con 6 kg de papa por animal/día), esta cantidad se asumió teniendo en cuenta que garantizara un 20% de NDT y un 7% de proteína bruta. Los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el procedimiento GLM de SAS; la significancia estadística se consideró cuando $p \leq 0,05$.

Resultados y conclusiones: la suplementación con 6 kg de papa incrementó la producción de leche (PL kg/día) y PLG4% ($p < 0,05$) de los animales, no obstante, la suplementación no afectó ($p > 0,10$) la concentración de grasa, proteína, sólidos totales y MUN de la leche. Finalmente, la producción de CH_4 en g/kg de leche fue disminuida ($p < 0,05$) con la suplementación con papa. Concluyendo que, la suplementación con 6 kg de papa mejora la producción de leche, sin embargo, no afecta composición de la leche de las vacas en pastoreo. La suplementación con papa reduce la producción de CH_4 en g/kg de leche producida por los animales.

Palabras clave: emisión de metano, forraje tropical, papa de desecho, vacas Normando

ABSTRACT

Contextualization: Cattle feeding systems should focus on increasing productivity, generating the smallest possible environmental footprint on ecosystems. In the high tropic livestock systems of the department of Santander, Colombia, the use of rejected potatoes (*Solanum tuberosum*) in animal feed could be a route for the sustainable valorization of this product.

Knowledge gap: Some studies have shown the positive effects of potato supplementation on cow milk production. However, studies on the effect of supplementation with waste potato on milk production and composition are scarce, as well as its effect on methane (CH_4) production in dairy cows.

Purpose: To evaluate the effect of supplementation with Unica potato variety on milk production, milk composition, and estimated CH_4 production by dairy cows on pasture.

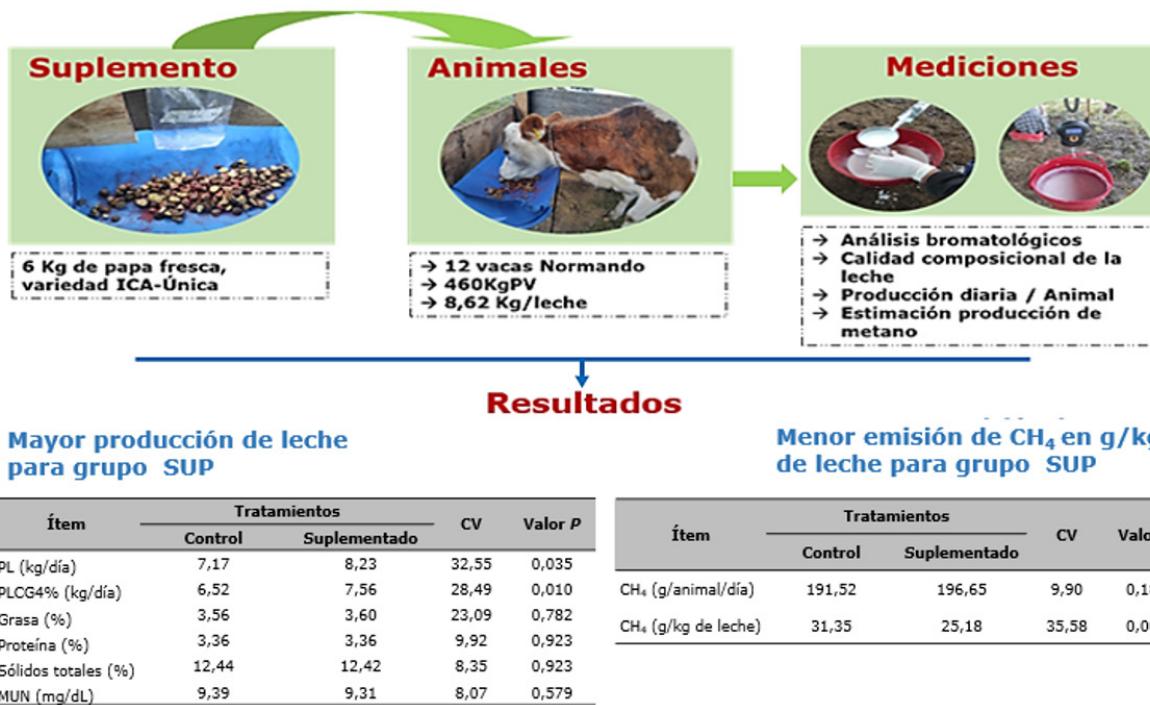
Methodology: 12 Normande cows with an average initial body weight of 460kg were used. A completely randomized design with two treatments and six replicates was used: Control (no supple-

mentation) and supplemented (supplementation with 6kg of potato per animal / day); this amount was established considering it to guarantee 20% TDN and 7% crude protein. Statistical procedures were performed using the GLM procedure of SAS. Statistical significance was considered when $p \leq 0.05$.

Results and conclusions: Supplementation with 6kg of potato increased milk production (PL for its Spanish acronym) (PL kg / day) and PLCG (for its Spanish acronym meaning general milk production) 4% ($p < 0.05$) of the animals. However, supplementation did not affect ($p > 0.10$) the milk fat, protein, total solids, and MUN concentration. Finally, the production of CH_4 in g/kg of milk decreased ($p < 0.05$) by supplementation with potato. In conclusion, supplementation with 6kg of potato improves milk production. Furthermore, it does not affect the milk composition of cows on pasture. The supplementation with potato reduces the CH_4 production in g/kg of milk produced by the animals.

Keywords: methane emission, tropical forage, waste potato, Normande cows

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

En el trópico alto colombiano, dos de las principales actividades económicas son el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en asocio con la ganadería de leche, de las cuales dependen muchos pequeños productores agropecuarios y sus familias (Moyano, 2014); sin embargo, factores como la fluctuación de los precios en el mercado, el tamaño del tubérculo o daños físicos que puedan sufrir a la hora de cosechar, ocasionan grandes pérdidas (alrededor del 14%) del tubérculo, lo que

genera grandes cantidades de “papa de desecho”. A este remanente de la cosecha no se le suele dar un manejo adecuado, lo que ocasiona problemáticas ambientales en los ecosistemas (Moyano, 2014).

Por otro lado, los sistemas productivos de lechería del trópico alto basan la alimentación del ganado en monocultivos de gramíneas con inadecuados manejos agronómicos y del pastoreo (Benavides *et al.*, 2021; Cardona *et al.*, 2021); sumado a lo anterior, los efectos de la estacionalidad forrajera

derivada de los elementos climáticos, limitan la capacidad de rebrote, crecimiento y vigor de los forrajes, ocasionando una disminución de la calidad o producción de biomasa consumible por los animales. (Sánchez *et al.*, 2013; Castro *et al.*, 2020).

De acuerdo con lo anterior, es común encontrar desequilibrios nutricionales en los animales, lo que conlleva a una ineficiencia productiva con el consecuente aumento en la emisión de gases de efecto invernadero como el metano (CH_4) (Tigmasa, 2022). Además de la contaminación al medio ambiente, el CH_4 genera una pérdida energética en el ganado, hasta del 18% de la energía digestible consumida (Sandoval *et al.*, 2020). Una de las alternativas para disminuir la intensidad del CH_4 (producción de CH_4 por kilogramo de producto) está relacionada con una mayor producción de leche (Cardona *et al.*, 2019).

En ese sentido, es importante la búsqueda de estrategias de suplementación con recursos alimenticios disponibles localmente, que contribuyan al balance nutricional de la dieta de los animales y, consecuentemente, a mejorar la eficiencia productiva.

Moyano (2014), sugiere que la papa de desecho puede ser una alternativa económica interesante al poseer un alto porcentaje de almidón (60-80%), contribuyendo al estatus energético en la dieta, lo cual permite hacer frente a la carencia de energía que generalmente presentan los forrajes del trópico alto.

Así, el objetivo de estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) variedad Única, sobre la producción y composición de la leche, además de la emisión de CH_4 de vacas de leche en pastoreo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y clima

El experimento fue desarrollado en la finca Pozo grande, municipio de Cerri-
to, Santander, Colombia, a una latitud N
6°51'45.7902" y longitud W 72°39'14.706",
altura 3.275 msnm, temperatura media de
11,10 °C y humedad relativa del 85,30 %.

Animales, diseño experimental y tratamientos

Para este estudio se utilizaron 12 vacas lactantes de raza Normando, multíparas

segundo tercio de lactancia, con peso corporal (PC) promedio de 460 Kg, en óptimas condiciones sanitarias, con una condición corporal media de 3,5 (escala 1-5, donde 1 refiere a flaca, y 5 a obesa) (Frasi-
nelli *et al.*, 2004).

Los animales fueron distribuidos bajo un diseño completamente al azar en dos tratamientos y seis repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: control (sin suplementación) y suplementado (suplementación con 6 Kg/animal/día de papa variedad Única). Esta cantidad tenía

como objetivo satisfacer aproximadamente un 20% de exigencias de nutrientes digestibles totales (NDT), y un 7 % de las exigencias de proteína bruta (PB) para una vaca de 460 kg de peso corporal (PC), además de 8,62 kg/día de producción de leche (NCR, 2001).

Manejo animal

El experimento tuvo una duración de 30 días, dividido en dos períodos de 15 días. En cada período los animales fueron sometidos a 10 días de adaptación a la dieta y área experimental. El suministro de la papa fue de forma gradual hasta llegar a la cantidad deseada. Los animales pastorearon en potreros con 90 días de descanso, establecidos con Falsa Poa (*Holcus lanatus*) en un 60%, Ryegrass (*Lolium perenne*) en un 30%, y Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en un 10%. Fue manejada una franja diaria de pastoreo, la cual se asignó en un solo momento del día (8:00 am) después del ordeño de la mañana, empleando una cinta eléctrica para delimitar el área de pastoreo. Durante la experimentación los animales tuvieron acceso a agua fresca a voluntad y se les suministró 180 g/día/animal de sal mineralizada.

La papa suministrada a los animales fue previamente sometida a: a) Selección (retirar del costal papas en mal estado); b) lavado; c) oreo; y d) picado. Posteriormente, fue ofrecida a los animales durante el ordeño de la mañana (6:00 am) en comederos individuales. El consumo de la papa se determinó por la diferencia entre lo ofertado y lo rechazado.

Procedimiento experimental y muestreo

La composición química de los forrajes se evaluó mediante muestras recolectadas en los días 1, 3 y 4 de cada período experimental, empleando el método de corte manual (Hand plucking) (Detmann *et al.*, 2016). Al final de cada período experimental se tomó una muestra compuesta de 500 g/forraje para posteriores análisis de laboratorio; para estimar la composición química de la papa en base húmeda, se tomaron muestras al azar de los bultos de papa, obteniendo una muestra compuesta; las muestras de forraje y papa fueron enviadas al laboratorio de Nutrición Animal del Centro de Investigación (C.I) Turipaná de AGROSAVIA en Montería, Córdoba, para sus respectivos análisis.

La producción de leche de cada animal se registró, durante los 24 días del período experimental, por medio de pesaje manual con la ayuda de un balde plástico y una balanza digital. Durante los últimos cinco días de cada período experimental se obtuvieron muestras individuales de leche (GA-G-18, guía de toma de muestra de leche cruda-AGROSAVIA), las cuales fueron conservadas con bronopol y refrigeradas a 4°C para su posterior análisis. Las muestras de leche fueron analizadas en el laboratorio de leche del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA (Mosquera, Cundinamarca).

Procedimientos analíticos

Las muestras de forraje (secadas en estufa de ventilación forzada a 65°C durante 72 h, y molidas en un molino estacionario con una malla de 1,0 mm) se analizaron mediante la técnica de espectroscopia de reflectancia en infrarrojo cercano; NIRS DS 2500-FOSS Analytical A/S-Dinamarca (Ariza *et al.*, 2017) para la determinación de la composición química.

Las muestras de papa en base húmeda se analizaron mediante técnicas analíticas de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 2005). Para Calcio (Complexométrica con EDTA); Fósforo (Espectrometría UV-VIS, NTC 4981); Cenizas totales (Incineración directa AOAC 942,05); Fibra detergente ácida (ISO 13906:2009); Fibra detergente neutra (ISO 16472:2007); Humedad (ISO 6496:2009-NTC 4888:2000); Extracto etéreo (AOAC 2003.06-2006 ed. 21 st 2019); proteína bruta (AOAC 960.52-2008 ed. 21 st 2019); Fibra bruta (ISO 6865:2000-NTC 5122:2002); Ligina As (ISO 13906:2009); Digestibilidad *in situ* de la MS (Método de Orskov, 1979); y Almidón (AOAC 996.11-2005 21 th 2019).

La producción de leche, corregida para el 4 % de grasa, fue calculada de acuerdo con la ecuación descrita por el NRC (2001):

$$\text{PLCG4\% (kg)} = 0.4 \times (\text{producción de leche}) + [15 \times (\text{grasa en la leche} / 100) \times \text{producción de leche}]$$

En las muestras de leche se estimó el contenido de grasa (%), proteína (%), sólidos totales (%), mediante el método de espectroscopia infrarroja (AOAC 972.16; AOAC, 2015), y nitrógeno ureico en leche (MUN) por el método infrarrojo (espectrofometría IR), con un equipo FOSS Milkoscan TM 7RM, FOSS Analytical A/S, Dinamarca.

Finalmente, para estimar la producción de CH₄ en los animales, se utilizaron modelos matemáticos, referenciados en la literatura propuesta por Cardona *et al.* (2019). Los modelos utilizados tuvieron en cuenta variables como: el consumo de materia seca (CMS), proporción de forraje y suplemento consumido, Peso Vivo, Producción de Leche y factores de emisión (Ecuación 1 y 2).

Modelos matemáticos utilizados en la estimación de emisión de metano:

$$CH_4(g/d) = 10 + 4,9 * \text{producción de leche (L/d)} + 1,5 * PV^{0,75}$$

Dónde: Producción Leche: producción media litros leche/día/animal: PV: peso vivo elevado a la 0,75 (peso metabólico) (Kirchgessner *et al.*, 1995)

$$CH_4(g/d) = \frac{[8,56 + 0,14 * \text{forraje (\%)}]}{0,05565}$$

Dónde: Porcentaje forraje: % forraje consumido en la ración total. 0,05565 MJ, corresponde a la cantidad de energía de cada g de CH₄ emitido (Ellis *et al.*, 2007).

Se estimaron los gramos de CH₄ producidos por animal/día, y los gramos de CH₄ por cada litro de leche producido, según la metodología propuesta por Cardona *et al.* (2019).

Análisis estadístico

Los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el procedimiento GLM de SAS 9.4 (SAS Institute Inc., NC, EEUU.). La producción y composición de la leche, y estimación de la producción de CH₄ fueron sometidos a ANOVA, utilizando la prueba *t* de Student. El efecto de tratamiento sobre todas las variables evaluadas fue realizado

de acuerdo con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}, \text{ donde:}$$

Y_{ij} = observaciones del individuo j en el tratamiento i; μ = media general; T_i = efecto fijo de tratamiento; ε_{ij} = error aleatorio, no observable, asociado a cada j observación en el tratamiento i, asumido como normal e independientemente distribuido. La normalidad de los datos fue evaluada utilizando la prueba de Shapiro Wilks y la homocedasticidad a través de la prueba de Lavene. La significancia estadística se consideró en p≤0,05.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En promedio, el forraje consumido por los animales durante el periodo experimental fue de calidad media (13,23% de PB en la MS y 60,67% de FDN en la MS) (NASEM, 2016). Adicionalmente, el valor de PB es superior al 7 a 8% sugerido por Sampaio *et al.* (2009) como mínimo necesario para que los microrganismos ruminales presenten una adecuada degradación de los carbohidratos fibrosos del forraje.

La composición nutricional de papa utilizada en este estudio, en términos de PB, FDN, FDA, presentó concentraciones de 8,0, 7,3 y 5,0%, respectivamente (Tabla 1). Valores próximos fueron reportados por Posada *et al.* (2014), 9,5% para la PB, y FDN 5,2%; y Betancourt *et al.* (2012) en papa de desperdicio (PB: 9,10%; FDN: 3,5;

FDA: 7,56%). Según Blas *et al.* (2019), la papa es un interesante recurso para ser utilizado en alimentación animal debido a su aceptable valor de PB, que incluso supera a otros recursos energéticos como la yuca (4,5%) e incluso el maíz (7,7%); además de su buena concentración de almidón, que supera el 60%. Estos resultados están en concordancia a los observados en este estudio, donde la papa consumida por los animales presentó un contenido de almidón de 66,4%. Resultados que difieren a los reportados por Fernández (2021), quien encontró en el cultivar ICA-Única un valor de almidón del 74%. Sin embargo, Ospina (2012) reportó para la papa Parda Pastusa y Puracé concentraciones de almidón de 16,5% y 15,3%, muy por debajo a los reportados en este trabajo. La variación en las concentracio-

nes de almidón entre estudios puede estar relacionado a las variedades utilizadas. Al respecto, Ospina (2012) notificó

que la concentración de este componente nutricional depende en gran medida del material genético utilizado.

Tabla 1. Composición química de *Solanum Tuberousum*, variedad ICA-Única

Ítem ¹	Papa	<i>H. lanatus</i>	<i>L. perenne</i>	<i>C. clandestinus</i>
MS (% en la MS)	18,20	25,80	26,00	20,40
PB (% en la MS)	8,00	11,00	13,00	15,70
FDN (% en la MS)	7,30	62,00	59,00	61,00
FDA (% en la MS)	5,00	31,50	29,00	29,50
Lignina (% en la MS)	1,41	7,00	6,80	7,10
Hemicelulosa (% en la MS)	2,10	30,42	30,24	31,20
Celulosa (% en la MS)	3,79	24,55	22,13	22,00
Almidón (% en la MS)	66,40	7,30	7,00	5,00
Dig MS (%)	56,00	58,40	62,00	61,00
ENL (Mcal/kgMS)	1,25	1,15	1,30	1,20
NDT (%)	82,00	53,20	57,50	56,00
CNF (% en la MS) ²	79,58	18,05	19,15	13,04
EE (% en la MS)	0,32	2,45	2,42	2,16
Cenizas (% en la MS)	4,80	6,50	6,43	8,10
Ca (% en la MS)	0,06	0,25	0,33	0,35
P (% en la MS)	0,16	0,21	0,18	0,16
Solanina (mg/kg/MS)	<5,00	-	-	-

¹MS: materia seca; PC: proteína bruta; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente acida; Dig MS: Digestibilidad in situ de la materia seca; ENL: Energía Neta de Lactancia; NDT: nutrientes digeribles totales; CNF: carbohidratos no Fibrosos; EE: extracto etéreo; Ca: calcio; P: fosforo. ² CNF = 100 – (PB + FDN + EE + Cz). **Fuente:** Centro de Investigación (C.I) Turipaná en Montería-Córdoba.

Estas variaciones en la calidad nutricional del tubérculo, en estudio con respecto a autores antes citados, puede ser justifica-

do por el tiempo que llevaba almacenado (alrededor de 35 días), así como el inadecuado manejo poscosecha en la unidad

experimental, ya que como lo menciona Crisci (1992), se deben garantizar las condiciones de almacenamiento y manejo poscosecha para limitar las pérdidas que se dan de forma natural, debido a que la papa después de ser cosechada, moviliza sus reservas energéticas para continuar con su ciclo de vida, conllevando a cam-

bios en su composición química y, consecuentemente, en la calidad nutricional.

En este estudio se evidenció un aumento ($p<0,05$) de la producción de leche (PL Kg/día) y producción de leche corregida para el 4% de grasa (PLCG4%) de los animales con la suplementación con papa (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de la suplementación con papa variedad ICA-Única sobre la producción y calidad composicional de la leche en vacas de leche en pastoreo

Ítem	Tratamientos		CV	Valor P
	Control	Suplementado		
PL (kg/día)	7,17	8,23	32,55	0,035
PLCG4% (kg/día)	6,52	7,56	28,49	0,010
Grasa (%)	3,56	3,60	23,09	0,782
Proteína (%)	3,36	3,36	9,92	0,923
Sólidos totales (%)	12,44	12,42	8,35	0,923
MUN (mg/dL)	9,39	9,31	8,07	0,579

PL: producción de leche; PLCG4%: producción leche corregida para el 4% de grasa; MUN: nitrógeno ureico en leche. **Fuente:** autores.

De acuerdo con NRC (2001), el consumo de nutrientes es uno de los principales factores que afectan el desempeño productivo de los animales, en ese sentido, el incremento de la producción de leche de los animales suplementados con papa puede estar asociado al mayor consumo de carbohidratos solubles (almidón), lo que promovió mayor producción de propionato a nivel ruminal, siendo este el principal precursor hepático de síntesis glucosa a través de la gluconeogénesis (Church 1988; Huntington *et al.* 2006). La glucosa

es el principal combustible para la producción de lactosa a nivel de la glándula mamaria, y generalmente animales con mayor síntesis de lactosa tienen mayor producción de leche, esto debido al efecto higroscópico de la lactosa (Carreón, 2022).

De la misma forma, Ruiz (2006) reportó un incremento en la cantidad de leche producida por animales que fueron suplementados con 2 kg ensilado de papa respecto a los animales que solo consumieron forraje; igualmente, García (2017) reportó un incremento de 3 kg en la pro-

ducción de leche al incluir 6 kg de papa a la dieta base en vacas lecheras; Fonseca *et al.* (2014), al incluir 20% de MS de papa entera en la dieta de vacas Holstein, obtuvieron aumento de 1,7 kg de leche/día por animal. Según Bargo *et al.* (2003) el aumento en la producción de leche se puede atribuir, al aumento de consumo de energía aportado por los carbohidratos no estructurales como el almidón; mientras que, según Gómez *et al.* (2016) no solo la cantidad de almidones sino también la digestibilidad de la papa entera, determinan la síntesis de leche.

La suplementación con papa no afectó ($p>0,10$) la concentración de grasa, proteína, sólidos totales y MUN en la leche de los animales (Tabla 2). Con estos resultados se puede inferir que a pesar que la suplementación con papa promovió un aumento de la producción de leche (Tabla 2), no causó un efecto de dilución en sus componentes. Estudios previos han demostrado que la calidad composicional de la leche es afectada por varios factores, entre ellos, factores genéticos, nutricionales y ambientales (Palmquist *et al.*, 1993). En ese sentido, la composición de la leche puede ser influenciada por la dieta suministrada a los animales; sin embargo, Wittwer (2000), reporta que los constituyentes de la leche que pueden modificarse de mayor a menor proporción son la grasa, proteína y lactosa. Adicionalmente, Sut-

ton y Morant (1989) en hallazgos previos, reportan que la fracción proteica y lactosa en la leche son más difíciles de modificar, lo que puede justificar la ausencia de diferencia en la composición de la leche de los diferentes tratamientos. Finalmente, Barragán *et al.* (2019), sugiere que la leche se considera normal en términos de composición cuando tiene una concentración de grasa y proteína superior a 3,6 y 3,08% respectivamente. En este estudio los valores de grasa y proteína en la leche fueron de 3,58 y 3,36%, siendo valores muy próximos a los sugeridos por Barragán *et al.* (2019).

Las concentraciones de MUN en la leche reflejan el contenido proteico de las dietas. De acuerdo con Borges *et al.* (2019), la concentración normal de MUN se encuentra entre 10 y 17 mg/dL. En este estudio, las concentraciones de MUN en la leche de los diferentes tratamientos fueron ligeramente inferiores a los sugeridos por este autor, indicando que los animales de presentaron deficiencia de PB en la dieta.

Al final, no se evidenció efecto de la suplementación con papa ($p>0,10$) sobre la emisión de CH_4 en g/animal/día por parte de los animales (Tabla 3); en contraste, se evidenció una disminución ($p<0,05$) de la producción de CH_4 en g/kg de leche, en los animales suplementados con papa en relación a los no suplementados.

Tabla 3. Efecto de la inclusión de papa variedad ICA-Única sobre la estimación de la producción de CH₄ en vacas en pastoreo

Ítem	Tratamientos		CV	Valor P
	Control	Suplementado		
CH ₄ (g/animal/día)	191,52	196,65	9,90	0,185
CH ₄ (g/kg de leche)	31,35	25,18	35,58	0,002

Fuente: autores.

Las vacas suplementadas con papa y no suplementadas presentaron en promedio 25,18 y 31,35 g de CH₄/kg de leche, respectivamente; valores superiores a los reportados por Cardona *et al.* (2019), quienes obtuvieron 11,4 g de CH₄/kg de leche para vacas manejadas en un sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia*, y 12,5 g de CH₄/kg de leche en un monocultivo de *Cenchrus clandestinus*; asimismo, Noguera y Posada (2017) reportaron producción de 12 g de CH₄/kg de leche en vacas Holstein, en el norte del departamento de Antioquia, Colombia. Es importante resaltar que en los trabajos citados anteriormente, la base genética fue Holstein, con producciones superiores (promedio de 26 kg de leche/animal/día) a las observadas en este estudio. En ese sentido, una mayor producción de leche tiene un efecto de dilución de la producción de CH₄/kg de leche. Según lo anterior, Dachraoui (2015), reportó que en vacas lecheras con

volumenes de 6.500 y 3.400 kg/leche/año, la producción de CH₄ estimada fue de 25 y 41,1 g de CH₄/kg de leche, correspondientemente.

Por otro lado, Cardona *et al.* (2019) indican que animales con mayor volumen de producción láctea son más eficientes cuando la emisión de CH₄ es expresada en función de la producción de leche. En un contexto de inseguridad alimentaria y cambio climático mundial, la manipulación de la dieta es una de las estrategias más efectivas para maximizar la producción de leche y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, entre ellos el CH₄ (Soliva y Hess, 2007). Finalmente, dietas que promuevan el balance energía-proteína a nivel ruminal, están en la vía de tener sistemas ganaderos más eficientes y amigables con el medio ambiente (Gómez *et al.*, 2016; Cardona *et al.*, 2017)

4. CONCLUSIONES

La suplementación con 6 kg/animal/día de papa, variedad ICA-Única, mejora la producción de leche de vacas Normando en pastoreo; sin embargo, no afecta la composición nutricional de la leche de los animales. Adicionalmente,

la suplementación con 6 kg/animal/día de papa no afecta la producción diaria de CH₄ expresada en g/día de vacas Normando en pastoreo, en contraste, reduce la producción de CH₄ expresado en g/kg de leche de los animales.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Duván Sanabria Bautista: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original.

Román Maza Ortega: análisis de datos, escritura, revisión y edición. **Juan Leonar-**

do Cardona Iglesias: adquisición de recursos, administrador del proyecto, logística, análisis de datos, escritura, revisión y edición. **Viviana Lucia Cuarán:** análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al proyecto “Investigación, vinculación y ampliación de la oferta tecnológica disponible para el mejoramiento productivo del cultivo de papa en los departamentos de Santander y Norte de Santander”, fi-

nanciado por el Sistema General de Regalías (SGR). De la misma manera, a la Corporación de investigación agropecuaria AGROSAVIA; y a la Universidad de Pamplona por su colaboración en el desarrollo del proyecto

LITERATURA CITADA

AOAC, International. (2015). *Official Method. 972.16 Fat, lactose, protein, and solids in milk* [20th. edición]. Rockville. AOAC International.

AOAC, International. (2005). *Métodos Oficiales de Análisis de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales*. [18th. edición]. AOAC International.

Ariza, C., Mayorga, O., Mojica, B., Parra, D., & Afanador, G. (2017). Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *SAGE journals*, 2(1), 44-52. <https://doi.org/10.1177/0967033517746900>

Barragán, WA., Mahecha, L., Angulo, J., & Olivera M. (2019). Characterization and classification of the compositional quality of milk from river buffaloes (*Bubalus bubalis*) and cows (*Bos spp.*) in Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 66(1), 43-52. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v66n1.79401>

Bargo, F., Muller, L., Kolver, E., & Delahoy, J. (2003). Production and digestion of supplemented Dairy Cows on pasture. *Journal Dairy Science*, 86(1), 1-42. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)

Benavides, JCR., Ricardo DT., y Castillo LS. (2021). Productividad forrajera y calidad del suelo en lechería especializada bajo sistemas silvopastoriles en Trópico Alto de Colombia. *Revista Colombiana de Zootecnia*, 7(12), 14-17. <https://anzoo.org/publicaciones/index.php/anzoo/article/view/98/95>

Betancourt, J., Cuastumal, H., Rodríguez, S., Navia, J. y Insuasty, E. (2012). Alimentación de vacas Hostein con suplemento de papa de derredorio (*Solanum tuberosum*) y Acacia Negra (*Acacia decurrens*), y su efecto en la calidad de la leche. *Investigacion Pecuaria*, 1(2), 41-51.

<https://revistas.udesar.edu.co/index.php/revip/article/view/399>

Blas, C., García, P., Gorrachategui, M. y Mateos, G. (2019). *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para fabricación de piensos compuestos* [4th edición]. Fundación española para el desarrollo de la Nutrición Animal. <https://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-piensos>

Cardona, J.L., Avellaneda , Y. y Castro, E. (2021). Estimación del consumo de forraje para dos biotipos bovinos lecheros en el trópico altoandino de Nariño, Colombia: Consumo materia seca bovinos. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(4), 220-228. <http://dx.doi.org/10.18271/ria2021.301>

Cardona, J.L, Mahecha, L., & Angulo, J. (2019). Methane estimation in cows grazing silvopastoral system with *Tithonia diversifolia* and supplemented with polyunsaturated fats. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 29(2), 107-118.

Cardona, L., Mahecha, L. y Angulo, J. (2017). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 273-288. <http://orcid.org/0000-0001-5225-8108>

Carreon, DPC. (2022). La bioquímica en la producción de leche. *Con-Ciencia Boletín Científico De La Escuela Preparatoria*,

9(18), 16-22. <https://orcid.org/0000-0001-9259-9943>

Castro, E., Cardona, J., Valenzuela , M., Hernández, F. y Avellaneda, Y. (2020). Efecto del ensilaje de avena sobre la productividad de vacas lactantes en Nariño-Colombia. *Pastos y forrajes*, 43(2),150-158. <https://www.redalyc.org/journal/2691/269164290009/html/>

Church, C. (1988). *El rumiante: fisiología digestiva y nutrición*. Acribia S.A.

Crisci, C. (1992). *Almacenamiento de papas*. Instituto Nacional de Investigacion Agropecuaria. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807120127.pdf>

Dachraoui, M. (2015). *Comparación de diferentes modelos de predicción de emisión de gases de efecto invernadero por vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de raigrás italiano o ensilado de haba y colza forrajera*. Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/31631>

Detmann, E., Paulino, M.F., Valadares Filho, S.C., & Huhtanen, P. (2014a). Nutritional aspects applied to grazing cattle in the tropics: a review based on Brazilian results. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(4), 2829-2854. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4Supl2829>

Ellis, J., Kebreab, E., Odongo , N., McBride, B., & Okine, E. (2007). Prediction of methane production from dairy and

beef cattle. *J. Dairy Sci*, 90(7), 3456-3466. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-675>

Fernández, A. (2021). Empleo de papa con animales de leche y carne. *Revista Veterinaria Argentina*, 37(402), 1-5. <https://www.veterinariargentina.com/revista/2021/10/empleo-de-papa-coempleo-de-papa-con-animales-de-leche-y-carne-n-animales-de-leche-y-carne-anibal-fernandez-mayer1/>

Fonseca, D., & Borras, L. (2014). Evaluation effect of fresh potatoes included in a food based meal, on production and milk quality in Holstein cows. *Ciencia y Agricultura*, 11(1), 55-65. <https://doi.org/10.19053/01228420.3488>

Frasinelli, C., Casagrande, H. y Veneciano, J. (2004). La condición corporal como herramienta de manejo en rodeos de cría bovina. *Estación Experimental Agropecuaria*, 1-17. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria_condicion_corporal/04-Inf_Tecn_168.pdf

García, Y. (2017). *Evaluación de la suplementación con papa solanum tuberosum en la dieta sobre la producción y calidad de leche en vacas de un hato de Chocontá Cundinamarca*. Universidad de la Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1340&context=zootecnia>

Gómez, L., Posada, S., & Olivera , M. (2016). Starch in ruminant diets: A review . *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, 29(2), 77-90. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324967>

Huntington, G.B., Harmon, D.L., and Richards, C.J. (2006). Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 84, (Suppl E), 14-24. https://doi.org/10.2527/2006.8413_supple14x

Kirchgessner, M., Windisch, W., & Muller, H. (1995). *Nutritional factors for the quantification of methane production. In: Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction. Proceedings 8th international symposium on ruminant physiology.* Delmar Publishers.

Moyano, M. (2014). *Fermentación en estado sólido (fes) de la papa (Solanum Tuberosum), como alternativa tecnológica para la alimentación animal.* Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2545>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. [NASEM]. (2001). *Nutrient requirements of beef cattle.* [Eighth revised edition]. The National Academies Press.

National Research Council [NRC]. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle.* National Academy Press.

Noguera , R., & Posada , S. (2017). Factor de emision de metano entérico para vacas Holstein lactantes en la zona norte de Antioquia, Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 29(6),119. <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd29/6/ricn29119.html>

Ospina, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Escuela de Administración de Negocios*, 72, 182-192.

Palmquist, D.L., Beaulieu, A.D., & Burban, D.M (1993). Feed and animal factors influencing milk fat composition, *Journal of Dairy Science*, 76(6), 1753-1771. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77508-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77508-6)

Posada, S., Ramírez , J., & Rosero, R. (2014). Producción de metano y digestibilidad de mezclas Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 141-150. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14214>

Ruiz, J. (2006). *Evaluación de la producción y calidad de la leche en vacas Holstein de primer parto suplementadas con ensilaje de papa.* Universidad de La Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/view-content.cgi?article=1207&context=zootecnia#:~:text=En%20cuanto%20a%20la%20producci%C3%B3n,producci%C3%B3n%20m%C3%A1xima%20promedio%20de%20leche>

Sampaio, C.B., Detmann, E., Lazzarini, I., Souza, M.A, Paulino, M.F., e Valadares, S.C. (2009). Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, MG*, 38(3),

560- 569. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300023>.

Sánchez, L., Londoño, C., Castillo, S., Benavides, C. y Torres, D. (2013). Recuperación de suelos y renovación de praderas en sistemas de producción de leche especializada de trópico alto. CORPOICA.

Sandoval, A., Ramírez , M., Rodríguez, A. y Candelaria, B. (2020). Árboles y arbustos tropicales con potencial para disminuir la producción de metano en rumiantes. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 23(33), 1-17. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3061>

Soliva, C., & Hess, H. (2007). *Measuring Methane Emission of Ruminants by In Vitro and In Vivo Techniques*. In: Makkar, H.P., Vercooe, P.E. (eds) *Measuring Methane Production From Ruminants*.

Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6133-2_2

Sutton, J.D., and Morant, S.V. (1989). A review of the potential of nutrition to modify milk fat and protein. *Livestock Production Science*, 23(3-4), 219-237. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(89\)90073-0](https://doi.org/10.1016/0301-6226(89)90073-0)

Tigmasa, K.P. (2022). Contribución de las emisiones de gas metano producidas por el ganado bovino al cambio climático. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, 215. <https://doi.org/10.46380/rias.v5.e215>

Wittwer, F. (2000). *Diagnóstico dos desequilíbrios metabólicos de energia. Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais*. Porto Alegre: UFRGS, 9-22.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 22-12-2022

Fecha de aceptado: 15-05-2023

DOI: 10.22490/21456453.6594

BACTERIAS FILAMENTOSAS PRODUCTORAS DE ENZIMAS HIDROLÍTICAS AISLADAS DE RIZOSFERAS Y UN SISTEMA DE COMPOSTAJE

HYDROLYTIC ENZYME PRODUCING FILAMENTOUS BACTERIA ISOLATED FROM RHIZOSPHERES AND A COMPOSTING SYSTEM

Víctor Manuel Osorio-Echeverri ¹

Jessica Johanna Obando-García ²

Elizabeth Castrillón-Duque ³

José Gregorio Martínez ⁴

¹ Magíster en Biotecnología, I.U. Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia.
victor.osorio@colm Mayor.edu.co

² Biotecnóloga, I.U. Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia.
jessica_obando@yahoo.es

³ Biotecnóloga, I.U. Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia.
lizxim68@gmail.com

⁴ Doctor en Biotecnología, I.U. Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia.
jose.martinez@colm Mayor.edu.co

Citación: Osorio-Echeverri, V., Obando-García, J., Castrillón-Duque, E. y Martínez, J. (2024). Bacterias filamentosas productoras de enzimas hidrolíticas aisladas de rizosferas y un sistema de compostaje. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 229-249. <https://doi.org/10.22490/21456453.6594>

RESUMEN

Contextualización: las hidrolasas son algunas de las enzimas que más se usan en diferentes procesos industriales, estas pueden ser obtenidas a partir de microorganismos como bacterias y hongos. Las bacterias filamentosas son un grupo de microorganismos presentes en diversos ambientes, y muchas de estas especies producen hidrolasas extracelulares que catalizan la descomposición de compuestos como proteínas y polisacáridos. El género más representativo es *Streptomyces*, un grupo bacteriano que se encuentra en la mayoría de los suelos, el cual sintetiza enzimas de interés y los principales antibióticos de origen microbiano.

Vacío de conocimiento: la alta diversidad de suelos en el país representa una oportunidad para la bioprospección de microrganismos nativos con potencial enzimático; estos se pueden encontrar en diferentes agroecosistemas poco estudiados, además, sus capacidades bioquímicas podrían estar asociadas con las condiciones ambientales y nutricionales de los sitios en los que se encuentran.

Objetivo: verificar la presencia de bacterias filamentosas productoras de enzimas hidrolíticas, con potencial aplicación industrial, en diferentes tipos de suelo y en un sistema de compostaje.

Metodología: se tomaron muestras de un sistema de compostaje, del suelo de un sendero en un bosque nativo, y de las rizosferas de un cerco vivo y de cultivos de hortensias, aguacate, mora y coles. Se aislaron bacterias filamentosas a partir de colonias que presentaran la morfología correspondiente. Las actividades enzimáticas fueron determinadas usando el método de difusión en disco para cuantificar los halos de hidrólisis en medios con almidón, carboximetilcelulosa, gelatina y aceite de oliva.

Resultados y conclusiones: se obtuvieron 43 aislados de bacterias filamentosas de las cuales 36, 42, 39 y 30, presentaron actividad amilasa, celulasa, gelatinasa y lipasa, respectivamente. En todas las muestras se encontró al menos un aislado con alguna actividad hidrolítica. El sistema de compostaje y la rizosfera del cerco vivo fueron los sitios a partir de los cuales se obtuvieron más aislados bacterianos con mayor actividad, posiblemente relacionados con características como la humedad y la materia orgánica de los suelos de los cuales fueron recuperados.

Palabras clave: actinomicetales, bacterias del suelo, bioprospección, hidrolasas, *Streptomyces*

ABSTRACT

Contextualization: Hydrolases are some of the most used enzymes in different industrial processes and can be obtained from microorganisms such as bacteria and fungi. Filamentous bacteria are a group of microorganisms present in various environments, and many of these species produce extracellular hydrolases catalyzing the decomposition of compounds such as proteins and polysaccharides. The most representative genus is *Streptomyces*, a bacterial group found in most soils. It synthesizes enzymes of interest and main antibiotics of microbial origin.

Knowledge gap: The high soil diversity in the country is an opportunity for the bioprospecting of native microorganisms with enzymatic potential, which can be found in different understudied agro-ecosystems and their biochemical capacities could be associated with the environmental and nutritional conditions of the sites where they are found.

Objective: To verify the presence of filamentous bacteria producers of hydrolytic enzymes with potential industrial application in different soil types and a composting system.

Methodology: Samples were taken from a composting system, from the floor of a path in a native forest, from the rhizospheres of a live fence, and hydrangeas, avocado, blackberry, and Cole crops. Filamentous bacteria were isolated based on the colonies with the corresponding morphology. Enzyme activities were determined using the disk diffusion method to quantify the halos of hydrolysis in starch, carboxymethyl cellulose, gelatin, and olive oil mediums.

Results and conclusions: 43 isolates of filamentous bacteria were obtained, of which 36, 42, 39, and 30 had amylase, cellulase, gelatinase, and lipase activity, respectively. At least one isolated with some hydrolytic activity was found in all samples. The composting system and the rhizosphere of the live fence were the sites from which more bacterial isolates were obtained with higher activity. It is likely related to characteristics such as humidity and organic matter from the soils from which they were recovered.

Keywords: actinomycetales, soil bacteria, bioprospecting, hydrolases, *Streptomyces*

RESUMEN GRÁFICO



Created in BioRender.com 

Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

Las enzimas hidrolíticas extracelulares de origen microbiano son de uso común en la industria de alimentos, en la formulación de detergentes, en la industria textil, y además, en el tratamiento de pieles y de la pulpa de madera (Fasim *et al.*, 2021; Waites *et al.*, 2001). Se espera que el mercado global de enzimas como las proteasas, amilasas, pectinasas, xilananas,

ligninasas, celulasas y lipasas, crezca de USD 6600 millones en 2021 a 9100 millones en 2026; de estas, las proteasas y las amilasas dan cuenta de cerca del 60% y el 30% del mercado enzimático global respectivamente, aunque las carbohidratos en general han empezado a dominar el mercado desde 2017 (BBC Publishing, 2021; Business Wire, 2019; Singh *et al.*, 2016).

Las enzimas conocidas como hidrolasas catalizan el rompimiento de enlaces glucosídicos, peptídicos, entre otros, con la adición de moléculas de agua y, aunque la mayoría de las hidrolasas microbianas utilizadas en la industria son producidas por bacterias del género *Bacillus*, se ha demostrado potencial en algunas actinobacterias como también en especies de géneros como *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Kluyveromyces* y *Lactobacillus* (Singh *et al.*, 2016; Waites *et al.*, 2001).

Las actinobacterias están ampliamente distribuidas en ecosistemas terrestres y acuáticos, incluso en hábitats extremos, cumpliendo un importante rol en el reciclaje de nutrientes en el suelo gracias a su alta producción de enzimas extracelulares que les permite degradar polímeros complejos como la celulosa y la lignina. A este grupo bacteriano pertenecen géneros como *Arthrobacter*, *Brevibacterium*, *Rhodococcus* y *Streptomyces*, siendo este último el más común con alrededor del 70% de las especies reportadas para este grupo (Goodfellow, 2012; Lamilla, 2017).

Muchas especies de *Streptomyces* aisladas del suelo como *S. erumpens*, *S. fragilis*, *S. limosus* y *S. atacamensis* producen α -amilasas extracelulares bajo diferentes condiciones de cultivo (Ayuningrum *et al.*, 2021; Hormoznejad *et al.*, 2022; Nithya *et al.*, 2017; Vaijayanthi *et al.*, 2016). Estas enzimas se usan para la producción de jarabes y jugos de frutas, la elaboración de cerveza y pan, el desengomado de las telas, entre otras (Nigam, 2013; Sundaram y Krishna Murthy, 2014) y pueden obte-

nerse incluso usando residuos agroindustriales como fuente de carbono (Ousaadi *et al.*, 2021).

De igual manera, otros aislados de este género producen celulasas usando sustratos como carboximetilcelulosa (CMC), papel, y subproductos agroindustriales como la paja de trigo y de arroz, bagazo de caña y residuos de frutas (Celaya-Herrera *et al.*, 2021). Estas enzimas se utilizan durante el procesamiento de jugos de frutas además de telas, y constituyen una estrategia para reciclar el papel utilizado como también otros materiales agroindustriales, con el fin de obtener azúcares fermentables (Danso *et al.*, 2022; Nigam, 2013).

Por su parte, algunas proteasas que se pueden utilizar en la preparación de detergentes, el procesamiento del cuero y la elaboración de quesos (Nigam, 2013; Singh *et al.*, 2016), también se han obtenido de diferentes actinobacterias aisladas de suelos y sedimentos marinos (Haritha *et al.*, 2010; Suthindhiran *et al.*, 2014). Otras hidrolasas que se incorporan en detergentes, y que además se usan en la biorremediación de ambientes contaminados con hidrocarburos, y en la elaboración de alimentos, cosméticos y biodiesel, son las lipasas; y algunas especies como *S. claviger* y *S. coelicolor*, producen estas enzimas usando grasas y aceites como fuente de carbono (dos Santos *et al.*, 2017; Mohamed y Awad, 2021; Ugur *et al.*, 2014).

Debido a que muchas de estas enzimas extracelulares son elaboradas según las necesidades nutricionales de las bacterias, su producción puede estar asociada con

la cantidad y el tipo de materia orgánica presente en el sitio en que se encuentran estos microorganismos. Se ha demostrado, por ejemplo, que suplementar los suelos con diferentes fuentes de nitrógeno y aplicar distintas prácticas de manejo en suelos destinados a la agricultura, afecta la diversidad microbiana y su actividad hidrolítica (Gajda *et al.*, 2018; Shi *et al.*,

2018). Por esto, el objetivo de este trabajo fue describir la actividad enzimática de diferentes aislados nativos de actinobacterias, obtenidos a partir de diferentes suelos y de un sistema de compostaje, con el fin de demostrar la presencia de microorganismos potenciales productores de hidrolasas en ecosistemas locales poco explorados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de las muestras: se tomaron entre 100 y 200 g de suelo en diferentes zonas del corregimiento de Santa Elena, municipio de Medellín, Colombia (latitud 6°13'N, longitud 75°29'W, altitud 2200 m). Para el muestreo se seleccionaron rizosferas de: un cerco vivo de limoncillo (*Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr.); de un bosque nativo muy húmedo montano bajo con cobertura natural; de cultivos artesanales de hortensias (*Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser.), aguacate criollo (*Persea americana* Mill), mora andina (*Rubus glaucus* Benth.) y coles (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.); además del suelo de un sendero en el mismo bosque nativo. Todas las muestras se tomaron a una profundidad entre 10 a 20 cm, y se transportaron refrigeradas en bolsas con cierre hermético. De igual manera, se tomó una muestra de un sistema de compostaje con cinco días de maduración, establecido para el tratamiento de residuos orgánicos obtenidos en una cafetería universitaria. El pH de cada muestra se midió por el

método potenciométrico en agua 1:1 volumen: volumen.

Aislamiento y conservación de microorganismos: se resuspendieron 10g de cada muestra en 100 mL de solución salina al 0.9 % p/v, y se agitaron por 30 minutos a 150 rpm, a 28 °C. Las mezclas se dejaron sedimentar, se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-5} , y se sembraron por duplicado 100 μ L de las diluciones 10^{-4} y 10^{-5} por superficie de manera homogénea en agar *Streptomyces* y en agar almidón caseína nitrato (Atlas, 2010), ambos medios suplementados con 2,5 mg/L de rifampicina. Las placas fueron incubadas a 28 °C durante al menos siete días. Se seleccionaron colonias con morfologías correspondientes a bacterias filamentosas Gram-positivas y se subcultivaron en agar *Streptomyces* hasta obtener aislados puros; cada aislado se conservó en caldo infusión cerebro corazón con 15% v/v de glicerol a -20 °C.

Evaluación de la actividad hidrolítica: se utilizó el método de difusión en agar, para lo cual se adicionaron 10 μL de inóculo bacteriano a un disco de papel filtro estéril de 5mm de diámetro ubicado sobre un medio de cultivo sólido con un pH de 7.0. Cada actividad se determinó según los halos de hidrólisis calculados como la mitad de la diferencia entre el diámetro de la zona de hidrólisis y el diámetro de la colonia (en mm). Los inóculos se prepararon en agua destilada con 0.05 % v/v de Tween 80, resuspendiendo colonias obtenidas en agar *Streptomyces* hasta alcanzar una densidad óptica de 1.4 - 1.5 a 600 nm.

La actividad amilolítica se evaluó en un medio de cultivo constituido (en g/L) por: almidón soluble, 10.0; extracto de levadura, 1.0; NaNO_3 , 1.2; K_2HPO_4 , 3.0; KH_2PO_4 , 6.0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.2; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.03; $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.01; agar, 12.0; se usó lugol como solución reveladora. La actividad celulolítica se determinó en un medio preparado (en g/L) con CMC, 5.0; extracto de levadura, 0.5; NaNO_3 , 1.0; K_2HPO_4 , 1.0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5; agar, 15.0; los halos se revelaron con rojo congo al 0.1 % p/v y cloruro de sodio. Para medir la actividad

proteolítica se usó un medio compuesto (en g/L) por gelatina, 10.0; peptona, 10.0; NaCl, 5.0; extracto de carne, 10.0; agar, 15; se usó una solución de cloruro de mercurio al 15 % p/v para revelar los halos. La actividad lipolítica se evaluó en un medio con (en g/L) caldo nutritivo, 9.0; extracto de levadura, 2.5; agar, 12.0, suplementado con aceite de oliva al 3 % v/v, Tween 80 al 0.025 % v/v y rodamina B al 0.02 % v/v.

Análisis estadístico: para analizar la actividad hidrolítica según el halo de inhibición generado por las bacterias, se empleó un diseño completamente aleatorio (DCA) con tres réplicas. Para determinar las diferencias significativas de la actividad hidrolítica entre los 44 aislados evaluados, y según los sitios de muestreo, se implementó una prueba de Kruskal-Wallis con comparación entre parejas, para determinar los aislados con actividades significativamente diferentes. Se utilizó $p < 0.05$ como criterio estadístico para revelar diferencias significativas entre los aislados, teniendo en cuenta una confianza de la prueba del 95 %. Todos los datos se analizaron mediante el programa estadístico SPSS® versión 24.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se demostró en este estudio la capacidadenzimática que poseen 43 aislados nativos de bacterias filamentosas obtenidos a partir de un sistema de compostaje y de diferentes suelos bien drenados y ligeramente ácidos (Tabla 1). Además, se analizó

la actividad de la cepa de *Streptomyces griseus* subsp. *griseus* ATCC®10137™ (S.G.). Las rizosferas del bosque nativo y de los cultivos de hortensias, aguacate, mora y coles, correspondieron a suelos franco-arcillosos y de color en húmedo pardo muy

oscuro, aspectos similares a los reportados por Pérez *et al.* (2017) para un suelo tomado en una ubicación geográfica cercana. No obstante, la rizosfera del cerco vivo de limoncillo y el suelo del sendero eran de

color pardo oliva, no presentaron una capa de material orgánico fresco abundante, y aunque su textura fue similar a las demás muestras, estas dos presentaron una apariencia menos húmeda.

Tabla 1. Aislados compatibles con *Streptomyces* productores de hidrolasas obtenidos de diferentes suelos y de un sistema de compostaje.

Sitio de muestreo	Características del suelo			Número de aislados	Códigos
	pH	Material orgánico fresco	Color		
Rizosfera de bosque nativo muy húmedo montano bajo	5.22	6 – 8 cm	Pardo muy oscuro	3	S1A, S2A, SH3A
Rizosfera de cultivo de hortensias (<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.)	5.71	2 – 4 cm	Pardo muy oscuro	5	S1B, S2B, S3B2-a, S3B2-b, S5B
Sendero en bosque nativo	6.20	0 – 0.5 cm	Pardo oliva	1	S2D
Rizosfera de cultivo de aguacate criollo (<i>Persea americana</i> Mill.)	5.78	3 – 5 cm	Pardo muy oscuro	12	S1E, S2E, S3E, S4E, S5E, S6E, S7E, S8E, S10E, S11E, S12E, S13E

Rizosfera de cultivo de mora andina (<i>Rubus glaucus</i> Bent-th.)	5.87	3 – 5 cm	Pardo muy oscuro	5	S2F, S3F, S4F, S4F-b, S7F
Rizosfera de cultivo de coles (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>caperata</i> L.)	5.99	3 – 5 cm	Pardo muy oscuro	2	S1G-a, S1G-b
Rizosfera de cerco vivo de limoncillo (<i>Swinglea glutinosa</i> (Blanco) Merr.)	6.12	0 – 0.5 cm	Pardo oliva	12	S1H, S2H, S3H, S4H, S5H, S6H, S7H, S8H, S10H, S11H, S13H, S17H
Sistema de compostaje	6.98	NA	Pardo grisáceo muy oscuro	3	S34, S40, S41

Fuente: autores.

Todos los aislados produjeron al menos una hidrolasa extracelular, encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada actividad por lo menos en uno de ellos; en general, el 52% mostraron las cuatro actividades enzimáticas evaluadas, mientras que en estudios similares realizados por Do *et al.* (2021) y Kumar *et al.* (2012), menos del 20 % del total de los microorganismos recuperados presentaron simultáneamente estas cuatro actividades hidrolíticas (Do *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2012). En estudios como el realizado por Bentley *et al.* (2002) se ha demostra-

do la presencia de genes codificantes para amilasas, proteasas, celulasas, lipasas y otras hidrolasas extracelulares en algunas especies de bacterias filamentosas como *S. coelicolor* y *S. avermitilis*, lo que confirma que es posible que algunos de los aislados obtenidos en este trabajo presenten esta diversidad enzimática.

De los 44 aislados evaluados, el 84% presentó actividad amilolítica (Figura 1); el aislado S17H fue el que presentó mayor actividad, pero no fue estadísticamente diferente a la registrada por otros como S13H, S41, S7F, S40 y S3F, con un nivel de

confianza del 95% (Tabla A1, ver anexo). A pesar de que la presencia de amilasas en actinobacterias mesófilas es un fenómeno común, 7 aislados obtenidos no mostraron degradación del almidón presente en el medio. Entre los trabajos que han recuperado microorganismos con actividad amilolítica a partir de sistemas de compostaje, Do *et al.* (2021) obtuvieron 47 aislados de actinobacterias de un compost, aunque solo 5 mostraron actividad amilolítica con halos entre 13 y 25 mm, un valor similar para 1 de los aislados obtenidos

en este estudio. Por su parte, Santos *et al.* (2012) encontraron que de 150 aislados de actinobacterias recuperadas a partir de un suelo de una zona desértica, 21 (14%) generaron halos de hidrólisis de almidón de más de 1.5 cm, al igual que dos de los 15 encontrados en un bosque tropical (13%) y 82 de los 121 obtenidos en un área montañosa (68%); esta proporción de aislados con actividad amilolítica con respecto al total de bacterias recuperadas fue menor que la obtenida en el presente estudio.

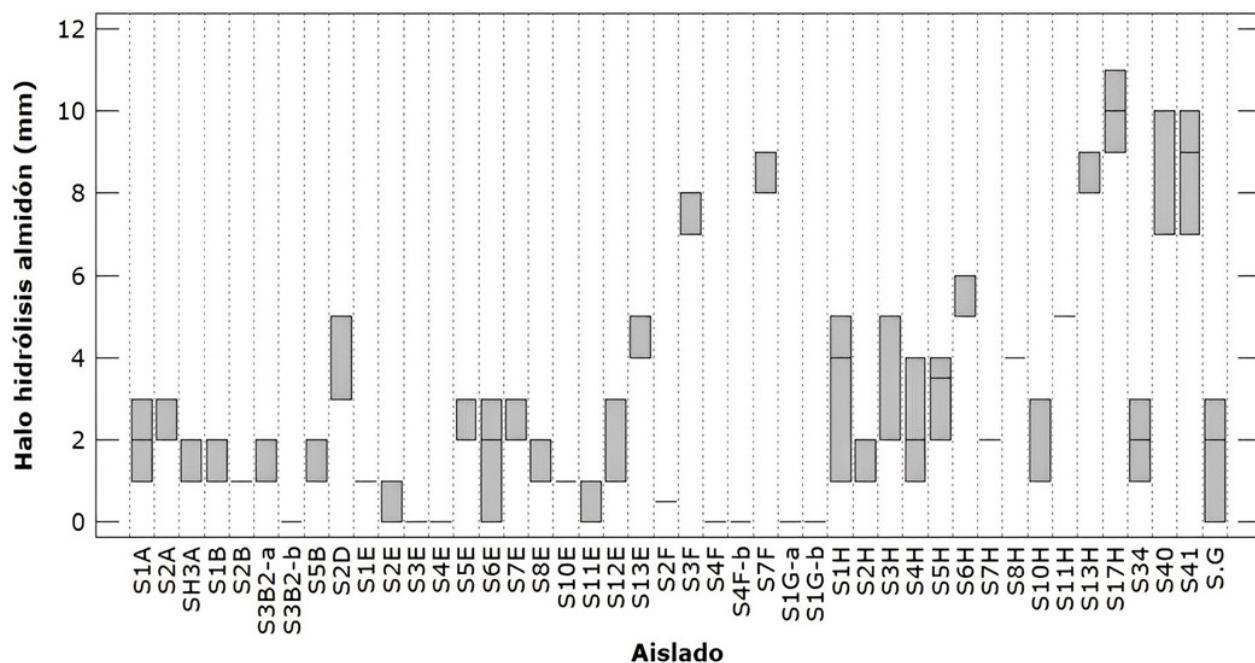


Figura 1. Actividad amilolítica de los aislados, representada en halos de hidrólisis de almidón revelados con lugol. Se muestran las medianas e intervalos de los datos.

Fuente: autores.

Por su parte, Mansour *et al.* (2015) aislaron 35 actinobacterias a partir de diferentes muestras de suelo, y todas presentaron actividad amilolítica; sin embargo, ninguno de estos aislados mostró actividad celulolí-

tica, a diferencia del presente estudio en el que el 98% de los aislamientos evaluados indicaron algún grado de hidrólisis de la CMC del medio de cultivo (Figura 2).

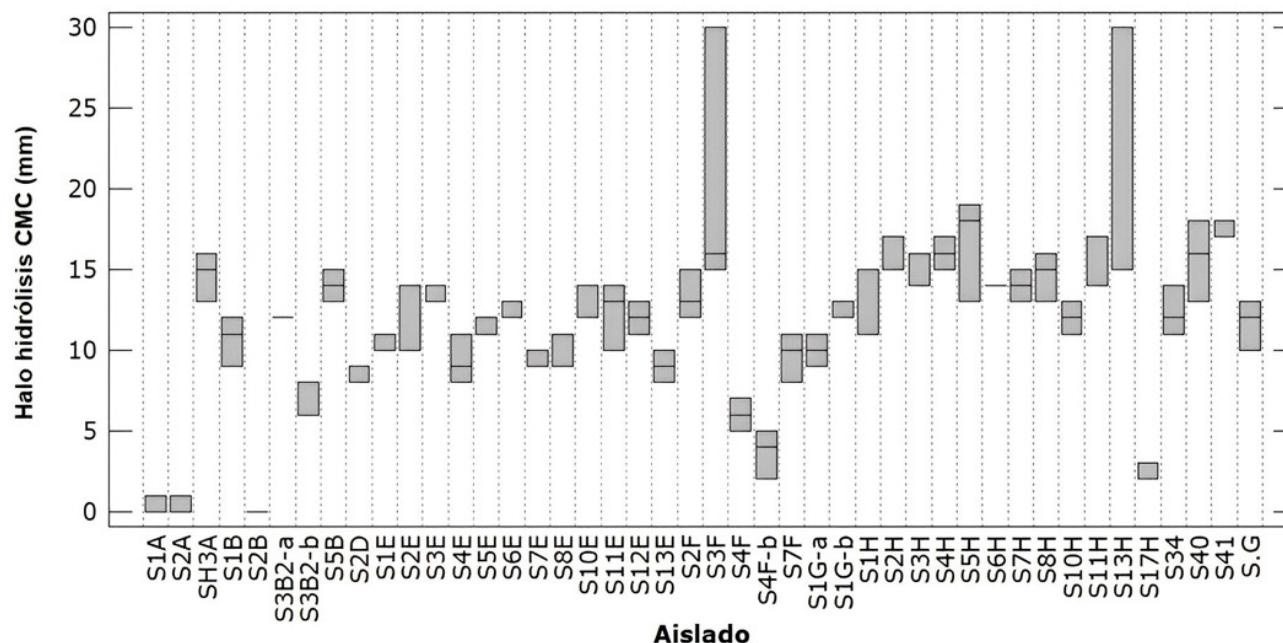


Figura 2. Actividad celulolítica de los aislados, representada en halos de hidrólisis de CMC revelados con rojo congo. Se muestran las medianas e intervalos de los datos.

Fuente: autores.

Los aislados con mayor actividad celulolítica en este estudio fueron S13H y S3F, aunque sin diferencias significativas con otros como S41, S5H, S4H, S11H, S2H y S40 (Tabla A1). Estos resultados son similares a los reportados por Das *et al.* (2014), quienes encontraron que entre 80–90% de las actinobacterias aisladas en su estudio, a partir de suelos agrícolas hidrolizaron la celulosa del medio de cultivo. Se han encontrado especies productoras de ce-

lulasas como *S. griseorubens* en un suelo contaminado con residuos municipales (Prasad *et al.*, 2013), y *S. flavogriseus*, *S. virginiae* y *S. griseoaurantiacus* en la rizosfera de suelos con cultivos de cereales (Castañeda-Cisneros *et al.*, 2020).

Do *et al.* (2021) también recuperaron 7 aislados del género *Streptomyces* a partir de un compost preparado principalmente con estiércol de vaca, pasto fresco y aserrín; 1 de sus aislados presentó un halo de

hidrólisis de CMC de 27 mm, similar al obtenido en este estudio con los de mayor actividad celulolítica. Cabe anotar que la proporción de aislados productores de celulasas fue la más alta debido a la presencia de material celulósico en los sitios de muestreo.

De igual manera, se evaluó la actividad proteolítica representada por la hidrolisis de la gelatina (Figura 3). En este caso, el 91% de los aislados mostró actividad, y S8H fue el de mayor capacidad de hidrolizar proteínas sin presentar diferencias significativas con otros como S17H, S6H, S4H, S7F, SH3A, S40, S41 y S1H (Tabla A1).

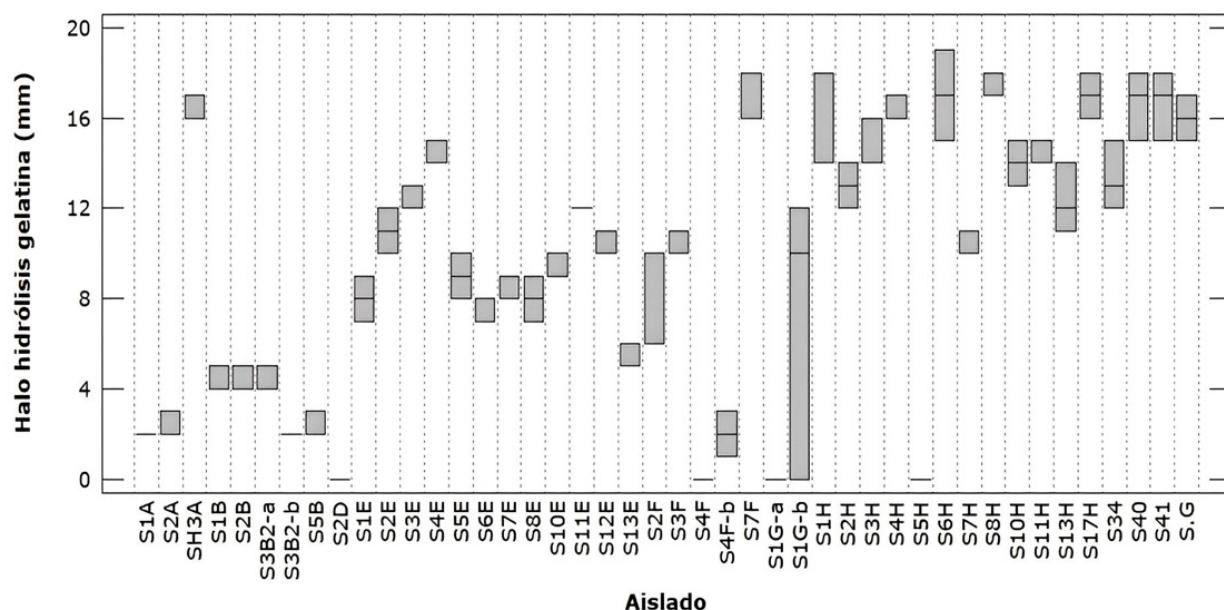


Figura 3. Actividad proteolítica de los aislados, representada en halos de hidrólisis de gelatina revelados con cloruro de mercurio. Se muestran las medianas e intervalos de los datos.

Fuente: autores.

Varias proteasas usadas en la industria como la pronasa y la fradiasa se obtienen a partir de bacterias filamentosas como *S. griseus* y *S. fradiae*, cuya presencia en diferentes suelos ya ha sido reportada (Arora *et al.*, 2005; El-Naggar *et al.*, 2016; Vaijayanthi *et al.*, 2016). Asimismo, Boughachihe *et al.* (2021) obtuvieron 5 aislados de actinobacterias, de las cuales solo 1 (20%)

mostró actividad proteolítica, un porcentaje inferior al obtenido en este trabajo (81%). De igual manera, Palaniyandi *et al.* (2013) colectaron 40 aislados consistentes con *Streptomyces* a partir de la rizosfera de un cultivo de ñame de los cuales solo 11 (28%) hidrolizaron la gelatina, y Kumar *et al.* (2012) obtuvieron 48 aislados de este

género a partir de humus de lombriz, 20 de ellos (42%) con actividad proteolítica.

También se evaluó la actividad lipolítica, y el 70% de los aislados mostraron algún grado de hidrólisis, estos fueron mayores para SH3A y S17H, aunque sin presentar diferencias estadísticas con otros como S3F, S3H y S4H (Figura 4, Tabla A1). Algunas especies de *Streptomyces* que pueden encontrarse en el suelo, por ejemplo *S. clavuligerus*, presentan actividad lipolítica (dos Santos *et al.* 2017). Además, Ugur *et al.* (2014) confirmaron la producción de lipasas para 270 aislados consistentes con este género usando medios de cultivo con

Rodamina-B como indicador de la hidrólisis de aceite de oliva. En otros trabajos, la proporción de aislados lipolíticos con respecto al total de los obtenidos a partir de muestras de suelo no superan el 15%, valores inferiores al alcanzado en este estudio (70%) (Do *et al.*, 2021; Mansour *et al.*, 2015). En comparación con las otras enzimas evaluadas, la producción de lipasas ligada a la disponibilidad de sustrato se ve limitada, considerando la poca cantidad de aceites y grasas presentes en las rizosferas, de la misma forma que en los suelos seleccionados para el aislamiento de actinobacterias.

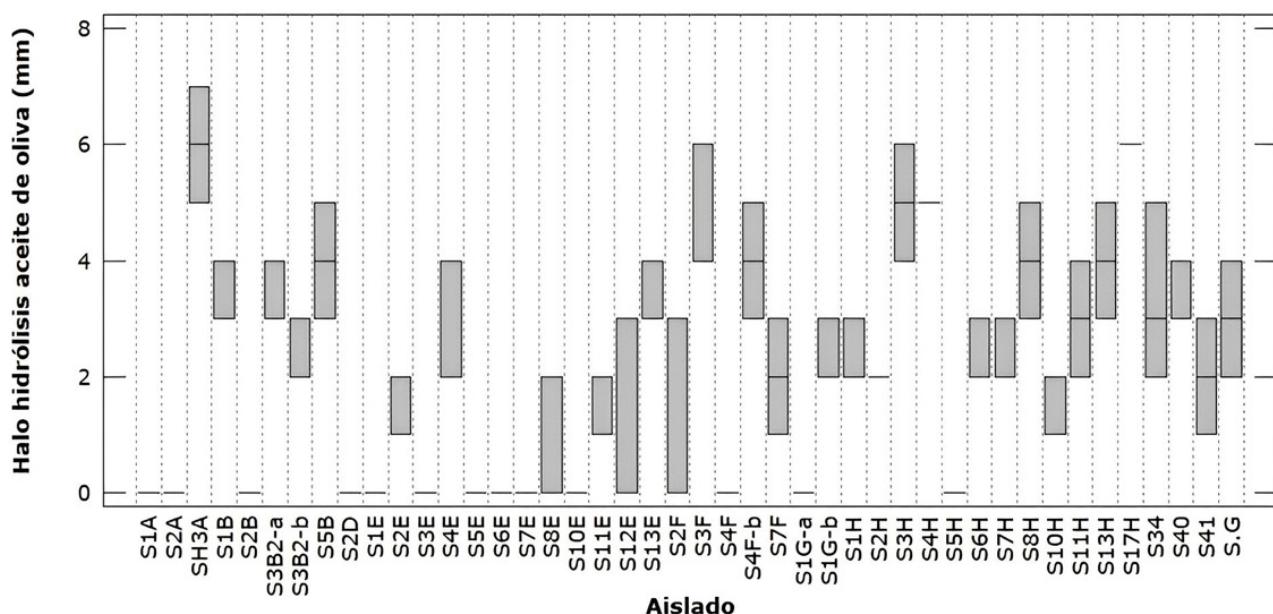


Figura 4. Actividad lipolítica de los aislados, representada en halos de hidrólisis de aceite de oliva revelados con Rodamina-B. Se muestran las medianas e intervalos de los datos.

Fuente: autores.

Finalmente, en todos los sitios de muestreo evaluados se encontró al menos un aislado productor de hidrolasas, y se encontraron

diferencias significativas para cada actividad según el origen de los aislados ($p < 0.05$) (Figura 5, Tabla A2, ver anexo).

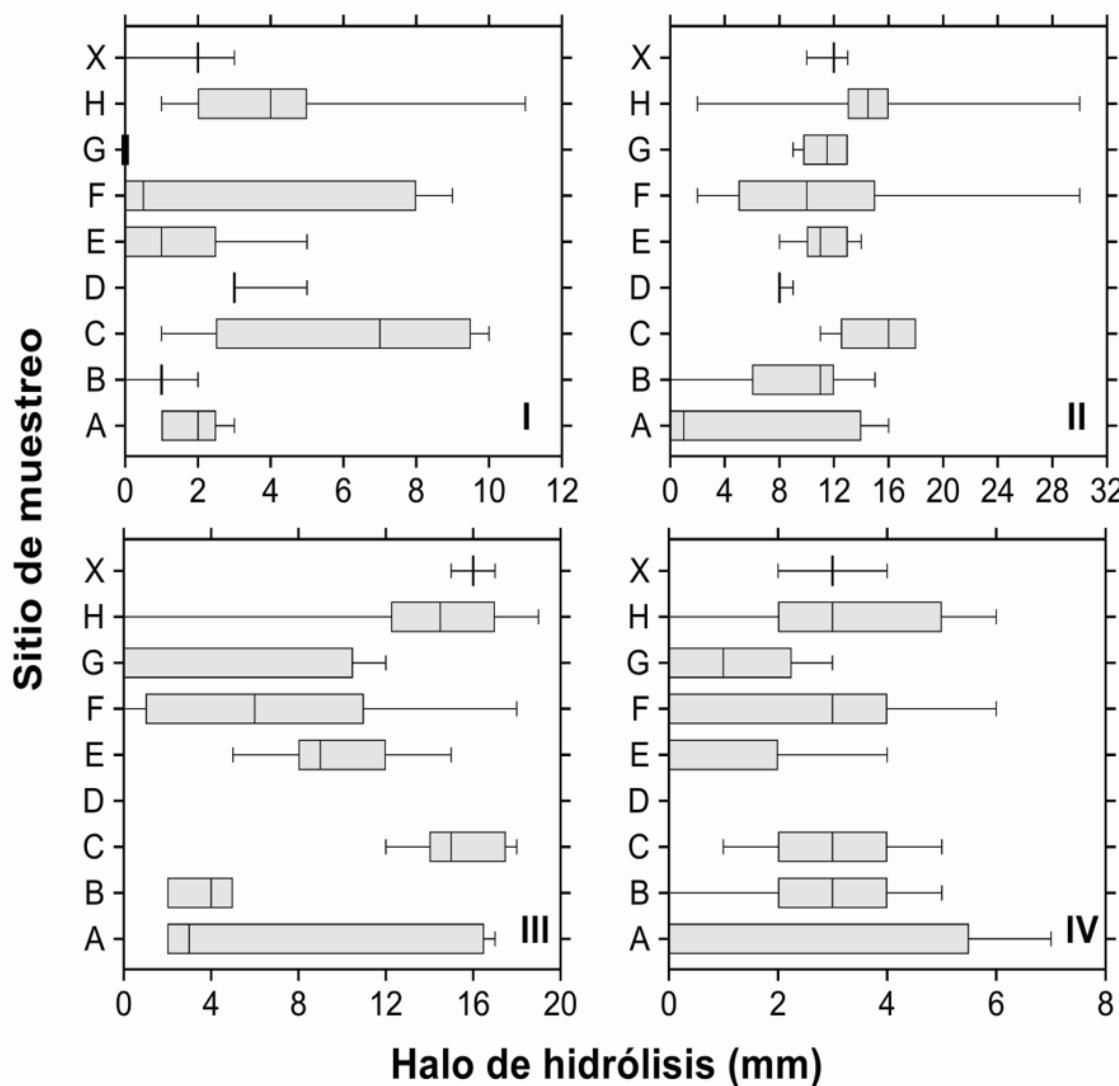


Figura 5. Actividades hidrolíticas evaluadas según el origen de los aislados: I. Amilasas; II. Celulasas; III. Proteasas; IV. Lipasas. Se muestran las medianas e intervalos de los datos para cada sitio de muestreo: A. Rizosfera de bosque nativo; B. Rizosfera de cultivo de hortensias; C. Sistema de compostaje; D. Sendero de bosque nativo; E. Rizosfera de cultivo de aguacate; F. Rizosfera de cultivo de mora andina; G. Rizosfera de cultivo de coles; H. Rizosfera de cerco vivo; X. *Streptomyces griseus* subsp. *griseus* ATCC®10137™.

Fuente: autores.

En general, es posible encontrar actinobacterias en diversos ecosistemas como suelos, sedimentos marinos y de agua dulce, sistemas de compostaje, materia orgánica en descomposición, entre otros. Muchas de las especies de este grupo microbiano, especialmente del género *Streptomyces* que son aisladas de suelos y rizosferas, producen enzimas extracelulares que les permiten utilizar sustratos complejos como almidón, celulosa, hemicelulosa, lignina o incluso gomas, y su actividad enzimática puede ser diferente según el sitio donde se encuentren, pues muchas de sus enzimas son inducibles según los sustratos que tengan disponibles (Quinn *et al.*, 2020; Shivalata y Satyanarayana, 2015).

En este estudio no se aislaron microorganismos amilolíticos a partir de la rizosfera del cultivo de coles, y la mayor actividad se encontró para los obtenidos del sistema de compostaje y las rizosferas del bosque y del cerco vivo. De igual forma, la actividad celulolítica fue mayor para los aislados obtenidos del sistema de compostaje y de la rizosfera del cerco vivo. No se obtuvieron aislados, en la muestra tomada del sendero de bosque nativo, que hidrolizaran gelatina; y la mayor actividad proteolítica la presentaron los aislados obtenidos de la rizosfera del cerco vivo y del sistema de compostaje. El único aislado obtenido a partir del sendero del bosque tampoco mostró actividad lipolítica; los demás sitios de muestreo presentaron aislados con actividades lipolíticas sin diferencias significativas. Se comprobó, además, la capacidad hidrolítica de

la cepa *Streptomyces griseus* subsp. *griseus* ATCC®10137™, la cual no fue diferente, con una confianza del 95%, de las mayores productoras de amilasas, celulasas, proteasas y lipasas encontradas en este estudio.

Los sitios de muestreo que permitieron recuperar una mayor proporción de aislados con actividad hidrolítica fueron la rizosfera del cerco vivo y el sistema de compostaje. La rizosfera del cerco vivo de *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr. es un ambiente con alteraciones antropogénicas debido al suministro de fertilizantes que representan fuentes de nitrógeno adicionales para la microbiota asociada con las raíces de estos arbustos; este suelo en el momento del muestreo, presentó menores niveles de humedad que las demás muestras, y esto puede dar ventajas competitivas a algunas bacterias filamentosas sobre otro tipo de bacterias (Radha *et al.*, 2017).

Por otro lado, el sistema de compostaje, del cual fueron obtenidos los aislados S34, S40 y S41, fue implementado con el fin de realizar el tratamiento de residuos orgánicos con alto contenido de almidón y celulosa, al igual que de proteínas y lípidos en menor medida. La presencia de bacterias filamentosas es un indicador de la madurez del sistema de compostaje, y en este estudio, aunque se encontraron pocos aislados, estos sí presentaron un potencial enzimático importante. En otro trabajo similar, se reportó la recuperación de 90 aislados a partir de un sistema de compostaje establecido a partir de residuos agroindustriales y vegetales, aun-

que solo cuatro de ellos mostraron potencial celulolítico superior a los obtenidos en este estudio (Amore *et al.*, 2012).

Según los resultados de esta investigación, las rizosferas y los sistemas de compostaje son sitios potenciales para encontrar aislados de bacterias filamentosas productoras de enzimas hidrolíticas con múltiples aplicaciones en la industria, siendo posible que haya una relación entre las actividades enzimáticas de los aislados obtenidos y las propiedades fisicoquímicas del lugar de muestreo, sin embargo, el número de bacterias recuperadas en algunos suelos fue muy bajo y no confirmó dicha relación.

4. CONCLUSIONES

Se encontraron bacterias filamentosas en diferentes tipos de suelo, incluyendo rizosferas de cultivos artesanales y de bosques nativos; y, aunque se reporta en la literatura que el tipo de suelo ideal para el aislamiento de estas bacterias es uno ligeramente alcalino con alta cantidad de materia orgánica además de poca intervención antropogénica, en este estudio fueron encontrados muchos aislados en suelos manipulados para la formación de cercos vivos al lado de una vía pavimentada. De igual forma, se confirmó la presencia de

actinobacterias con alta actividad hidrolítica en un sistema de compostaje casero, la cual puede estar asociada a la alta disponibilidad de moléculas complejas como almidón y celulasa en los sustratos. Aún falta analizar la relación entre la presencia de dichas moléculas en las rizosferas y la actividad enzimática expresada por las actinobacterias nativas. Igualmente, se debe estudiar si las rizosferas de cultivos diferentes permiten establecer interacciones microbianas que potencien la liberación de ciertas enzimas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Víctor Manuel Osorio-Echeverri: Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, administración del proyecto, escritura, borrador original. **Jessica Johanna Obando-García:** metodo-

dología, investigación, análisis de datos. **Elizabeth Castrillón-Duque:** metodología, investigación, análisis de datos. **José Gregorio Martínez:** análisis de datos, revisión y edición.

► AGRACIEMIENTOS ◀

A la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia por la financiación del proyecto “Potencial enzimático de actinomicetos aislados de suelo y de un proceso de compostaje”, aprobado según ACTA 29 del 17 de diciembre de 2013.

A Juan Alberto Trujillo-Salazar por su tiempo dedicado en el planteamiento del proyecto; a Marcela Mora-López por su

apoyo en algunos análisis estadísticos y en la actualización del manuscrito final; a los estudiantes del Semillero de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud (SIFACS) que participaron en algunas actividades en el laboratorio; y a las docentes asesoras, por el acompañamiento a los estudiantes en la presentación de la propuesta y de algunos resultados preliminares.

► LITERATURA CITADA ◀

Amore, A., Pepe, O., Ventorino, V., Birolo, L., Giangrande, C., and Faraco, V. (2012). Cloning and recombinant expression of a cellulase from the cellulolytic strain *Streptomyces* sp. G12 isolated from compost. *Microbial Cell Factories*, 11, 164. <http://doi.org/10.1186/1475-2859-11-164>

Arora, A., Nain, L., and Gupta, J. K. (2005). Solid-state fermentation of wood residues by *Streptomyces griseus* B1, a soil isolate, and solubilization of lignins. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 21, 303-308. <http://doi.org/10.1007/s11274-004-3827-3>

Atlas, R. M. (2010). *Handbook of Microbiological Media*. [4^a ed.]. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/EBK1439804063>

Ayuningrum, D., Sabdaningsih, A., and Jati, O. (2021). Screening of actinobac-

teria-producing amylolytic enzyme in sediment from *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) ponds in Rembang District, Central Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(4), 1819-1828. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220427>

BBC Publishing. (2021). *Global Markets for Enzymes in Industrial Applications. Report Highlights*. <https://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/global-markets-for-enzymes-in-industrial-applications.html>

Bentley, S. D., Chater, K. F., Cerdeño-Tárraga, A.-M., Challis, G. L., Thomson, N. R., James, K. D., Harris, D. E., Quail, M. A., Kieser, H., Harper, D., Bateman, A., Brown, S., Chandra, G., Chen, C. W., Collins, M., Cronin, A., Fraser, A., Goble, A., Hidalgo, J., and Hopwood, D. A. (2002). Complete genome sequence

of the model actinomycete *Streptomyces coelicolor* A3(2). *Nature*, 417, 141-147. <http://doi.org/10.1038/417141a>

Boughachiche, F., Rachedi, K., Zerizer, H., Duran, R., Karama, S., Biaci, M., Aknouche, Z., Bouchina, S., and Boulahrouf, A. (2021). Production of protease on wheat bran by a newly isolated *Streptomyces* sp. under solid state fermentation. *Journal of Bio-Science*, 29(1), 33-48. <https://doi.org/10.3329/jbs.v29i0.54820>

Business Wire. (2019). *Industrial enzymes market growth, trends, and forecast 2019-2024: Novozymes, DowDuPont, Royal DSM, AB Enzymes, and BASF Account for 75% of the Total Market.* Author. <https://www.businesswire.com/news/home/20190329005262/en/Industrial-Enzymes-Market-Growth-Trends-Forecast-2019-2024>

Castañeda-Cisneros, Y. E., Mercado-Flores, Y., Anducho-Reyes, M. A., Álvarez-Cervantes, J., Ponce-Lira, B., Evangelista-Martínez, Z., and Téllez-Jurado, A. (2020). Isolation and selection of *Streptomyces* species from semi-arid agricultural soils and their potential as producers of xylanases and cellulases. *Current Microbiology*, 77, 3460-3472. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02160-7>

Celaya-Herrera, S., Casados-Vázquez, L. E., Valdez-Vázquez, I., Barona-Gómez, F., Bideshi, D. K., and Barboza-Corona, J. E. (2021). A cellulolytic *Streptomyces* sp. isolated from a highly oligotrophic

niche shows potential for hydrolyzing agricultural wastes. *BioEnergy Research*, 14, 333-343. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10174-z>

Danso, B., Ali, S. S., Xie, R., and Sun, J. (2022). Valorisation of wheat straw and bioethanol production by a novel xylanase- and cellulase-producing *Streptomyces* strain isolated from the wood-feeding termite, *Microcerotermes* species. *Fuel*, 310(PartA), 122333. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122333>

Das, P., Solanki, R., and Khanna, M. (2014). Isolation and screening of cellulolytic actinomycetes from diverse habitats. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 5(3), 438-451

Do, T. T., Le V. T., Ngo, C. C., Do, T. T. H., and Dang, T. H. P. (2021). Biological characteristics and classification of thermophilic actinomycetes showed extracellular hydrolytic enzymes producing ability isolated from compost. *E3S Web of Conferences*, 265, 04008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126504008>

dos Santos, J. B. C., Da Silva Cruz, R. G., and Tardioli, P. W. (2017). Production of whole-cell lipase from *Streptomyces clavuligerus* in a bench-scale bioreactor and its first evaluation as biocatalyst for synthesis in organic medium. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183, 218-240. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2440-5>

El-Naggar, N. E., Deraz, S. F., Soliman, H. D., El-Deeb, N. M., and El-Ewasly, S. M.

(2016). Purification, characterization, cytotoxicity and anticancer activities of L-asparaginase, anti-colon cancer protein, from the newly isolated alkaliphilic *Streptomyces fradiae* NEAE-82. *Scientific Reports*, 6, 32926. <https://doi.org/10.1038/srep32926>

Fasim, A., More, V.S., and More, S.S. (2021). Large-scale production of enzymes for biotechnology uses. *Current Opinion in Biotechnology*, 69, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.12.002>

Gajda, A. M., Czyz, E. A., Dexter, A. R., Furtak, K. M., Grządziel, J., and Stanek-Tarkowska, J. (2018). Effects of different soil management practices on soil properties and microbial diversity. *International Agrophysics*. 32, 81-91. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0089>

Goodfellow, M. (2012). Phylum XXVI. Actinobacteria phyl. nov. En M. Goodfellow, P. Kämpfer, H.-J. Busse, M.E. Trujillo, K. Suzuki, W. Ludwig, and W.B. Whitman (Eds), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: The Actinobacteria* (Vol 5. pp. 33-2028). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68233-4>

Haritha, R., Siva Kumar, K., Jagan Mohan, Y. S. Y. V., and Ramana, T. (2010). Amylolytic and proteolytic actinobacterial isolated from marine sediments of Bay of Bengal. *International Journal of Microbiology Research*, 1(2), 37-44.

Hormoznejad, R., Saberi, S., Moridnia, A., Azish, M., and Elyasi Far, B. (2022). Optimization of the alpha-amylase pro-

duction from microbial source: a systematic review of experimental studies. *Trends in Medical Sciences*, 2(2), e129317. <https://doi.org/10.5812/tms-129317>

Kumar, V., Bharti, A., Negi, Y. K., Gusain, O., Pandey, P., and Bish, G. S. (2012). Screening of actinomycetes from earthworm castings for their antimicrobial activity and industrial enzymes. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43(1), 205-214. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822012000100022>

Lamilla, C., Pavez, M., Santos, A., Hermosilla, A., Llanquinao, V., and Barrientos, L. (2017). Bioprospecting for extracellular enzymes from culturable Actinobacteria from the South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Biology*, 40, 719-726. <https://doi.org/10.1007/s00300-016-1977-z>

Mansour, S. R., Abdel-Azeem, A. M., and Abo-Deraz, S. S. S. (2015). A new record of actinobacteria isolated from soil in Jerusalem and their enzymatic potential [version 1; peer review: 2 not approved]. *F1000Research*, 4, 11. <https://doi.org/10.12688/f1000research.3257.1>

Mohamed, M. A., and Awad, H. M. (2021). New lipase-producing *Streptomyces* isolated from halo-alkaline habitat in Wadi El Natrun: polyphasic identification and statistical optimization of enzyme production. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 10, 3. <https://doi.org/10.1186/s43088-020-00090-8>

- Nigam, P. S. (2013). Microbial enzymes with special characteristics for biotechnological applications. *Biomolecules*, 3, 152-166. <https://doi.org/10.3390/biom3030597>
- Nithya, K., Muthukumar, C., Kadaikunnam, S., Alharbi, N. S., Khaled, J. M., and Dhanasekaran, D. (2017). Purification, characterization, and statistical optimization of a thermostable α -amylase from desert actinobacterium *Streptomyces fragilis* DA7-7. *3 Biotech*, 7, 350. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0981-5>
- Ousaadi, M. I., Merouane, F., Berkani, M., Almomani, F., Vasseghian, Y., and Kitouni, M. (2021). Valorization and optimization of agro-industrial orange waste for the production of enzyme by halophilic *Streptomyces* sp. *Environmental Research*, 201, 111494. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111494>
- Palaniyandi, S. A., Yang, S. H., and Suh, J.-W. (2013). Extracellular proteases from *Streptomyces phaeopurpureus* ExPro138 inhibit spore adhesion, germination and appressorium formation in *Colletotrichum coccodes*. *Journal of Applied Microbiology*, 115(1), 207-217. <https://doi.org/10.1111/jam.12212>
- Pérez, N., Jaramillo J, D. F., Ruiz, O. S., and Parra, L. N. (2017). Caracterización de un Andisol de la cuenca alta de la quebrada Santa Elena, Oriente Antioqueño, Colombia. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 6(1), 24-38. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v6n1.60628>
- Prasad, P., Singh, T., and Bedi, S. (2013). Characterization of the cellulolytic enzyme produced by *Streptomyces griseorubens* (Accession No. AB184139) isolated from Indian soil. *Journal of King Saud University-Science*, 25, 245-250. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.03.003>
- Quinn, G. A., Banat, A. M., Abdelhamid, A. M., and Banat, I. M. (2020). *Streptomyces* from traditional medicine: sources of new innovations in antibiotic discovery. *Journal of Medical Microbiology*, 69(8), 1040-1048. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001232>
- Radha, T. K., Rao, D. L. N., and Sreeramulu, K. R. (2017). Actinobacteria of arid and semi-arid soils: Antagonism to fungal pathogens and plant growth promoting potential. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 11(2), 1045-1052. <https://doi.org/10.22207/JPAM.11.2.47>
- Santos, É. R., Teles, Z. N. S., Campos, N. M., Souza, D. A. J., Bispo, A. S. R., and Nascimento, R. P. (2012). Production of α -amylase from *Streptomyces* sp. SLBA-08 strain using agro-industrial by-products. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55(5), 793-800. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000500020>
- Shi, B., Zhang, J., Wang, C., Ma, J., and Sun, W. (2018). Responses of hydrolytic enzyme activities in saline-alkaline soil to mixed inorganic and organic nitrogen addition. *Scientific Reports*, 8, 4543.

<https://doi.org/10.1038/s41598-018-22813-9>

Shivlata, L., and Satyanarayana, T. (2015). Thermophilic and alkaliphilic Actinobacteria: biology and potential applications. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1014. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01014>

Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., and Mehta, P. K. (2016). Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. *3 Biotech*, 6, 174. <http://doi.org/10.1007/s13205-016-0485-8>

Sundaram, A., and Krishna Murthy, T. P. (2014). α -Amylase production and applications: a review. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 2(4), 166-175. <http://doi.org/10.12691/jaem-2-4-10>

Suthindhiran, K., Jayasri, M. A., Dipali, D., and Prasar, A. (2014). Screening and characterization of protease pro-

ducing actinomycetes from marine saltern. *Journal of Basic Microbiology*, 54, 1098-1109. <https://doi.org/10.1002/jobm.201300563>

Ugur, A., Sarac, N., Boran, R., Ayaz, B., Ceylan, O., and Okmen, G. (2014). New lipase for biodiesel production: partial purification and characterization of LipSB 25-4. *ISRN Biochemistry*, 2014, 289749. <https://doi.org/10.1155/2014/289749>

Vaijayanthi, G., VijayakumaR, R., and Dhanasekaran, D. (2016). Actinobacteria-A biofactory of novel enzymes. En D. Dhanasekaran (Ed), *Actinobacteria-Basics and Biotechnological Applications* (pp. 329-352). Intech. <https://doi.org/10.5772/61436>

Waites, M. J., Morgan, N. L., Rockey, J. S., and Higton, G. (2001). Microbial enzymes. En *Industrial Microbiology: An Introduction* (pp. 133-143). Blackwell Science.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 24-11-2022
Fecha de aceptado: 31-03-2023
DOI: 10.22490/21456453.6537

RELACIÓN ENTRE MATERIAL PARTICULADO, VARIABLES METEOROLÓGICAS E INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS EN LA ZONA NORTE DE OCAÑA

RELATIONSHIP BETWEEN PARTICULATE MATTER, WEATHER VARIABLES, AND ACUTE RESPIRATORY INFECTIONS IN THE NORTH ZONE OF OCAÑA

Alexander Armesto Arenas ¹

Julio Eduardo Cañón Barriga ²

¹ Magister en Gestión Ambiental, Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia, aarmestoa@ufpsco.edu.co

² Ph.D. en hidrología, Profesor titular, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
julio.canon@udea.edu.co

Citación: Armesto, A. y Cañón, J. (2024). Relación entre material particulado, variables meteorológicas e infecciones respiratorias agudas en la zona norte de Ocaña. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 251-279.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6537>

RESUMEN

Contextualización: esta investigación se enfoca en la salud pública y la calidad del aire de la zona norte residencial de la ciudad de Ocaña, impactada por una vía nacional con tráfico lento que provoca altas emisiones de material particulado (PM10).

Vacío de conocimiento: la investigación responde a las siguientes inquietudes: ¿cómo se relacionan las concentraciones de PM10 y PM2.5 en la zona?; ¿hacia dónde se dispersa el PM10 emitido por las fuentes móviles?; ¿cuáles son las repercusiones de la dispersión en los barrios de la zona norte?; ¿cuáles han sido los grupos etarios significativamente afectados por infecciones respiratorias agudas (IRA) debidas a las condiciones climáticas y el material particulado?

Propósito: analizar la correlación del material particulado (PM10 y PM2.5) con las condiciones meteorológicas y con el grado de correspondencia con las infecciones respiratorias agudas (IRA) de la zona norte de Ocaña, Colombia.

Metodología: se utilizó información oficial de los años 2018, 2019 y 2021, incluyendo mediciones propias de PM2.5 mediante un equipo automatizado. Las variables relacionadas con las IRA se agruparon por sexo, edad, barrio; y se

relacionaron con el material particulado y condiciones meteorológicas, mediante análisis factorial múltiple (AFM) y modelos de regresión lineal.

Resultados y conclusiones: **Resultados:** la relación PM2.5/PM10 es significativa (Pearson $r = 0.812$), y sus concentraciones son superiores a las permitidas. El PM10 tuvo correlación significativa con el viento, la precipitación y la humedad (-0.51, -0.53 y -0.56). Las mujeres presentaron más casos registrados de IRA que los hombres, con una mayor correlación significativa ($p < 0.05$) con el PM10 y la humedad relativa, especialmente para edades entre uno a cuatro años, y mayores de 70 años. Asimismo, los barrios cercanos a la vía nacional, orientados en la dirección del viento, mostraron mayores casos de IRA, además de mayor correlación significativa con el PM10. En conclusión, las concentraciones de PM10 y PM2.5 están significativamente correlacionadas entre sí, e influenciadas por las condiciones climáticas, del mismo modo, sus impactos en la salud respiratoria son significativos en niños menores de cinco años, especialmente los que residen en la dirección de dispersión del PM10.

Palabras clave: contaminación atmosférica, condiciones meteorológicas, salud, tráfico urbano, vía urbana

ABSTRACT

Contextualization: This research focuses on public health and air quality in the northern residential zone of the city of Ocaña, affected by a national road with slow traffic that causes high emissions of particulate matter (PM10).

Knowledge gap: The research addresses the following concerns: How do PM10 and PM2.5 concentrations relate in the zone? Where does the dispersion of PM10 emitted by mobile sources occur? What are the impacts of PM dispersal in the northern neighborhoods? What age groups have been significantly impacted by Acute Respiratory Infections (ARIs) due to climatic conditions and particulate matter?

Purpose: To analyze the correlation of particulate matter (PM10 and PM2.5) with weather conditions and the degree of correspondence of acute respiratory infections (ARIs) in the north zone of Ocaña, Colombia.

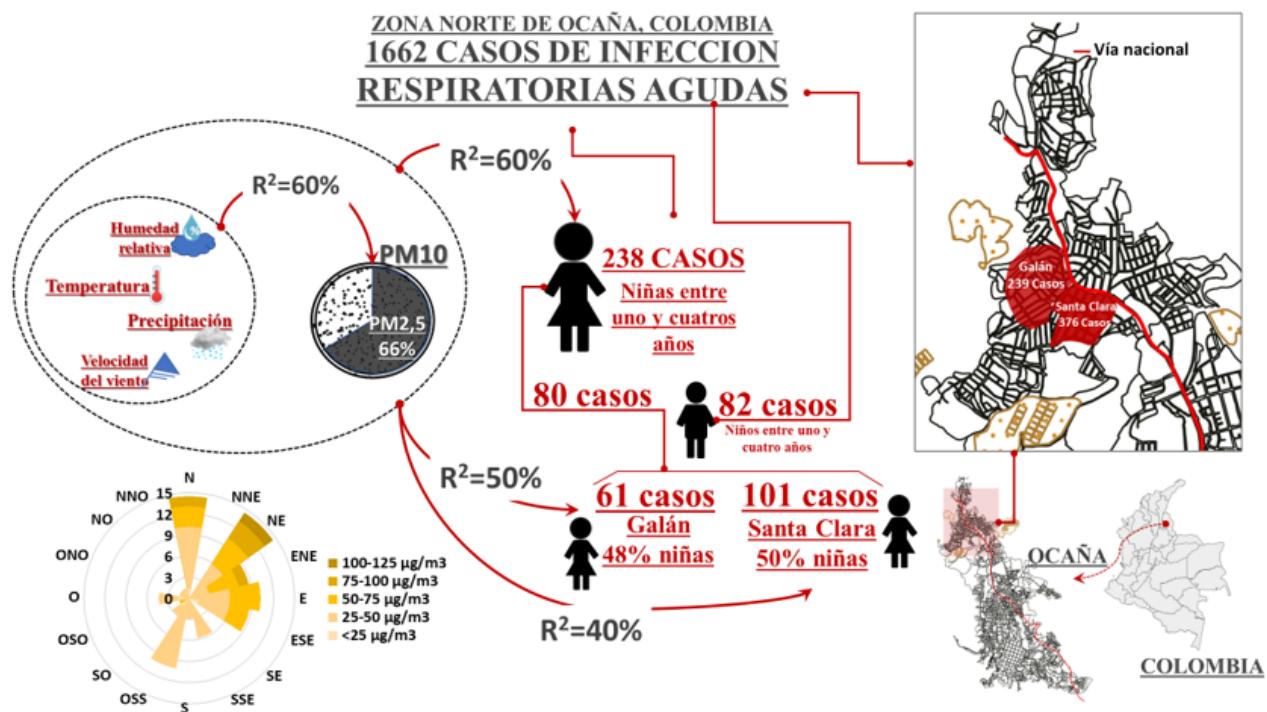
Methodology: Official information from 2018, 2019, and 2021 was used, including PM2.5 measurements using automated equipment. Variables related to ARIs were grouped by sex, age, and neighborhood,

and they were related to particulate matter and meteorological conditions using multiple factor analysis (MFA) and linear regression models.

Results and conclusions: **Results:** The PM_{2.5}/PM₁₀ ratio is significant (Pearson $r=0.812$) and its concentrations are higher than allowed. PM₁₀ had a significant correlation with wind, precipitation, and humidity (-0.51, -0.53, and -0.56). Women had more recorded cases of ARI than men, with a significant correlation ($p<0.05$) with PM₁₀ and relative humidity, especially for ages one to four and over 60 years. Likewise, neighborhoods downwind and near the national road, showed higher cases of ARI and a greater significant correlation with PM₁₀. **In conclusion**, PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations are significantly correlated with each other and influenced by climatic conditions in Ocaña. Their impacts on respiratory health are significant in children under five years of age, especially those residing in the direction of main PM₁₀ dispersal.

Keywords: air pollution, health, urban traffic, weather conditions, urban road

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y del parque automotor en las ciudades provoca un aumento en la contaminación atmosférica (He *et al.*, 2021) e impacta la salud respiratoria de sus habitantes (Han *et al.*, 2017). Diferentes investigaciones (Mannucci y Franchini, 2017; Hime *et al.*, 2018; Arregocés *et al.*, 2021) concluyen que las alteraciones de salud debido a las emisiones por fuentes móviles son muy comunes en personas que viven cerca de las vías. Por otro lado, son pocas las medidas de mitigación que se tienen (Gabbe y Wang,

2019). Asimismo, la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 es una de las principales causas de este tipo de problemas (Sosa *et al.*, 2017; Mukherjee y Agrawal, 2017), siendo los niños los más afectados (Mahapatra *et al.*, 2020; Manosalidis *et al.*, 2020)

A nivel mundial, las infecciones respiratorias agudas (IRA) se encuentran entre los principales problemas de salud pública (Soriano *et al.*, 2020), mientras que las emisiones de partículas por fuentes móviles son uno de los principales problemas

de calidad del aire (Pineda, 2018). En Colombia, particularmente en las ciudades de Bogotá (Colla *et al.*, 2021; Mangones *et al.*, 2020; Zafra *et al.*, 2021) y Medellín (Gil *et al.*, 2020; Hernández *et al.*, 2020), se registran correlaciones significativas del PM2.5 con las muertes de tipo cardiovascular y pulmonar. De lo mencionado se destaca que, en la mayoría de los casos, los estudios sobre los efectos del material particulado se concentran en las grandes ciudades de Colombia sin tener en cuenta que las ciudades intermedias pueden presentar efectos iguales (Rodríguez, 2018). Al respecto, en el año 2018, Ocaña se ubicó en el segundo lugar del departamento de Norte de Santander, Colombia, con más episodios de IRA, de los cuales, de forma predominante, el 34% pertenecieron a los grupos etarios menores de 5 años (IDS, 2019). De acuerdo con registros suministrados por el Hospital Emiro Quintero Cañizares Ocaña, la zona norte de Ocaña es una de las que presenta mayores casos de IRA en la ciudad, argumentándose como posibles causas, la afluencia de población flotante desde Venezuela y otras ciudades de Colombia, así como por eventos culturales, flujo local de personas y condiciones climáticas.

En conformidad con el plan maestro de movilidad de la ciudad de Ocaña (Alcaldía Municipal de Ocaña, 2015), la zona norte, junto con la comuna uno, son los lugares más comerciales de Ocaña. Asimismo, mediciones de material particulado realizadas por la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR), con el apoyo de la Uni-

versidad Francisco de Paula Santander Ocaña, indican que la zona norte presenta mayor concentración de PM10 que la comuna uno y, además, los promedios mensuales de concentraciones de PM10 frecuentan más valores por encima de lo exigido por la normativa colombiana (Pineda y Santiago, 2017). En muestras de PM10 tomadas de ese lugar, se han encontrado hongos relacionados con enfermedades respiratorias (Cuello *et al.*, 2017), aunque algunos análisis anuales mostraron un grado de correlación bajo entre la concentración de PM10 y las IRA (Contreras, 2016). Por otra parte, la zona norte es uno de los lugares que presenta un tramo vial con mayores flujos vehiculares de tipo pesado en comparación con otras vías de Ocaña (Fonseca y Delgado, 2017), dado que la comuna es atravesada por una vía nacional que comunica a Venezuela con el centro de Colombia, y su flujo vehicular alcanza los 235 tractocamiones por día.

En estudios de contaminación atmosférica y sus efectos en la salud humana, es necesario tener en cuenta la interpretación de modelos en cuanto a la causalidad y el efecto. (Del Campo y Matamoros, 2020; Roy *et al.*, 2019; Cataldo. 2019). En este sentido, es necesario precisar que este artículo es el resultado de un estudio correlacional basado en un análisis grupal de registros hospitalarios de IRA de la zona norte de Ocaña de concentración de PM10 y de las condiciones meteorológicas del área de estudio. De este modo, mediante la aplicación de modelos de análisis factorial múltiple y de regresión lineal simple y múltiple, se analizan las correlaciones

entre la concentración de PM2.5 y la concentración de PM10, así como las correlaciones entre el PM10 y las condiciones meteorológicas, al igual que las correlaciones entre las variables mencionadas y los casos hospitalarios de IRA de la zona

norte de Ocaña, teniendo como hipótesis que las condiciones meteorológicas, la concentración de PM10 y el PM2.5 tienen una correlación significativa, además, que estos factores presentan una relación estadísticamente relevante con las IRA.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación fue realizada en la zona norte de la ciudad de Ocaña, Colombia (Figura 1A). Ocaña está ubicada en el nororiente colombiano (Figura 1B) en una depresión montañosa de la cordillera oriental a 1202 msnm (Figura 1D). El lugar tiene una topografía ondulada con un área de 1.34 km², atravesada por 1.68 km de vía nacional. Conjuntamente, en el norte se conecta una vía secundaria, mientras que en el oriente y occidente existen vías terciarias.

Los parques, centros educativos y religiosos de la zona norte de Ocaña están distribuidos en el área residencial. Su actividad económica está distribuida a los costados de la vía mencionada, no tiene industrias y se caracteriza por tener centros comerciales, micro mercados, talleres de mecánica de motocicletas, carros y tractocamiones. Asimismo, las emisiones atmosféricas provocadas en esta zona están principalmente representadas por fuentes móviles.

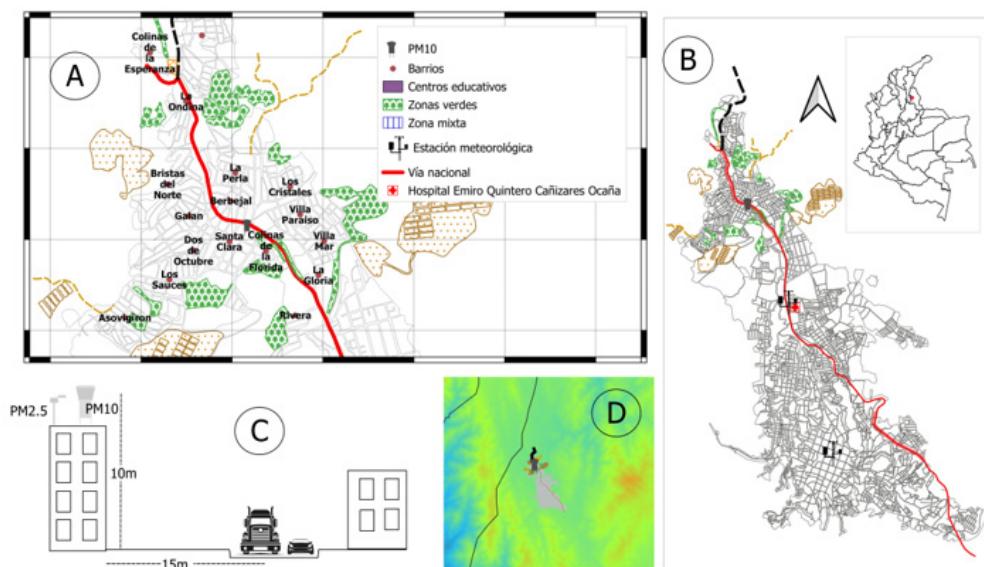


Figura 1. Área de estudio, zona norte de Ocaña.

Fuente: autores.

Datos utilizados

Los registros de casos de IRA fueron suministrados por el Sistema de Vigilancia de Salud Pública (SIVIGILA), específicamente del hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña. Los respectivos registros fueron obtenidos en el orden de semana, edad y barrio, entre mayo de 2018 y septiembre de 2019. La información de concentración de material particulado PM10, comprendida entre las fechas mencionadas, fue suministrada por la red de monitoreo de calidad del aire (Convenio Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y la Corporación Autónoma de la Frontera Nororiental). En esta red se manejó un equipo manual de alto volumen de marca Tisch Environmental ® durante un tiempo de medición de 24 horas cada tres días (Figura 1C). Las muestras de PM2.5 se tomaron con un equipo automá-

tico de marca Honeywell® perteneciente a la empresa R INGENIERÍA en conjunto con la medición de concentración de PM10 medida por la red de monitoreo de calidad del aire. Los datos meteorológicos se adquirieron de las estaciones automáticas portátiles de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información demográfica de la zona norte de Ocaña proviene del censo del 2018, hecho por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Modelos estadísticos

Teniendo en cuenta varios estudios (Quintana *et al.*, 2020; Saygin *et al.*, 2017) para el análisis de correlación de PM2.5 y PM10, se implementó un modelo de regresión lineal simple de la forma:

$$PM\ 2.5 = \alpha + \beta * PM\ 10 \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde β es la pendiente de la recta que determina cuánto cambiará diariamente el PM2.5 y PM10.

Para cada uno de los contaminantes, el modelo se calibró con 21 mediciones hechas durante los meses de febrero y abril del año 2021.

Teniendo en cuenta que las variables explicativas humedad, precipitación mensual y velocidad del viento son depen-

dientes (Byrne y O’Gorman, 2018), la relación del promedio mensual de PM10 con el promedio mensual de las variables climáticas mencionadas se hizo aplicando un análisis factorial múltiple (AFM), con el objeto de encontrar la correlación entre variables y nuevas variables explicativas sin colinealidad, para crear un modelo de regresión lineal múltiple para estimar la respectiva variable respuesta (PM10) (Ecuación 2).

$$PM10 = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \beta_3 F_3 \text{ (Ecuación 2)}$$

Los valores F son hallados a partir del porcentaje de contribución de las variables explicativas (componentes meteorológicos), mientras que los valores β son las constantes de variabilidad de cada una de las nuevas variables halladas (F_1 , F_2 y F_3).

En cuanto a los análisis de relación del número de casos hospitalarios de IRA con

el PM10 y las variables meteorológicas humedad relativa, precipitación mensual y velocidad del viento, se implementó igualmente el AFM debido a la dependencia que existe entre las respectivas variables explicativas (condiciones meteorológicas y PM10). El modelo de regresión implementado se explica en la ecuación 3.

$$IRA_{(t+n)} = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \beta_3 F_3 \text{ (Ecuación 3)}$$

Los valores F son hallados a partir del porcentaje de contribución de las variables explicativas (componentes meteorológicos y PM10) en cada uno de ellos, los valores β son las constantes de variabilidad de cada una de las nuevas variables

halladas (F_1 , F_2 y F_3), y n hace referencia al desfase semanal del promedio mensual de los casos hospitalarios de IRA. Teniendo como referencia a Grisales *et al.* (2022) y Correal *et al.* (2015), el desfase se hizo hasta por cuatro semanas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Ministerio de Medio Ambiente de Colombia considera buena la calidad del aire cuando el promedio anual de PM10 es menor que $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Al respecto, investigaciones en varias ciudades concluyen que están cumpliendo con dicho parámetro (Posada *et al.*, 2017). Sin embargo, se debe tener presente la excedencia que puede existir en el período analizado (Espinosa y Franco, 2019). En la presente investigación se encontró que el promedio de PM10 de los 19 meses comprendidos desde el mes abril de 2018 hasta septiembre de 2019 fue de $46.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que es inferior a lo exigido por la norma colombiana (promedio anual= $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pero muy superior a lo recomendado por la OMS (2021) (promedio anual= $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). No obstante, hubo promedios mensuales que superaron la

norma, incluso, se observaron días que excedieron el máximo permisible a 24 horas ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 2).

De todo el tiempo analizado, se observó un promedio de velocidad del viento de 7.8km/h, humedad relativa 73%, y una lluvia total de 1,112 mm. En cuanto a la dirección del viento, el PM10 se dispersó de forma predominante de oriente a occidente, sin embargo, la mayor concentración se dispersó de norte a sur. Según varios estudios, en algunos casos estos aumentos de concentración de material particulado también se dan cuando tanto la humedad como el viento aumentan (Sahanavin *et al.*, 2018), y la precipitación disminuye (Biglari *et al.*, 2017). En este caso de estudio, la concentración de PM10 au-

mentó cuando la velocidad del viento, la humedad relativa y la precipitación disminuyeron. Al respecto, es también necesario tener en cuenta lo explicado por Ezhilkumar y Karthikeyan (2020), donde

las variables meteorológicas, en conjunto con las edificaciones, podrían causar una recirculación del contaminante PM10 y, en consecuencia, mantener elevados los respectivos niveles.

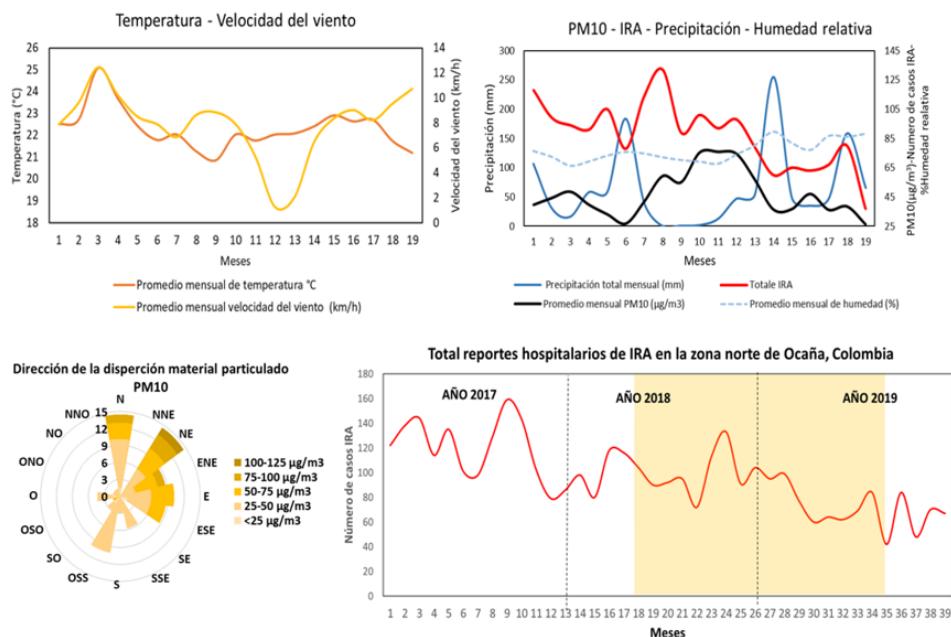


Figura 2. Comportamiento temporal de las condiciones climáticas, el PM10 y las IRA de la zona norte de Ocaña.

Fuente: autores.

De la Figura 2 se observa que no existe estacionalidad en las IRA. Asimismo, son similares la tendencia y comportamiento de los registros hospitalarios, el PM10, y la humedad relativa. También se observa que las respectivas infecciones respiratorias tienden a disminuir a partir del octavo mes. En todo el tiempo analizado, la zona norte registró 1662 casos hospitalarios de IRA, alcanzando el tercer lugar (14.68% del total de casos registrados) en comparación con las demás comunas de la ciudad de Ocaña. Teniendo como re-

ferencia el censo del DANE 2018, para el período analizado, la zona norte de Ocaña tuvo una relación de 1 persona enferma de IRA por cada 12 habitantes.

Conjuntamente, de acuerdo con otros análisis (Phillips *et al.*, 2021; Xue y Li, 2017), es probable que el alto nivel de concentración se deba a que la zona norte de la ciudad de Ocaña es atravesada por una vía nacional con alto flujo vehicular, que a su vez no tiene controles viales, lleva tráfico de vehículos pesados y tiene frecuentes estancamientos vehiculares, entre otros factores.

De ello se conoce que los carros desprenden partículas finas (PM2.5) (Jeong *et al.*, 2019) que también se pueden correlacionar como PM10 (Ntziachristos y Samaras, 2020; Mani *et al.*, 2020). Los resultados de esta investigación muestran que el 19% de los datos estuvieron por encima de la norma colombiana ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a 24 horas de exposición) (Figura 3A); sin embargo, el 80% fueron superiores a lo que recomienda la OMS ($15\mu\text{g}/\text{m}^3$). En cuanto a la relación PM2.5/PM10, se obtuvo una correlación de Pearson alta ($r=0.812$, $R^2=0.66$) (Figura 3B), lo que indica que el PM10 está representando significativamente la presencia

del PM2.5, por lo que hay una alta probabilidad de que ese porcentaje provenga de las emisiones de los vehículos que atraviesan la zona norte de Ocaña. Este resultado es importante porque permite extender los registros de PM2.5 tomando de base los de PM10, que son más comunes de medir, además de tener mayores series de tiempo de registro. Al respecto, se obtuvo la ecuación 4, que nos permite estimar la concentración diaria de PM2.5 a partir de la concentración diaria de PM10, y de igual forma, nos facilita evaluar el comportamiento de las fuentes móviles y sus efectos sobre la salud.

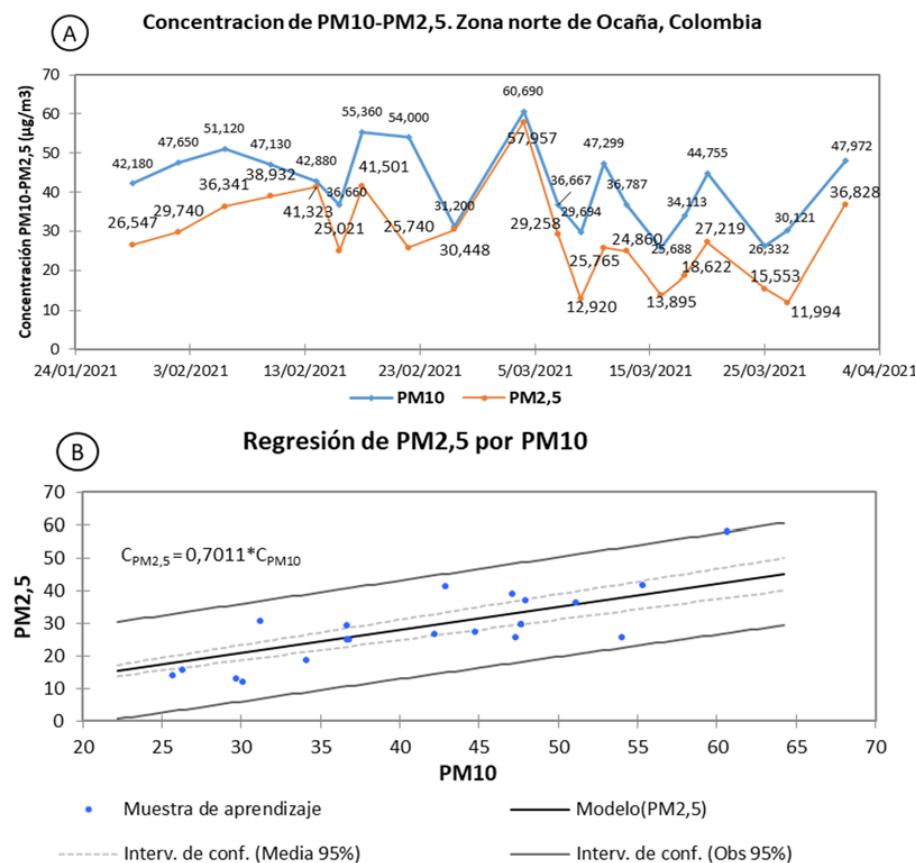


Figura 3. Comportamiento de la concentración de PM10-PM2.5.

Fuente: autores.

$$C_{PM2.5} = 0.7011 * C_{PM10} \text{ (Ecuación 4)}$$

De lo mencionado, es necesario resaltar que el PM2.5 está relacionado con las IRA (Yu *et al.*, 2018).

Con el AFM aplicado en análisis de relación entre el PM10 y las condiciones climáticas, se encontraron dos nuevas variables (F_1 , F_2). La F_1 está representada por la precipitación (32.011%) y la humedad relativa (38.68%); y la F_2 está representada

por el viento (32.453%) y la temperatura (37.441%). Con las nuevas variables mencionadas se obtuvo un modelo de regresión lineal múltiple (Ecuación 5) que en principio da cuenta de un 60% de la variabilidad promedio mensual de PM10 en función de los factores mencionados, cuyos coeficientes de correlación significativos con el contaminante mencionado fueron de -0.53, -0.56 y -0.51 respectivamente

$$C_{PM10} = -0.3887F_1 - 7.257F_2 + 146.21 \quad R^2=0.602 \text{ (Ecuación 5)}$$

Del modelo obtenido, es significativo reconocer la confiabilidad para determinar el promedio mensual de concentración de PM10 a partir de las condiciones meteorológicas, pero no se podría utilizar para estimar los posibles eventos futuros de tipo horario, diario o semanal. Al respecto, se recomienda hacer mediciones temporales en intervalos más cortos; así mismo, es necesario tener en cuenta otros factores locales tales como: remoción de suelo (Espinoza *et al.*, 2017) provocada por invasiones y proyectos urbanísticos cercanos a la zona de estudio, así como la ocurrencia de incendios forestales (Uttajug *et al.*, 2021; SATC, 2021), entre otros.

En lo relacionado con los casos de IRA, las mujeres tuvieron el mayor número de casos. De acuerdo con su distribución por barrio, Santa Clara fue el que más casos presentó, seguido del barrio Galán. De acuerdo con la Figura 4A, estas localida-

des alcanzaron el máximo número de casos de IRA con baja humedad, velocidad del viento y precipitación. Además, estos barrios se encuentran ubicados hacia donde más se diluye el contaminante originado en la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña. De ello, investigaciones demuestran que la dispersión del PM2.5 emitido a nivel de exhosto por fuentes móviles y la ubicación de los receptores son influyentes en las IRA (Reza *et al.*, 2005; Kakareka y Salivonchyk, 2020). Al respecto, en comparación con los demás barrios (Anexo 1), se evidencia de forma gráfica que Galán y Santa Clara muestran semejanza con el gráfico que explica la variación de material particulado (Figura 4B); de forma contraria, el barrio La Ondina mostró el menor número de casos de IRA, a pesar de estar muy cerca de la vía nacional, lo que puede deberse a que es un barrio muy comercial con poco uso de suelo residencial.

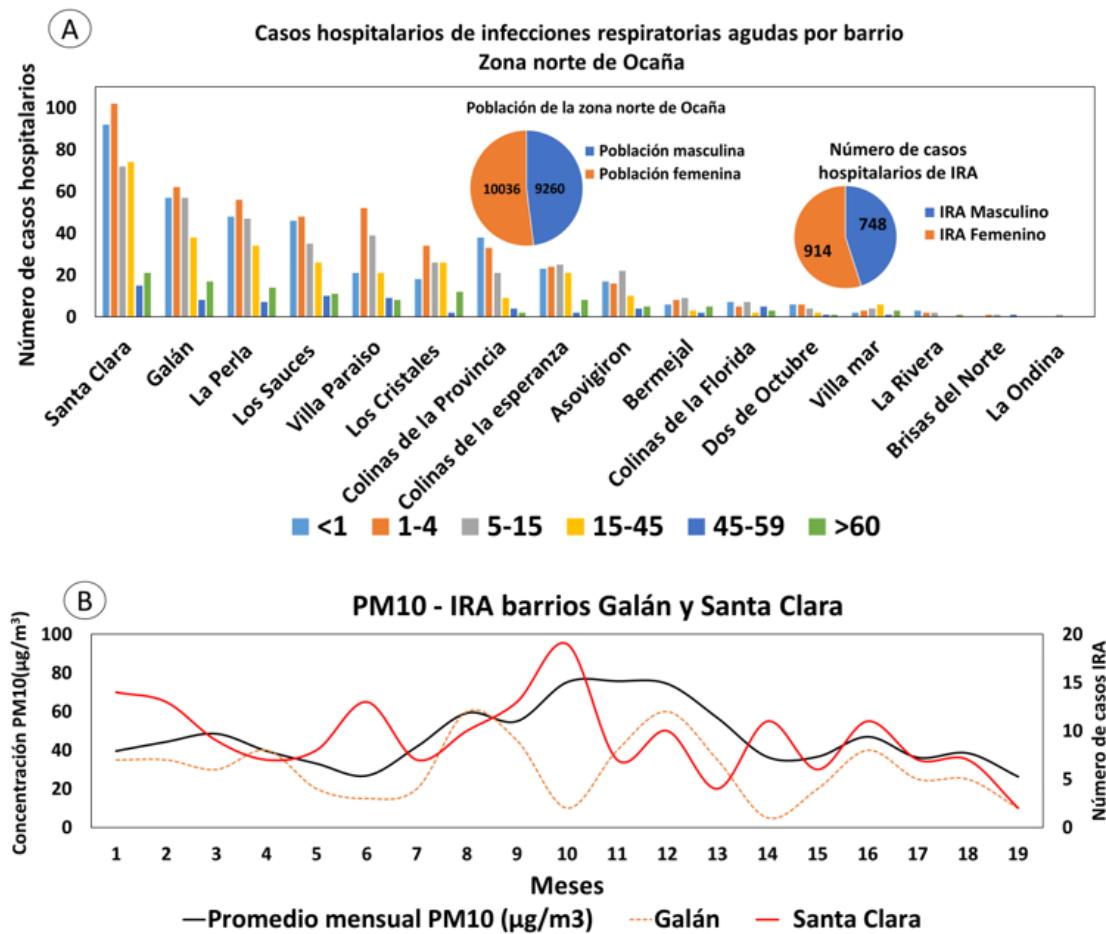


Figura 4. Número de casos de IRA por barrio y edad en la zona norte de Ocaña.

Fuente: autores

De las localidades mencionadas, en la Tabla 1 se determina que solo cuatro tuvieron una correlación significativa con al menos un factor meteorológico y PM10. En cuanto a las mujeres, 198 casos del barrio Santa Clara demostraron ser significativamente sensibles a variaciones de PM10, humedad relativa y precipitación. De igual manera, se evidenciaron 125 casos en el barrio Galán, con la salvedad de que no demostraron ser afectados por la precipitación; por otro lado, 59 casos del barrio Colinas de la Provincia mostraron

una correlación significativa con la temperatura. Para los grupos mencionados, se observaron coeficientes de correlación de Pearson de PM10 que oscilan entre los 0.49 y 0.604, lo cual indica unos coeficientes de determinación bajos (R^2), entre 0.24 y 0.36; de manera semejante lo demostró la precipitación (PP); en cambio, la humedad relativa demostró ser más determinante en la variación de IRA para estos barrios, de los cuales los r oscilaron entre 0.672 y 0.692, con R^2 entre 0.4515 y 0.4788.

No obstante, estos resultados en el AFM nos permitieron encontrar nuevas variables que permitieran, bajo un modelo de regresión lineal, ser determinantes en la estimación de IRA. En lo relacionado con los hombres, 114 casos del barrio Galán demostraron estar correlacionados con el PM10, la humedad relativa y la precipitación; adicionalmente, sin incluir la pre-

cipitación, 81 casos del barrio los Sauces mostraron semejante correlaciones. De los resultados explicados se observa que las mujeres son más sensibles a las variaciones climáticas y de PM10. Desde lo fisiológico posiblemente esto ocurra por cambios hormonales y diferencias específicas de sexo en la susceptibilidad genética (Xue *et al.*, 2020).

Tabla 1. Correlación por barrio. IRA-PM10-Factores meteorológicos.

Barrio	Factor ambi-ental	Coeficientes de correlación de Pearson (r) IRA-Factor meteorológico (p<0.05)						
		Mujeres			Hombres			
		r	r_(t+1)	r_(t+2)	r	r_(t+1)	r_(t+2)	
<i>Galán</i>	<i>PM10</i>	0.615		0.604	-	0.551	0.514	-
	<i>H%</i>	-		-0.692	-0.667	-0.476	-	-
	<i>P</i>	-		-	-	-0.521	-	-
<i>Santa Clara</i>	<i>PM10</i>	0.49		0.493	-	-	-	-
	<i>PP</i>	-0.541		-0.501	-	-	-	-
	<i>%H</i>	-0.662		-0.672	-	-	-	-
<i>Colinas de la Provincia</i>	<i>T°</i>	-		-	-0.538	-	-	-
<i>Los Sauces</i>	<i>PM10</i>	-		-	-	0.624	0.552	-
	<i>%H</i>	-		-	-	-0.588	-0.514	-

Fuente: autores.

Los coeficientes de correlación de Pearson de la Tabla (1) son comparables y superiores a los encontrados por otros autores en estudios similares (Sahanavin *et al.*, 2018;

Cao *et al.*, 2018; y Biancofiore *et al.* 2017), indicando que las variables explicativas efectivamente manifiestan su importancia en la variabilidad de las IRA. Estos coefi-

cientes pueden robustecerse en la medida en que se continue con un plan de mediciones de las variables involucradas a largo plazo en la municipalidad de Ocaña.

En cuanto a las edades, todos los grupos etarios demostraron tener una correlación significativa con al menos un factor meteorológico y PM10 (Tabla 2). En el caso de las mujeres, 238 casos de niñas entre uno y cuatro años estuvieron significativamente influenciadas por variaciones de PM10 y humedad relativa, además su variación fue la más similar a la variación del PM10 en comparación con los demás grupos etarios (Anexo 2), 184 casos de grupo entre cinco y 15 años demostraron estar afectadas por la humedad, y 67 casos de adultos mayores de 70 años estuvieron correlacionadas con el PM10. En cuanto a los hombres, 205 casos de menores de un año, 214 entre uno y cuatro años estuvieron significativamente influenciados por el PM10, 83 casos entre 15 a 45 años, y 15 casos, entre 45 y 49, demostraron ser sensibles a variaciones de la humedad relativa.

Al igual que en el análisis realizado por barrio, en este análisis también se evidencia que las mujeres están mayormente afectadas, especialmente las niñas. De acuerdo con Becklakea y Kauffmann (1999); Ma *et al.* (2020); Putri y Susanna (2019), es probable que esto ocurra debido a que los pulmones de las niñas son más pequeños que los de los niños, lo que genera dificultad para adaptarse a concentraciones de PM2.5. Adicionalmente, se tuvo en cuenta que otra posible causa es el tipo de combustible utilizado (Tipanluisa y Reina, 2017). Según informes oficiales, en Ocaña, por ser zona de frontera con Venezuela, es frecuente el tráfico ilegal de gasolina y ACPM (Pabón, 2019), además, según los conductores de la región, es combustible de mala calidad. No obstante, el hospital de Ocaña explica que la posible causa es la interacción entre niños contagiados, el descuido de los padres, eventos religiosos de semana santa, visitantes de otras ciudades y otros eventos culturales que provocan alta aglomeración de población.

Tabla 2. Correlación por edad. IRA-PM10-Factores meteorológicos.

Edad	Factor ambiental	Coeficientes de correlación de Pearson significativos (r) IRA-Factor ambiental ($p<0.05$)					
		Mujeres			Hombres		
		r	$r_{(t+1)}$	$r_{(t+2)}$	r	$r_{(t+1)}$	$r_{(t+2)}$

<1	<i>PM10</i>	-	-	-	0.481	0.533	-
	<i>H%</i>	-	-	-	-	-	-
1-4	<i>PM10</i>	0.669	0.713	0.720	0.528	0.481	-
	<i>%H</i>	-0.510	-0.533	-	-	-	-
5-15	<i>%H</i>	-0.565	-0.513	-	-	-	-
15-45	<i>%H</i>	-	-	-	-0.502	-0.548	-
45-59	<i>%H</i>	-	-	-	-	-	-0.486
>60	<i>PM10</i>	-	0.531	-	-	-	-

Fuente: autores.

En el AFM aplicado para el análisis de PM10 (Tabla 3), factores meteorológicos y las IRA, por edad y por sexo, se obtuvieron las variables F_1 , F_2 y F_3 , cuyo porcentaje de variabilidad acumulada fue del 89.923%. Al respecto, en el F_1 el PM10 mostró el mayor porcentaje de contribución, la velocidad del viento en el F_2 , y la temperatura para el F_3 . Con estos resultados se obtiene un modelo de regresión lineal múltiple que muestra como los factores ambientales mencionados pueden explicar hasta un 60% en la variabilidad de los casos hospitalarios de IRA en niñas, entre uno y cuatro años, con un desfase de dos semanas.

Tabla 3. Modelo de regresión lineal para estimación de casos hospitalarios mensuales de IRA en niñas entre uno y cuatro años con un desfase de dos semanas

$(1 - 4)_{(t+2)} = 32.56 + 0.485F_1 + 1.0431F_2 + 1.88F_3 \quad R^2 = 0.6$ (Ecuación 6)			
Variables explicativas	% de contribución de las variables en los factores		
	F_1	F_2	F_3
PM10	57,883	2,027	6,475
Velocidad del viento	5,621	35,369	17,292
Precipitación	18,768	13,316	3,448
Temperatura	2,638	28,362	68,859
Humedad relativa	15,091	20,926	3,926

Fuente: autores.

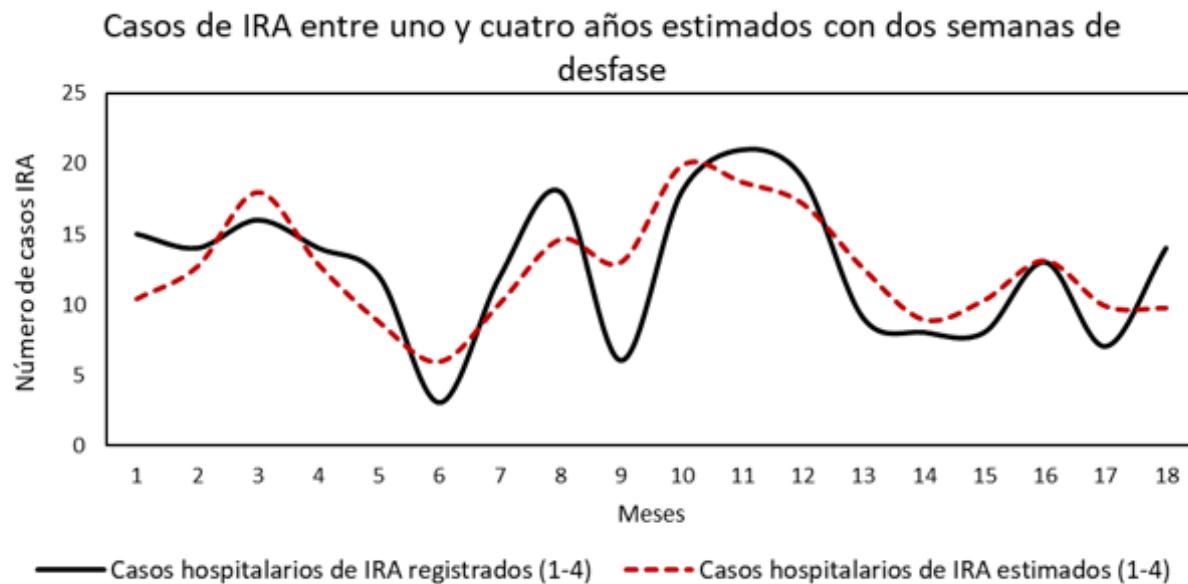


Figura 5. Casos de IRA entre uno y cuatro años estimados.

Fuente: autores.

Al igual que esta investigación, otras investigaciones demuestran que los niños pueden ser los más afectados por contaminación atmosférica y cambios climáticos (Nascimento *et al.*, 2020). De acuerdo con los registros oficiales de Bienestar Familiar, en la zona norte se cuidan 533 niños menores de cinco años, distribuidos en 28 hogares comunitarios en el barrio Santa Clara, y 13 en el barrio Galán. Aunque para estos barrios las niñas con estas edades no mostraron una correlación significativa con el PM10, en conjunto, los

dos géneros sí presentaron las respectivas correlaciones. De ello, 101 casos hospitalarios de IRA del conjunto de niños y niñas entre uno y cuatro años del barrio Santa Clara, y 61 casos de la misma edad del barrio Galán, obteniendo el mismo nivel de contribución mostrada en la Figura 5; además, se observa que el PM10, el viento y la temperatura influyen estadísticamente en un 41% y 51.5%, respectivamente, en la variabilidad de las infecciones respiratorias de los grupos etarios mencionados.

$$IRA - \text{Barrio Santa Clara}(1-4)_{(t+4)} = 0.173F_1 + 0.707F_2 + 0.290F_3 + 6.027 R^2 = 0.41 \\ (\text{Ecuación 7})$$

$$IRA - \text{Barrio Galán}(1-4)_{(t+3)} = 0.206F_1 + 0.7734F_2 + 1.3278F_3 + 20.914 R^2 = 0.515 \\ (\text{Ecuación 8})$$

Por otro lado, se obtuvo una correlación significativa entre el PM10 y las mujeres mayores de 60 años, a pesar de que el índice de determinación es relativamente bajo. Sin embargo, en este escenario es importante discutir cuales pudieron ser las causas. Se ha confirmado que los adultos mayores también son los más afectados por la contaminación por material particulado (Feng *et al.*, 2019); para este grupo de personas esto puede ocurrir por un bajo sistema inmune (AliAkbarzadeh *et al.*, 2018) debido a influencias hormonales, tamaño pulmonar, tabaquismo, entre otros (Thabethe y Wichmann, 2021; Chen *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019). No obstante, semejante a lo sucedido con los niños, la ubicación residencial de este tipo de personas también puede influir en la alta correlación con el PM10. El DANE (2018) reporta que en el occidente de la vía nacional existe mayor población de personas mayores de 70 años, especialmente en los barrios mencionados.

De lo discutido acerca de la IRA y sus posibles causas, dependiendo de la atención médica (Tobón y Cardona, 2018; Téllez, 2019), varios estudios demuestran que estos impactos en la salud respiratoria pueden permanecer varios días (Gabbe *et al.*, 2019; Ferrero *et al.*, 2019). En este caso de estudio, las buenas correlaciones con los desfases temporales encontrados con los modelos de regresión lineal múltiple permitirían prever la posible incidencia del PM10 sobre las IRA hasta con cuatro semanas de antelación, en especial, en las niñas; lo cual representaría un apoyo para las instituciones hospitalarias que reciben

a la población afectada en diferentes épocas del año.

En cuanto a las condiciones meteorológicas, se observó que solamente la humedad, la precipitación y la temperatura tuvieron efectos sobre la IRA. Estudios explican que esto se debe a la baja humedad, que en efecto provoca mejor estabilidad a los virus (Jo *et al.*, 2017; Mansour *et al.*, 2020); y la temperatura ocasiona inestabilidad arterial (Yang *et al.*, 2021), lo que en consecuencia altera de forma adversa el sistema respiratorio. Por otro lado, es también necesario reconocer la influencia del lugar de permanencia de este grupo de personas (Rodríguez *et al.*, 2021; Galindo *et al.*, 2018). Es probable que su lugar de trabajo tenga menos concentración de PM10 y, en consecuencia, los problemas de salud sean causados por variaciones climáticas. De todas maneras, es preciso hacer un análisis más selecto que logre reconocer los efectos de las variaciones meteorológicas y los contaminantes atmosféricos.

Con los grupos etarios que tuvieron IRA y no tuvieron relación con el material particulado y las condiciones meteorológicas, es posible que esto se deba a las aglomeraciones de la población, Santos *et al.* (2019) mencionan que las altas concentraciones de PM10 se presentan en épocas típicas de celebraciones religiosas y culturales de la ciudad de Ocaña. Otras posibles causas son los comportamientos de migración e inmigración (Houston *et al.*, 2020); según la Secretaría de Salud, desde Venezuela y sitios de Colombia arriban al hospital de Ocaña menores de edad y personas con

alteraciones en la salud respiratoria; asimismo, mencionan que este tipo de población reside de forma transitoria en la zona norte con crisis alimentaria, económica y de vivienda; adicionalmente, teniendo en cuenta lo explicado por Molina *et al.* (2021), el desplazamiento interno urbano incide en las IRA. De acuerdo con la Secretaría de Planeación de la ciudad de Ocaña, la zona norte es muy frecuentada por su elevado flujo comercial y de transporte.

Desde otro punto de vista, en este estudio se evidenció un número elevado de individuos que no asistieron al hospital. Tal vez presentaron IRA, pero su gravedad no fue tan significativa para acudir al hospital, posiblemente por su buena nutrición (Sorensen, 2018), intercambio microbiano desde muy joven (Nino *et al.*, 2021; Dumas *et al.*, 2018), sistema inmune congénito (Johnston, 2021), remedios caseros (O'Grady *et al.*, 2018; Jaykaran *et al.*, 2020) o uso de medicamentos con decisión propia (Kaur *et al.*, 2021). De lo mencionado, es necesario implementar visitas más puntuales con el objetivo de identificar el comportamiento socioeconómico y cultural de la zona norte, junto con su afinidad con las IRA, el PM10 y condiciones meteorológicas.

En este estudio se resalta la adecuada información entregada por las diferentes

fuentes oficiales, debido a que son instituciones competentes que, en principio, cumplen con la normativa vigente. Con esta indagación se logró conocer el comportamiento temporal del PM10, las IRA, las condiciones meteorológicas y su relación entre las respectivas partes. Igualmente, se reconoce la necesidad de medir de forma secuencial, y en un período más largo, las concentraciones de PM2.5 en la ciudad de Ocaña. Si bien en este estudio se utilizó un equipo no certificado por la EPA, pero recomendado por varios investigadores (Hwa *et al.*; 2021), es ineludible que las autoridades ambientales realicen mediciones con equipo automatizado, tal como lo exige la norma colombiana vigente o, como en otras ciudades de Colombia (López, 2019), validen mecanismos o procedimientos que permitan mantener de forma continua, oportuna y económica, las mediciones de concentración de material particulado. Ahora bien, las mediciones de PM10 tan solo se han socializado con las autoridades ambientales competentes; sin embargo, es pertinente que la comunidad ocañera y los centros hospitalarios de la región estén informados, con el objetivo de que se preparen ante la posible elevación de casos hospitalarios de IRA que, como lo demuestra esta investigación, tienen una correlación significativa con el PM10.

4. CONCLUSIONES

En la zona norte de Ocaña, el 66% de material particulado PM10 está significativamente representado por el PM2.5, es decir, las fuentes móviles tienen una incidencia representativa sobre la concentración de PM10; también, las variaciones de la concentración de PM10 dependen del viento, la precipitación y la humedad. Por otro lado, es importante mencionar que el promedio anual de PM10 no superó los límites permitidos, por lo que el PM2.5, en principio, tampoco estuvo por fuera de la norma.

En cuanto a las IRA, no se puede concluir que el material particulado PM10 y las condiciones meteorológicas influyen sobre la salud respiratoria de todos los barrios ni de todos los grupos etarios de la zona norte de Ocaña. En este sentido, sólo los barrios Galán y Santa Clara demuestran ser las localidades que presentan los mayores casos de IRA relacionados con variaciones de PM10 y las condiciones meteorológicas. Los niños de estos barrios con edades entre uno y cuatro años demostraron ser los más impactados, determinando así que entre un 40% y 50% de ellos son influenciados por los factores ambientales mencionados. Es importante mencionar que ellos representan el 9.7% del total de casos de IRA de la zona norte, y el 1.2% del total de casos hospitalarios de IRA registrados en la ciudad de Ocaña.

A nivel general, el estudio muestra que las niñas entre uno y cuatro años de toda

la zona norte de Ocaña demostraron ser las más susceptibles y las más impactadas por los cambios de PM10 y las condiciones climáticas, representando el 14.32% del total de casos hospitalarios de IRA de la zona norte, y el 2.5% del total de casos registrados en la ciudad de Ocaña.

En conjunto con los factores meteorológicos resaltados, es importante mencionar la dirección y la velocidad del viento, puesto que, a pesar de no mostrar relevancia en el modelo de regresión lineal, el modelo gráfico permite deducir que los mayores casos hospitalarios de IRA en la zona norte de Ocaña ocurren hacia donde se dispersa el PM10, en especial los barrios más cercanos a la vía nacional; es decir, que los casos de IRA están influenciados por el material particulado emitido por fuentes móviles. De ello, se concluye que el efecto del PM10 persiste en períodos relativamente largos, y con un dominio mayor que los factores meteorológicos. Los modelos de regresión con antecedencias obtenidos en esta investigación ofrecerían un apoyo importante para que los centros hospitalarios de Ocaña prevean la cantidad de casos de IRA que ingresarán en eventos futuros debido a alteraciones meteorológicas y de calidad del aire producidas, demostrando la necesidad de un trabajo conjunto, además de articulado, entre las instituciones de salud y las autoridades locales encargadas de medir, y analizar, la calidad del aire como de las condiciones meteorológicas del municipio.

Finalmente, se resaltan otros condicionantes que no se ven reflejados en estos modelos, como el hecho de que los comportamientos económicos y socioculturales del área de estudio y zonas aledañas contribuyen también en los efectos adversos de la salud respiratoria de los residentes de la zona de estudio que acudieron al

hospital, y el hecho de que en la zona norte de Ocaña existe un porcentaje relevante de personas que no acuden a los centros médicos para tratar sus afecciones respiratorias causadas por los factores discutidos, especialmente por el material particulado y las condiciones climáticas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Alexander Armesto Arenas: Toma de datos, metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Julio Eduardo Cañón**

Barriga: Investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por su recurso humano y la disponibilidad de equipos e infraestructura, a la Universidad de Antioquia y su programa de maestría en Gestión ambiental por su recurso humano,

al hospital Emiro Quintero Cañizares por la información suministrada, a la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) por el suministro de información y a la empresa RIngeniería por el préstamo de equipos.

LITERATURA CITADA

Alcaldía municipal de Ocaña. (2015). *Formulación del plan maestro de movilidad del municipio de Ocaña*. https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000069/3450_plan_de_movilidad.pdf

Ali Akbarzadeh, M., Khaheshi, I., Sharifi, A., Yousefi, N., Naderian, M., Namazi, M. H., and Nickdoost, N. (2018). The association between exposure to air pollutants including PM 10, PM 2.5, ozone, carbon monoxide, sulfur dioxide, and nitrogen dioxide concentration and the relative risk of developing

- STEMI: A case-crossover design. *Environmental Research*, 16, 299-303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.020>
- Arregocés, H. A., Rojano, R. & Restrepo, G. (2021). Impact of lockdown on particulate matter concentrations in Colombia during the COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142874>
- Becklakea, M. R., & Kauffmann, F. (1999). Gender differences in airway behaviour over the human life span. *Thorax*, 54, 1119–1138. <http://dx.doi.org/10.1136/thx.54.12.1119>
- Biglari, H., Mohammadi, S., Porazmey, M. J., Chuturkova, E. J., Khaniabadi, R. Z., Goudarzi, G., Mahboubi, M., Mohammadi, B. & Yari, A. R. (2017). Relationship between air particulate matter and meteorological parameters. *Fresenius environmental bulletin*, 26(6), 4047-4056.
- Biancofiore, F., Busilacchio, M., Verdecchia, M., Tomassetti, B., Aruffo, E., Bianco, S., & Di Carlo, P. (2017). Recursive neural network model for analysis and forecast of PM10 and PM2. 5. *Atmospheric Pollution Research*, 8(4), 652-659. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.12.014>
- Byrne, M. P., & O'Gorman, P. A. (2018). Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean warming. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of Americans*, 115(19). <https://doi.org/10.1073/pnas.1722312115>
- Cao, Q., Rui, G., & Liang, Y. (2018). Study on PM2. 5 pollution and the mortality due to lung cancer in China based on geographic weighted regression model. *BMC public health*, 18(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5844-4>
- Cataldo, R., Arancibia, M., Stojanova, J., y Papuzinski, C. (2019). Conceptos generales en bioestadística y epidemiología clínica: estudios observacionales con diseños transversal y ecológico. *Medwave*, 19(8), e7698. <https://doi.org/10.5867/medwave.2019.08.7698>
- Chen, C., Zhu, P., Lan, L., Zhou, L., Liu, R., Sun, Q., . . . Li, T. (2018). Short-term exposures to PM 2.5 and cause-specific mortality of cardiovascular health in China. *Environmental Research*, 161, 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.046>
- Colla, N. S., Botté, S. E., & Marcovecchio, J. E. (2021). Atmospheric particulate pollution in South American megacities. *Environmental Reviews*. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0105>
- Contreras, E. (2016). *Evaluación de los efectos en salud relacionados con la contaminación del aire para el sector ciudadela norte de la ciudad de Ocaña, norte de Santander*. [Trabajo de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
- Correal, M. E., Marthá, J. E., y Sarmiento, R. (2015). Influencia de la variabilidad climática en las enfermedades respiratorias agudas en Bogotá. *Bio-*

- médica, 35(SPE), 130-138. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2456>
- Cuello, J. A., Armesto, A. A., Hernández, C. J. D., y Pedraza, F. M. (2017). Hongos asociados al material particulado, en Ocaña Norte de Santander. *Revista Ingenio*, 12(1). <https://doi.org/10.22463/2011642X.2126>
- Del Campo, N. M. S., y Matamoros, L. Z. (2020). Técnicas estadísticas multivariadas para el estudio de la causalidad en Medicina. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 24(2), 1-14.
- Departamento Nacional de Estadística. [DANE]. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda. Estadísticas, Bogotá. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Dumas, A., Bernard, L., & Yannick Poquet, G. L. (2018). The role of the lung microbiota and the gut-lung axis in respiratory infectious diseases. *Cell Microbiol*, 20(12). <https://doi.org/10.1111/cmi.12966>
- Espinosa, M., y Franco, J. F. (2019). Gestión de la Calidad del Aire en Bogotá [Conferencia]. Foro nacional ambiental. Bogotá, Colombia. <https://www.foronacionalambiental.org.co/wp-content/uploads/2019/09/MonicaEspinosaY-JuanFranco-comprimido.pdf>
- Espinoza, J. F., Herrera, L. C., Remolina, B. R., & Pachón, J. E. (2017). Stimation of resuspended dust emission factors before, during and after road paving process in Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(1), 43-60. <https://doi.org/10.18359/rcin.1797>
- Ezhilkumar, M. R., & Karthikeyan, S. (2020). Vertical Measurement of PM_{2.5} and PM₁₀ in Street Canyons and Cohort Health Risk Estimation at Chennai, South India. *Environmental Engineering Science*, 37(8), 535-547. <https://doi.org/10.1089/ees.2019.0494>
- Feng, W., Li, H., Wang, S., Lutterodt, N. V., An, J., Liu, Y., . . . Guo, X. (2019). Short-term PM₁₀ and emergency department admissions for selective cardiovascular and respiratory diseases in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 657, 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.066>
- Ferrero, F., Abrutzky, R., Ossorio, M. F., & Torres, F. (2019). Effects of contamination and climate in the Pediatric Emergency Department visits for acute respiratory infection in the City of Buenos Aires. *Arch Argent Pediatr*, 117(6), 368-374. <https://doi.org/10.5546/aap.2019.eng.368>
- Fonseca, K. J., y Delgado, E. C. (2017). *Inventario de emisiones por fuentes móviles en el perímetro urbano del municipio de Ocaña Norte de Santander*. [Trabajo de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
- Gabbe, C. J., Oxlaj, E., & Wang, J. (2019). Residential development and

near-roadway air pollution: Assessing risk and mitigation in San José, California. *Journal of Transport & Health*, 13, 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.03.011>

Galindo, N. E., Varea, N. M., & Crespo, J. (2018). Characterization of metals in PM1 and PM10 and health risk evaluation at an urban site in the western Mediterranean. *Chemosphere*, 201, 243-250. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.162>

Gil, D. A., Peláez, L. M., Jaramillo, T. Á., Correa, O. M. A., & Saldarriaga, M. J. C. (2020). Evaluating the impact of PM2. 5 atmospheric pollution on population mortality in an urbanized valley in the American tropic. *Atmospheric Environment*, 224. 117343 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117343>

Grisales, R. H., Montealegre, N., Piñeros, J. G., Ospina, D., y Nieto, E. (2022). Relación de PM2. 5 y Enfermedad Respiratoria Aguda en un territorio de Colombia: Modelos Aditivos Generalizados. *Universidad y Salud*, 24(1), 45-54. <https://doi.org/10.22267/rus.222401.256>

Han, L., Zhou, W., Li, W., & Qian, Y. (2017). Global population exposed to fine particulate pollution by population increase and pollution expansion. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(10), 1221-1226. <https://doi.org/10.1007/s11869-017-0506-8>

He, M., Chen, J., He, Y., Li, Y., Long, Q., Qiao, Y., & Zhang, K. (2021). Trends and

Source Contribution Characteristics of SO₂, NO_X, PM10 and PM2.5 Emissions in Sichuan Province from 2013 to 2017. *Atmosphere*, 12(2), 189. <https://doi.org/10.3390/atmos12020189>

Hernández, C. Z., Giraldo, G. D., & Tobón, R. B. (2020). Physicochemical Characterization of Airborne Particulate Matter in Medellín, Colombia, and its Use in an-In Silico Study of Ventricular Action Potential. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04884-5>

Hime, N. J., Marks, G. B., & Cowie, C. T. (2018). A Comparison of the Health Effects of Ambient Particulate Matter Air Pollution from Five Emission Sources. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 508 1206. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061206>

Houston, A. R., Lynch, K., Ostrach, B., & Isaacs, Y. S. (2020). United States immigration detention amplifies disease interaction risk: A model for a transnational ICE-TB-DM2 syndemic. *Global Public Health*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/17441692.2021.1919737>

Hwa H. G., WeiTu, T. C., Wang, C., Chang, S. C., Yu, J. Y., Lin, G. Y., . . . Tsai, C. J. (September de 2021). Long-term evaluation and calibration of three types of low-cost PM2. 5 sensors at different air quality monitoring stations. *Journal of Aerosol Science*, 157, 105829. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105829>

Instituto Departamental de Salud. [IDS]. (2019). *Informe de comportamiento de eventos de interés en salud pública*. Norte de Santander. Semanas epidemiológicas. Informe de salud, Instituto Departamental de Salud, Cúcuta. <http://salasituacionalidsnds.weebly.com/informacionacuten.html>

Jaykaran Charan, P. B., Dutta, S., Kaur, R., Bist, S. K., Detha, M. D., Kanchan, T., . . . Sharma, P. (2020). Use of Complementary and Alternative Medicine (CAM) and Home Remedies by COVID-19 Patients: A Telephonic Survey. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 36(1), 108-111. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12291-020-00931-4>

Jeong, C. H., Wang, J. M., Hilker, N., Jerzy Debosz, U. S., Su, Y., Noble, M., . . . J. Evans, D. H. (2019). Temporal and spatial variability of traffic-related PM2.5 sources: Comparison of exhaust and non-exhaust emissions. *Atmospheric Environment*, 198, 55-69. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.038>

Jo, E. J., Lee, W. S., Jo, H. Y., Chang Hoon Kim, J. S., Mok, J. H., Kim, M. H., . . . Park, H. K. (2017). Effects of particulate matter on respiratory disease and the impact of meteorological factors in Busan, Korea. *Respiratory Medicine*, 124, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2017.02.010>

Johnston, R. B. (2021). *An overview of the innate immune system*. <https://www.uptodate.com/contents/an-overview-of-the-innate-immune-system#topicContent>

[view-of-the-innate-immune-system#-topicContent](#)

Kakareka, S., & Salivonchyk, S. (2020). Assessment of atmospheric pollutant dispersion from mobile sources in Antarctica: a case study of Vecherny Oasis. *Polar Geography*, 43(4), 280-294. <https://doi.org/10.1080/1088937X.2020.1766591>

Kaur, N., Bisht, B., & Kaur, M. (2021). Self Medication Practices among Youngsters: A Global Health Concern. *Medico-legal Update*, 21(1).

Liu, J., Wang, W., Chen, Y. E., & Ping, C. C. (2019). Age Structures and Air Pollution: What Role Does Gender Play. *Problemy Ekorozwoju*, 14(1).

López, M. J., y Vega, A. F. (2019). *Estrategias de mejoramiento de la calidad del aire en ciudades con problemas de contaminación*. [Monografía. Especialización en gestión ambiental, Universidad de Antioquia]. Biblioteca digital de la universidad de Antioquia.

Ma, Y., Yue, L., Liu, J., He, X., Li, L., Niu, J., & Luo, B. (2020). Association of air pollution with outpatient visits for respiratory diseases of children in an ex-heavily polluted Northwestern city, China. *BMC Public Health*, 20(816), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08933-w>

Mahapatra, B., Monika Walia1, W. R., & Saggurti, N. (2020). Effect of exposure to PM10 on child health: evidence based on a large-scale survey from 184

- cities in India. *BMJ global health*, 5(8). 1-8. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjjgh-2020-002597>
- Mangones, S. C., Jaramillo, P., Rojas, N. Y., & Fischbeck, P. (2020). Air pollution emission effects of changes in transport supply: the case of Bogotá, Colombia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 35971–35978. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08481-1>
- Mani, S. A., Mani, F. S., Kumar, A., Shah, S., & Peltier, R. E. (2020). Traffic related PM2. 5 air quality: Policy options for developing Pacific Island countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102519. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102519>
- Manosalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Mannucci, P. M., & Franchini, M. (2017). Health effects of ambient air pollution in developing countries. International journal of environmental research and public health. *International journal of environmental research and public health*, 14(9), 1048. <https://doi.org/10.3390/ijerph14091048>
- Mansour, E., Vishinkin, R., Rihet, S., Saliba, W., Fish, F., Sarfati, P., & Haick, H. (2020). Measurement of temperature and relative humidity in exhaled breath. *Sensors and actuators B: Chemical*, 304, 127371. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127371>
- Molina, G. N. I., Parada, R. S., Arévalo, J. L., & Jiménez, P. A. (2021). Analysis of incidence of air quality on human health: a case study on the relationship between pollutant concentrations and respiratory diseases in Kennedy, Bogotá. *International Journal of Biometeorology*, 65. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-020-01955-4>
- Mukherjee, A., & Agrawal, M. (2017). A global perspective of fine particulate matter pollution and its health effects. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 44, 5-51 https://link.springer.com/chapter/10.1007/398_2017_3
- Nascimento, A. P., Santos, J. M., Mill, J. G., Albuquerque, T. T., Júnior, N. C., AnselmoReisen, V., & Page, É. C. (2020). Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of SO₂, PM10 and chemical elements in fine particles. *Environmental Research*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109619>
- Nino, G., Martínez, C. E., & Gutiérrez, M. J. (2021). Early Microbial–Immune Interactions and Innate Immune Training of the Respiratory System during Health and Disease. *Children*, 8. <https://doi.org/10.3390/children8050413>
- Ntziachristos, L., y Samaras, Z. (2019). *Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos*. Agencia Europea de Medio Ambiente.

Roy, G. R. I., Rivas, R. R., Pérez, R. M., y Palacios, C. L. (2019). Correlación: no toda correlación implica causalidad. *Revista Alergia México*, 66(3), 354-360.

O'Grady, K. A., Kerry, A. B., Anne, C., & Potter, C. (2018). Review of respiratory diseases among Aboriginal and Torres Strait Islander children. *Australian Indigenous Health Bulletin*, 18(2). <https://eprints.qut.edu.au/119551/>

Pabón, S. (2019). *Contrabando de combustible en Norte de Santander: Complizidat fronteriza*. <https://crudotransparente.com/2019/10/02/complicidad-fronteriza-el-contrabando-de-combustible-en-norte-de-santander/>

Phillips, B. B., Bullock, J. M., L. Osborne, J., & Gaston, K. J. (2021). Spatial extent of road pollution: A national analysis. *Science of the Total Environment*, 773. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145589>

Pineda, D. A. (2018). *Análisis de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Manizales*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional]. Biblioteca digital Universidad Nacional.

Pineda, Y. C., y Santiago, L. F. (2017). *Evaluación de la contaminación atmosférica respecto al material particulado menor a 10µm, en el casco urbano del municipio de Ocaña, norte de Santander*. [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Posada, E., Gómez, M., y Almanza, J. (2017). Análisis comparativo y modelación de las situaciones de calidad del aire en una muestra de ciudades del mundo. Comparación con el caso de Medellín. *Revista Politécnica*, 13(25). 9-29. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v13n25a1>

Putri, M. S., & Susanna, D. (2019). *The Effectiveness of Health Promotion on Knowledge of Mothers about Acute Respiratory Infections (ARI) in Mipiran Village, Padamara Public Health Center* [Conferencia]. The 2nd International Meeting of Public Health 2016: Public Health Perspective of Sustainable Development Goals: Challenges and Opportunities in Asia Pacific Region, KnE Life Sciences, pages 123–128.

Quintana, G. R., Polo, G. R., y Santodomingo, N. A. (2020). Modelo de regresión lineal múltiple para estimar concentración de pm1. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1). 179-194. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.13>

Reza, P. Z., Kingham, S., & Pearce, J. (2005). Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand. *Science of The Total Environment*, 349, 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.037>

Rodríguez, V., Gama, C., Ascenso, A., K. Oliveira, Coelho, S., Monteiro, A., . . . López, M. (2021). Assessing air pollution in European cities to support a

citizen centered approach to air quality management Science of The Total Environment. *Science of The Total Environment*, 799. 149311. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149311>

Rodríguez. V. L. A. (2018). Short-term effects of air pollution on respiratory and circulatory morbidity in Colombia 2011–2014: A multi-city, time-series analysis. *International journal of environmental research and public health*, 15(8). <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/8/1610>

Sahanavin, N., Prueksasit, T., & Tantrakarnapa, K. (2018). Relationship between PM 10 and PM 2.5 levels in high-traffic area determined using path analysis and linear regression. *Journal of Environmental Sciences*, 69, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.01.017>

Santos, P. D., Silva, F. C., Santos, B. W., & Schivinski, a. I. (2019). Early childhood education professionals' knowledge about prevention, detection and treatment of acute respiratory infections in children. *Acta Scientiarum. Health Sciences*, 41, 1-10. <https://doi.org/10.4025/actascihealthsci.v41i1.43759>

Saygın, M., Taner Gonca, 2. Ö., Has, M., Çalışkan, S., Has, Z. G., & Akkaya, A. (2017). To Investigate the Effects of Air Pollution (PM10 and SO₂) on the Respiratory Diseases Asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Turkish Thoracic Journal*, 18(2), 33-39.

<https://doi.org/10.5152/TurkThoracJ.2017.16016>

Sistema de alertas tempranas ante inundaciones y sequías como medida de adaptación al cambio climático en el departamento de Norte de Santander [SATC] (2021). *Incendios* <https://www.satcnortedesantander.gov.co/#no-back-button>

Sorensen, G. L. (2018). Surfactant Protein D in Respiratory and Non-Respiratory Diseases. *Frontiers in medicine. Pulmonary medicine*, 5(18). <https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00018>

Soriano, J. B., Kendrick, P. J., Paulson, K. R. (2020). Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Respiratory Medicine*, 8, 585-596. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30105-3](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30105-3)

Sosa, B. S., Porta, A., Lerner, J. E. C., Noriega, R. B., & Massolo, L. (2017). Human health risk due to variations in PM10-PM2. 5 and associated PAHs levels. *Atmospheric environment*, 160, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.004>

Téllez, L. E. (2019). Calidad de la atención médica y adherencia a la guía de manejo colombiana de neumonía adquirida en la comunidad en el Hospital Universitario de Santander: periodo 2014-2015. *Medicas UIS*, 32(2). <https://doi.org/10.18273/revmed.v32n2-2019003>

Tipanluisa, L. E., y Reina, S. W. (2017). Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades. *Información tecnológica*, 28(1). doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002>

Thabethe, N. D., & Wichmann, K. V. (2021). Association between ambient air pollution and cause-specific mortality in Cape Town, Durban, and Johannesburg, South Africa: any susceptible groups. *Environmental Science and Pollution Research*, 28. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13778-w>

Tobón, L. A., y Cardona-Arias, J. A. (2018). Evaluación de la calidad de los servicios médicos según las dimensiones del SERVQUAL en un hospital de Colombia. *Archivos de medicina*, 14(44).

Uttajug, A., Ueda, K., Oyoshi, K., Honda, A., & Takano, H. (2021). Association between PM10 from vegetation fire events and hospital visits by children in upper northern Thailand. *Science of The Total Environment*, 764, 142923. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142923>

World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

Xue Li, I. P., Chan, K. Y., Campbell, H., Theodoratou, E., & Rudan, I. (June de 2020). The disease burden of childhood asthma in China: a systematic review and meta-analysis. *Journal of global health*, 10(1). <https://doi.org/10.7189/2Fjogh.10.01081>

Xue, F., & Li, X. (2017). The impact of roadside trees on traffic released PM₁₀ in urban street canyon: Aerodynamic and deposition effects. *Sustainable cities and society*, 30, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.001>

Yang Shen, X. Z., Cai Chen, Q. L., Li, X., Qu, W., Xuejian Liu, L. Z., & Chang, S. (January de 2021). The relationship between ambient temperature and acute respiratory and cardiovascular diseases in Shenyang, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 20058-20071. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-11934-2>

Yu, W., Guo, Y., Shi, L., & Li, S. (2018). The association between long-term exposure to low-level PM_{2.5} and mortality in the state of Queensland, Australia: A modelling study with the difference-in-differences approach. *PLoS medicine*, 17(6), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003141>

Zafra, C., Suárez, J., & Pachón, J. E. (January de 2021). Public Health Considerations for PM₁₀ in a High-Pollution Megacity: Influences of Atmospheric Condition and Land Coverage. *Atmosphere*, 12(1), 118. <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/1/118>

■ Conflicto de intereses

*Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses.*



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Fecha de recibido: 16-02-2023

Fecha de aceptado: 26-05-2023

DOI: 10.22490/21456453.6659

TOXICITY OF GLYPHOSATE AND ITS DEGRADATION PRODUCTS IN AQUATIC ECOSYSTEMS: A REVIEW

TOXICIDAD DEL GLIFOSATO Y SUS PRODUCTOS DE DEGRADACIÓN EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS: UNA REVISIÓN

Evenly J. Herrera-Gudiño,¹

Mayra Alejandra Gómez-Arguello²

Francisco J. Molina-Pérez³

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina. eherrera.gudiño@frba.unt.edu.ar

² Estudiante de Doctorado en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Colombia. mayra.gomeza@udea.edu.co

³ PhD. Ingeniería Química y Ambiental. Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Colombia. francisco.molina@udea.edu.co

Citación: Herrera-Gudiño, E., Gomez-Arguello, M. y Molina-Pérez, F. (2024). Toxicity of glyphosate and its degradation products in aquatic ecosystems: a review. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 281-315.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6659>

ABSTRACT

Context: The intensifying utilization of glyphosate has provoked global scientific concern due to the potential large-scale impact on ecosystems. In 2015, the International Agency for Research on Cancer (IARC) reclassified glyphosate and its degradation byproduct, amino-methylphosphonic acid (AMPA), as Category 2A, indicating probable human carcinogenicity.

Knowledge Gap: A review of the existing literature reveals a relative scarcity of information on the aquatic impact of glyphosate and its degradation products.

Purpose: To determine the scope and implications of the impact of glyphosate and its degradation products on aquatic ecosystems, in order to better understand their ecotoxicological effects and provide a foundation for future research and policy decisions in this area.

Methodology: A systematic review of ecotoxicological studies published in Spanish and English over the last 12 years was conducted to assess the effects of glyphosate and its degradation products on aquatic ecosystems and the risks to vari-

ous species. Approximately 95 documents were reviewed, including data from 69, addressing toxicity, biodegradation, contamination, and international regulations.

Results: Studies have shown that chronic exposure to glyphosate can alter the metabolism in fish and affect the life cycle of organisms such as *Daphnia Magna*. The composition of glyphosate, along with its adjuvants, can increase its toxicity and pose risks to the aquatic ecosystem, making it crucial to understand the specific formulations and their concentrations.

Conclusions: The increased use of glyphosate raised global scientific concerns due to its potential impact on ecosystems, with the IARC classifying it as possibly carcinogenic to humans. Studies showed acute toxicity to aquatic organisms and highlighted the need for risk assessment methodologies for long-term impacts on ecosystems and human.

Keywords: Agriculture, Degradation Product, Environmental Risk, Glyphosate, Herbicide, Organophosphate, Risk assessment, Water Quality, Ecotoxicity

RESUMEN

Contextualización: la creciente utilización de glifosato ha generado preocupación científica a nivel global debido a su potencial impacto a gran escala en los ecosistemas. En 2015, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) reclasificó el glifosato y su producto de degradación, el ácido aminometilfosfónico (AMPA), como Categoría 2A, indicando probable carcinogenicidad en humanos.

Vacío de conocimiento: una revisión de la literatura existente revela una relativa escasez de información sobre el impacto acuático del glifosato y sus productos de degradación.

Propósito: determinar el alcance y las implicaciones del impacto del glifosato y sus productos de degradación en ecosistemas acuáticos, a fin de comprender mejor sus efectos ecotoxicológicos y proporcionar una base para futuras investigaciones y decisiones políticas en esta área.

Metodología: se realizó una revisión sistemática de estudios ecotoxicológicos en español e inglés publicados en los últimos 12 años para evaluar los efectos del glifosato y sus productos de degradación en ecosistemas acuáticos y los riesgos para diversas especies. Se revisaron aproxi-

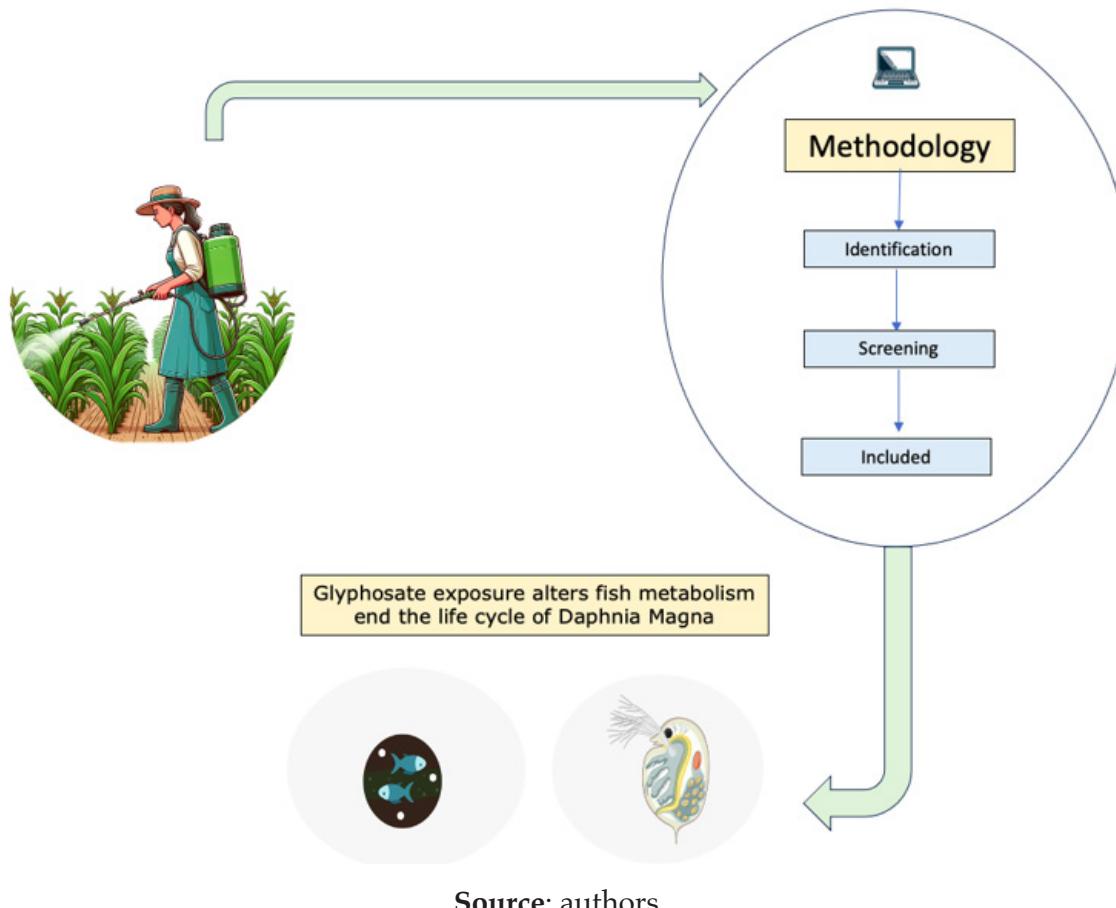
madamente 95 documentos, incluyendo información de 69, abordando toxicidad, biodegradación, contaminación y regulaciones internacionales.

Resultados: estudios han demostrado que la exposición crónica a glifosato puede alterar el metabolismo en peces y afectar el ciclo de vida de organismos como *Daphnia Magna*. La composición de glifosato, junto con sus coadyuvantes, puede incrementar su toxicidad y representar riesgos para el ecosistema acuático, siendo clave entender las formulaciones específicas y sus concentraciones.

Conclusiones: el aumento en el uso del glifosato generó preocupaciones científicas a nivel mundial debido a su potencial impacto en los ecosistemas, con la IARC clasificándolo como posiblemente carcinogénico para los humanos. Los estudios mostraron toxicidad aguda en organismos acuáticos y resaltaron la necesidad de metodologías de evaluación de riesgos para los impactos a largo plazo en los ecosistemas y la exposición humana a estas sustancias.

Palabras clave: agricultura, calidad del agua, ecotoxicidad, evaluación de riesgo, glifosato, herbicida, organofosforado, producto de degradación, riesgo ambiental

GRAPHIC ABSTRACT



1. INTRODUCTION

Pesticides are substances or mixtures composed of chemical or biological components designed for repelling, destroying, or controlling pests, as well as for plant growth regulation. Globally, the most prevalent pesticides are herbicides (Argüello-Rangel et al., 2015), utilized to manage invasive or undesirable plant

species (Torres & Romero-Natale, 2019). They function by disrupting crucial physiological processes at target sites within plants, thereby affecting survival or normal growth (Mantilla, 2020).

In view of the transport of chemical compounds in the atmosphere, in general, is

governed by two phenomena: wind erosion and spray drift that later falls toward the earth's surface (Grandcoin et al., 2017); the behavior depends largely on their physical-chemical properties and the type of formulation (Mas et al., 2020), in the case pesticides involve a complex series of events that allow them to be distributed through water, air, soil, or through the food chain (Faillaci, 2017), also impacting non-target organisms. In ecotoxicology, these 'non-target' organisms are those not intended to be affected by a chemical substance, such as a pesticide (Curieses, 2015). Hence, pesticides are substances that lack real selectivity, affecting a greater or lesser degree, both the "target species" and other categories of living beings (Schaaf, 2017).

According to the FAO in the world until 2018 and since 1990, the ten countries that used the most pesticides were China, USA, Brazil, Argentina, USSR, France, Italy, Japan, Colombia, and Canada as shown in Figure 1; in addition to doubling its use in that period (1990-2018), This situation responds to population growth and the improvement of emerging markets (Stagnaro, 2017). In the case of Brazil, this country surpassed its production of cereals, legumes, and oilseeds in 2017

by 29.2% compared to its production in 2016 (Tauhata et al., 2020). In Argentina, agricultural production significantly contributes to exports. As reported by the Rosario Stock Exchange (2019), the principal export commodities are two soybean by-products - pellets and oil, which represent over 60% of the total export value (Terré & Santa, 2020). This has consequently led to an intensification in the use of herbicides. That is the increase in the use of synthetic inputs per surface unit (Pamela, 2018). In Colombia, glyphosate, a commonly used herbicide, has been extensively applied for over three decades in the cultivation of various crops, including sugarcane, coffee, bananas, rice, cocoa, African palm, and citrus. (Restrepo & Rincón, 2021). Additionally, the Colombian government implemented a program from the Ministry of Justice and Law in 2001 to eradicate illicit crops (*Erythroxylum coca*) through glyphosate aerial spraying (Julio & Ramírez, 2017) which was suspended in 2015 after the International Agency for the Study of Cancer [IARC] ruled on their carcinogenic potential as a preventive measure (Ruano-Ibarra & Carreño, 2020).

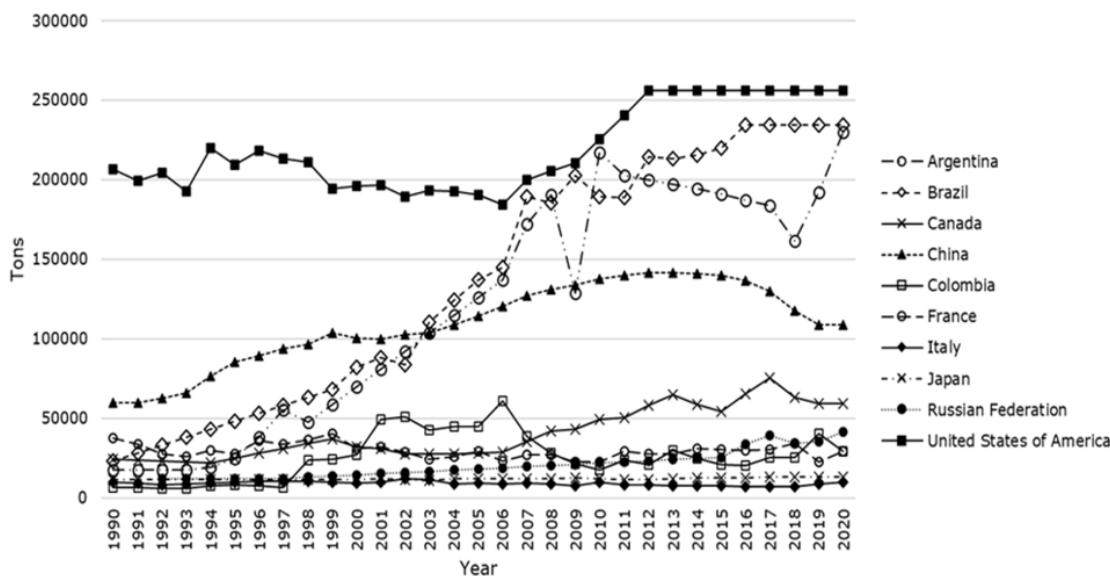


Figure 1. Highest Pesticide-Consuming Countries from 1990-2020. Note. Chart developed from the FAOSTAT database, The Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023). Recovered from: FAO (2023).

In this scenario of great changes at the agricultural and market level, the rise in glyphosate use can be traced mostly to its widespread use on an extensive range of plants, and the development of genetically modified organisms, which contain a gene that confers resistance to the herbicide molecule, suppressing the ability to generate aromatic amino acids such as tryptophan-tyrosine and phenylalanine in the plants (Argüello-Rangel et al., 2015). In the instance of Monsanto's patented line of Roundup Ready® seeds, which was developed in 1996 (Tubio, 2016). Which includes a wide variety of crops that have been genetically modified to be tolerant to Glyphosate inhibition (Torres & Romero-Natale, 2019); some of the best-known seeds released on the mar-

ket are some varieties of soybean, canola, cotton, and corn crops (Guijarro, 2019); which, in addition to containing glyphosate as the active ingredient, contain surfactant agents and other additives that improve the absorption of glyphosate in the foliage of vascular plants (Mantilla, 2020). The extended use of herbicides has raised concern worldwide about the direct or indirect effects that can be caused by large-scale use (Chen et al., 2022; Van Bruggen et al., 2018) due to the increase in the concentrations of these substances in the environment (Benbrook, 2016), moreover because of the adverse effects of its degradation products, and the negative impacts that it can have on the quality of soil, water, plants, animals and human beings (Zirena, et al., 2018).

Ecological Risk Assessments (ERAs) are systematic tools for quantifying the potential impacts of stressors, typically chemicals, on ecosystems. Despite being crucial for guiding conservation decisions, ERAs face challenges such as data scarcity and the difficulty of generalizing across different contexts (Landis et al., 2013).

The primary objective of the literature review is to provide a comprehensive analy-

sis of the global usage patterns of pesticides, particularly glyphosate, considering their physical-chemical properties, distribution mechanisms, impacts on non-target organisms and broader ecosystems, contributing socio-economic and agricultural factors, interplay with genetically modified organisms, and potential ecotoxicological risks to the environment and human health.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

To comprehend what are the immediate and long-term effects of chronic and acute exposure to glyphosate and its degradation products on aquatic ecosystems, and how can the risks for the different species present in the ecosystems, a systematic review was conducted in accordance with the PRISM methodology suggested by Page et al., (2021), (supplementary material) of ecotoxicological studies published within the past 12 years, in either Spanish or English languages.

Approximately 95 documents were examined, which included academic papers, theses, and information from exhibitions or lectures available on the internet. After applying the process detailed in Figure 2, information from a total of 69 documents was included in this review. We used the keywords: Glyphosate, Organophosphate, Herbicide, Environmental Risk, Degradation Product, Agriculture, Risk assessment, Water Quality in the databases of Scielo, Dialnet, Google Scholar, Else-

vier, Springer, Science Of The Total Environment, Environmental Sciences Europe to obtain a comprehensive set of data for this research. To conduct a more detailed analysis, we directed the review towards the methodology employed, the results presented, and the conclusions drawn. The selected studies allowed for the characterization of the behavior of glyphosate, AMPA, and sarcosine in the environment, including their mechanisms of transport and persistence. Studies on the toxicity, biodegradation, persistence, and environmental contamination of glyphosate were considered, as were the effects of glyphosate-based herbicides on the environment, the relationship between the use of glyphosate herbicide and its impact on human health and biodiversity. Studies that evaluated the ecotoxicological risk of these compounds in water and monitored their presence were also included. Additionally, information was gathered on international parameters such as reg-

ulations and studies evaluated by international organizations such as the EPA, IARC, and the EU. Studies that were considered outside the scope of the research question were excluded. Additionally,

risk assessments conducted on matrices other than water, as well as outdated or incomplete information, duplicates, and studies with unclear methodology, were discarded.

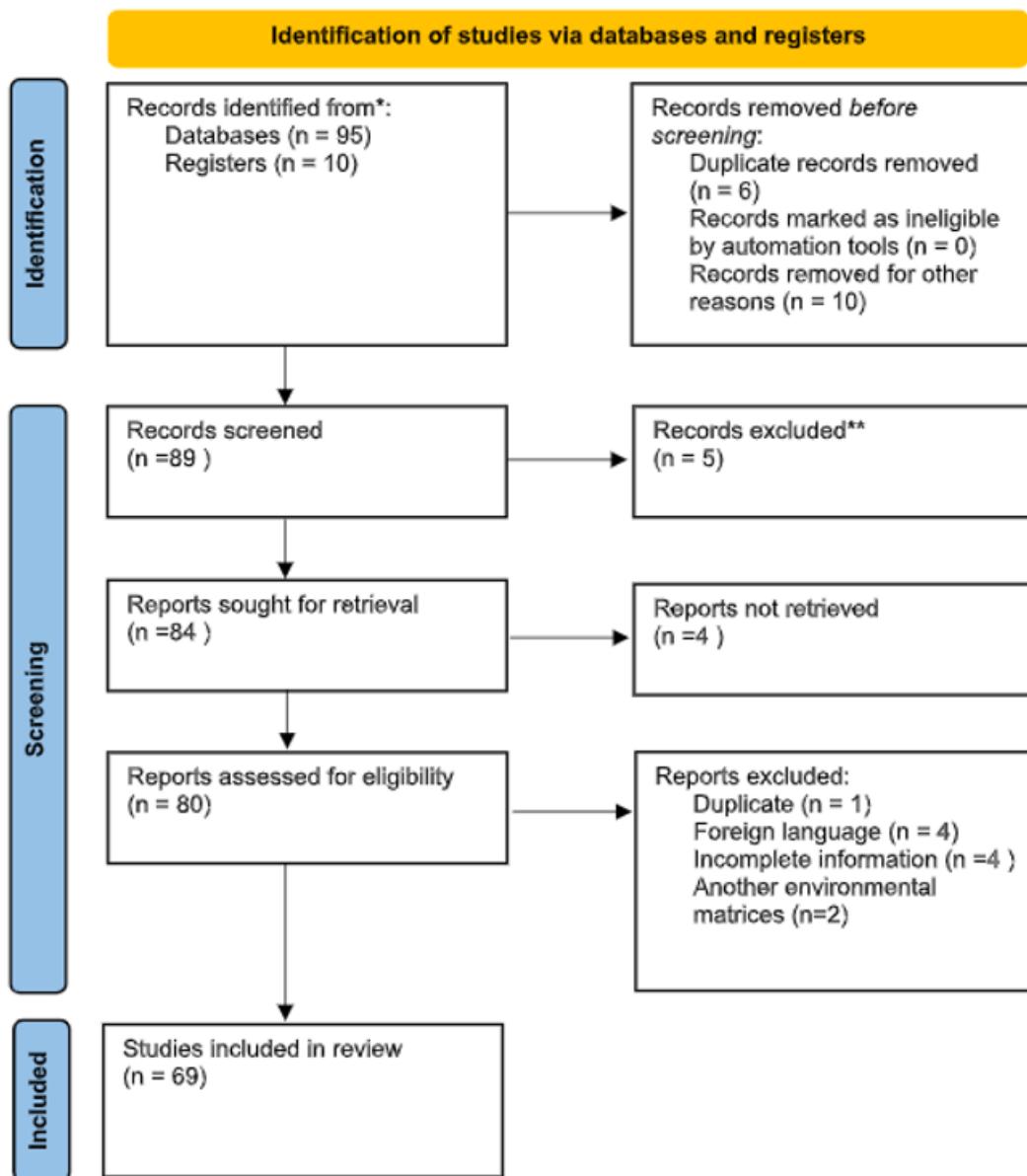


Figure 2. PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only.

From: Page et al. (2021).

3. RESULTS

Glyphosate: Chemical Properties, Action, and Degradation

This compound, a broad-spectrum, non-selective, post-emergent herbicide (Sterren et al., 2016; Raj, 2023), is an acid utilized in the form of isopropylamine salt of N-phosphonomethyl-glycine. Its molecular structure, as shown in Figure 3, comprises three polar functional groups: carboxyl, ami-

no, and phosphonate (Huaracahuaraca, 2017). The mode of action of glyphosate is through the enzymatic disruption in the production of shikimic acid. Therefore, it disrupts precursors of important metabolites such as plant hormones (Junges et al., 2013; Benslama and Boulahrouf, 2016; in Chen et al, 2022). Glyphosate is also used to accelerate the ripening of forage cereals (Helander et al., 2012).

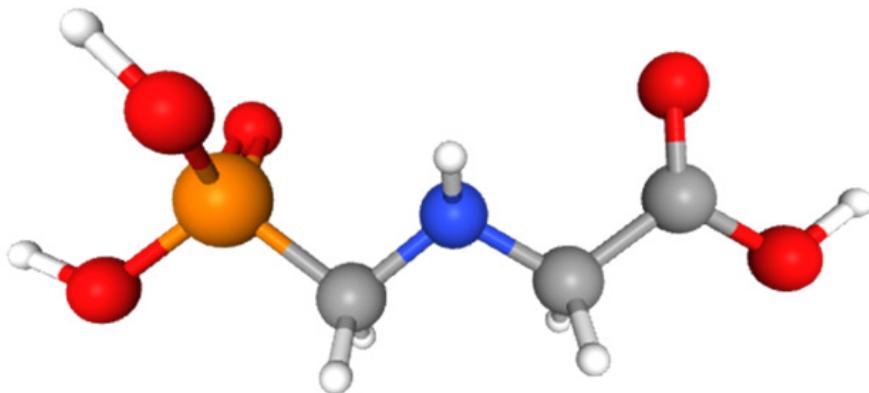


Figure 3. Molecular structure of glyphosate. The red, gray, white, and orange spheres represent oxygen, carbon, hydrogen, and phosphorus respectively.

Source: National Center for Biotechnology Information (2021).

Glyphosate, also known under the trade name “Roundup®”, was developed by Monsanto Company in 1970, and commercialized since 1974 (de Castilhos et al., 2020; Lupi et al., 2015). Its popularity and application increased in 1996 when the Monsanto company developed a line of patented “Roundup Ready®” seeds, which correspond to varieties of crops

genetically modified to be tolerant to glyphosate inhibition (Torres & Romero-Natale, 2019). These resistance genes to this compound are transferred via bacteria or as the product of bioengineering techniques (Mantilla, 2020).

Concurrently, Chemical structure of Glyphosate is buildup of direct Carbon to

Phosphorus (C-P) and Carbon to Nitrogen (C-N) bonds, these bonds can be split relatively quickly by the action of soil microorganisms (Ximenis, 2019). The principal degradation products are sarcosine and aminomethylphosphonic acid [AMPA] (Candela et al., 2010; Mesnage & Antoniou, 2018), whose degradability rate is usually slower (Table 1) (Sterren et al., 2016). Glyphosate is a highly soluble compound in water (Gros et al., 2017), with a low octanol-water partition coefficient ($\text{LogK}_{\text{ow}} = -3.2$); it presents a high affinity for organic carbon (Log K_{oC}) and high absorption in the soil, which represents low mobility in this environmental compartment (ATSDR., n.d.; Lutri et al., 2020). Also, the adsorption of glyphosate in the soil will depend on its dissociation capacity (Huaracahuaraca, 2017) or constant dissociation (pKa : 2.0 – 2.6 – 5.6), which

indicates that this compound will exist almost completely in zwitterionic form, i.e., tends to be adsorbed strongly in soils containing organic carbon and clay than its neutral counterparts (NCBI, 2021).

Glyphosate is applied by spraying and due to its low sedimentation rate it is distributed through the air as aerosols (Torres & Romero, 2019). Approximately 75% of the compound remains in the field of which 12% reaches the ground through direct contact, leaf washing, root exudation, and treated plants, and one of the main factors that affect the environmental fate of glyphosate is the soil moisture (Villarreal, et al., 2020) The remaining percentage is lost to atmospheric drift, reaching non-target fields and plants, and a very small amount (3%) reaches bodies of water (Huaracahuaraca, 2017; Soares, 2019).

Table 1. Physicochemical properties of Glyphosate, AMPA and Sarcosine.

Compuesto	Molecular formula	Relative molecular mass (g/mol)	K_{ow} at pH 7, 20 °C (LogP)	DT_{50}/DT_{90} (field), days Soil	Solubility in water at 20 °C (g L ⁻¹)	Henry's Law Constant (Pa.m ³ .mol)	Source
Glyphosate	$\text{C}_3\text{H}_8\text{NO}_5\text{P}$	169.07	-3.2 a 25 °C	23.79/ 169.68	10.5	2.1×10^{-9}	(NCBI, 2021), (Lewis, et al., 2016), (EPA, 2015)
AMPA	$\text{CH}_6\text{NO}_3\text{P}$	111.0	-1.63	1000	1466.561		(Lewis, et al., 2016)
Sarcosine	$\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$	89.09	-3.1	-	308		(NCBI, 2021), (VCCLAB, 2005)

Source: authors.

Chemical persistence is quantified by the half-life ($t_{1/2}$, in days), representing the time required for a compound to decrease to half its initial concentration (Sterren et al., 2016). In the case of glyphosate, its persistence in soil ranges from 1 to 197 days, depending on various soil and experimental conditions (Ramírez-Haberken et al., 2021; Yang et al., 2015). In addition, the number of days necessary for glyphosate to reduce to 90% of the initial concentration in this case, which for glyphosate varies between 40 and 280 days (Ximenis, 2019). According to the literature review, scarce data were found about the degradation times of glyphosate in aqueous

media. However, as shown in (Table 2) $t_{1/2}$ at 20°C by aqueous hydrolysis is within the threshold established by England and the European Union (0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$) (European Commission, 2009). Moreover, through aqueous photolysis, glyphosate in water achieves a half-life ($t_{1/2}$) of 69 days at pH 7, rendering it stable. Notably, glyphosate's half-life is influenced by pH changes, decreasing significantly to 33 days at pH 5 and extending to 77 days at pH 9. Its half-life, when subjected to aqueous hydrolysis in a water matrix at pH 7 and 20°C, remains stable within a pH range of 5 to 8 at 25°C (Lewis et al., 2016).

Table 2. Glyphosate Persistence in Soil and Water

Degradation	Soil (aerobic degradation, in days)	In water (days)	Interpretation
$t_{1/2}$ (typical)	15.0	-	No persistent
$t_{1/2}$ (Lab, 20°C)	15.0	-	No persistent
$t_{1/2}$ (field)	23.79	13.82 – 301	No persistent in soil Moderately high persistence in rivers (EFSA, 2015)
Aqueous photolysis DT_{50} (days) a pH 7	-	69	Stable
Aqueous hydrolysis $t_{1/2}$ (days) a 20 °C y pH 7	-	Stable	Stable
Water-sediment $t_{1/2}$ (days)	-	74.5	Moderately fast
Water phase only $t_{1/2}$ (days)	-	9.9	Moderately fast

Note. $t_{1/2}$: half-life.

Source: Adapted from Lewis, et al. (2016) and EFSA (2015).

The biodegradability of glyphosate can be affected by several factors, including bioavailability, soil composition, and soil microorganism activity, as stated by Guijarro (2019). Guijarro et al. (2018) found that the higher application rate of glyphosate compared to its dissipation rate favors its persistence in the environment. They also noted that agricultural management practices and land use can indirectly modify the structural and functional diversity of microbial populations as well as soil properties, thus affecting glyphosate's persistence.

Degradation Products of Glyphosate, Sarcocine and Amino-methylphosphonic Acid (AMPA)

Two primary metabolic pathways are involved in the breakdown of glyphosate in soil by microorganisms (Figure

4). The first pathway leads to the formation of sarcosine and inorganic phosphate through the action of a C-P lyase enzyme. The second pathway involves glyphosate oxidoreductases that convert glyphosate into aminomethylphosphonic acid (AMPA) and glyoxylate (Mantilla, 2020; Aslam, 2023). AMPA is a compound that is often found in the environment, particularly in water. It is formed when glyphosate and amino-polyphosphonates break down. The widespread use of these chemicals contributes to the prevalence of AMPA.

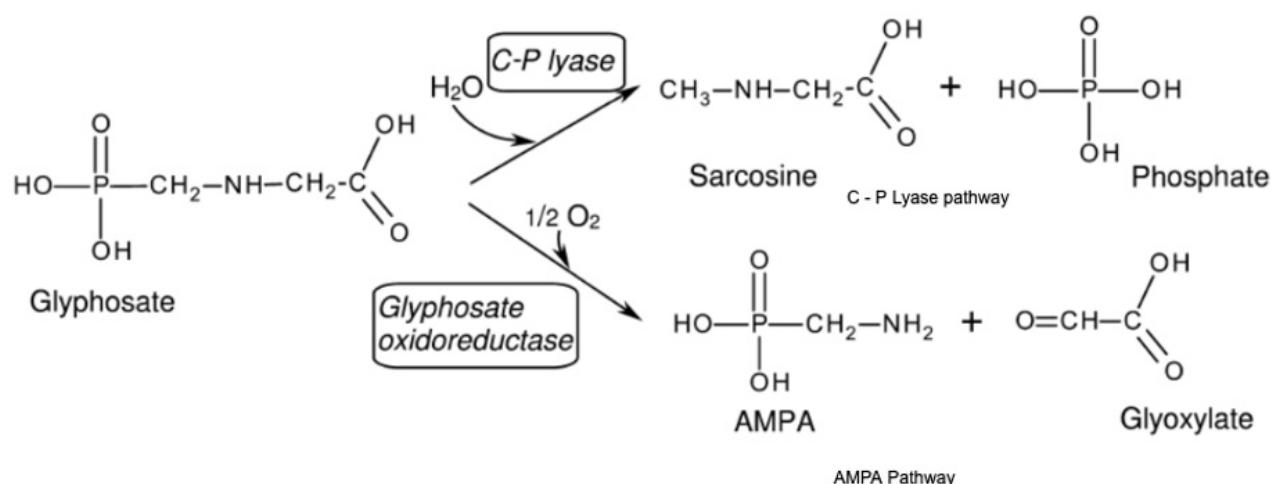


Figure 4. Main metabolic routes of degradation of Glyphosate. Adapted from: Pollegioni et al. (2011).

AMPA can also be a substrate for C-P lyase and subsequently oxidized to CO₂, and glyoxylate can be metabolized as a carbon source by microorganisms (Tauhata et al., 2020). The C-P lyase catalyzes the first metabolic pathway of breaking the C-P bond, releasing sarcosine and phosphate, which can be utilized as a phosphorus source by microorganisms. However, the metabolic conversion of glyphosate to sarcosine occurs less frequently in agricultural soils due to the high levels of phosphorus and the more stable C-P bond, which may be regulated by the concentrations of inorganic phosphorus in the soil. (Mantilla, 2020). Glyphosate is a commonly used herbicide that can be degraded through multiple metabolic pathways. For instance, AMPA can be broken down through C-P lyase and converted into CO₂, while glyoxylate can be utilized as a source of carbon by microorganisms (Tauhata et al., 2020). When the C-P bond is broken, sarcosine and phosphate are released, with the latter being utilized as a phosphorus source by microorganisms. However, due to the stability of the C-P bond and the abundance of phosphorus in agricultural soils, the metabolic conversion of glyphosate to sarcosine occurs less frequently and is regulated by the concentrations of inorganic phosphorus in the soil (Mantilla, 2020). The C-P lyase complex is only activated in response to intracellular inorganic phosphorus deficiency, which is not typical in natural environments. As a result, the degradation mechanisms through the C-P lyase and sarcosine path-

ways are still relatively unexplored, both molecularly and biochemically (Álvarez & Chávez, 2019). However, studies have found that in water sediment, the sarcosine degradation pathway is the first to occur, associated with microbial growth, while the AMPA pathway occurs later under starvation conditions and a lack of nutrients (Wang et al., 2016). In these environments, sarcosine is rapidly oxidized to glycine and incorporated directly into the microbial biomass, implying that the preferential degradation route is not necessarily through AMPA formation, as it is energetically more favorable for the cell to produce sarcosine (Okada et al., 2017).

Biodegradation processes of glyphosate vary according to the type of soil, and environmental factors (Ximenis, 2019). Some studies suggest that the bioavailability of the compound is also fundamental to the degree of total dissipation of the same in the soil (Guijarro, 2019). Glyphosate degrades more easily in soil, although its persistence can vary widely than its metabolite AMPA, which is more persistent ($t_{1/2} = 23\text{--}953$ days) (Ximenis, 2019). Thus, the decomposition rate of AMPA is considerably lower than that of glyphosate, with a half-life of 3.5 times longer than the half-life of glyphosate (Ramirez Haberkorn et al., 2021). Several studies indicate that the bioavailability of this compound plays an essential role in its complete dissipation in the soil (Guijarro, 2019). The dispersion behavior of glyphosate varies depending on the type of soil and environmental conditions. Although glyphosate degrades more easily

in the earth, its persistence can show a wide variability compared to its metabolite AMPA, which proves to be more persistent ($t_{1/2} = 23-953$ days) (Ximenis, 2019). Thus, the decomposition rate of AMPA is considerably lower than that of glyphosate, with a half-life that can be 3.5 times longer than that of glyphosate (Ramírez et al., 2021).

Furthermore, the factors that most affect the residence time of glyphosate and AMPA concentrations in the soil are related to their partition coefficients in the different environmental matrixes, that define, for example, the sorption characteristics on mineral particles, bioaccumulation potential, and tendencies to occur in the environment (Benintende, 2016). In general, other factors that favor pesticide dissipation processes also include organic matter content, type and proportion of soil minerals, cation exchange capacity, pH, pore space, and pore size distribution (Aparicio et al., 2015).

Transport and fate of Glyphosate in the environment

The apolar zones of the molecules facilitate rapid and strong absorption by soil particles, preventing their mobility and leaching (Torres & Romero-Natale, 2019). Furthermore, glyphosate has a low vapor pressure [1.94×10^{-7} mmHg at room temperature], giving the glyphosate the capacity to volatilize at a moderate rate (Maria et al., 2020; Carriquiriborde, 2021).

Therefore, glyphosate can reach surface water sources in two ways, one is by spraying in the fields and another by erosion generated by the wind that drags the soil particles enriched with it. As shown in (Figure 5), the transport of glyphosate and AMPA follows a similar behavior (Mas et al., 2020). As well as runoff that also carries soil particles containing glyphosate into surface water ecosystems (Ximenis, 2019), especially in intense rain events, and if it happens just after the application of Glyphosate (the same happens with AMPA), even when these two substances tend to stay in the superficial part of the soil, this drag can occur (Grandcoin et al., 2017). In addition, factor that limits the leaching of Glyphosate to surface waters is biodegradation by soil microorganisms and the similarity between the chemical structures of glyphosate and other phosphate molecules, which establish competition between both compounds towards soil sorption sites (Carles et al., 2019).

Partition coefficients as octanol-watercoefficient (K_{ow}) which determines the hydrophobicity, the potential to bioaccumulated in fatty tissues or the possibility to be biodegraded (Ximenis, 2019; Cumming & Rücker, 2017; Maria et al., 2020). For the case of glyphosate, as shown in Table 2, the $K_{OW}=-3.2$, shows that it is a highly hydrophilic compound, so the probability to bioaccumulation is insignificant, however, it often tends to be absorbed by sediments (Maria et al., 2020). That is, it has a greater affinity for organic matter that

is generally retained in the sediments, therefore, it has less capacity to move through the aqueous phase (Carriquiriborde, 2021). As for AMPA and Sarcosine, they are expected to behave in a similar way as its parental compound (Lewis, et al., 2016). Despite the aforementioned, it is essential to emphasize that any chemical substance could exert detrimental effects on the environment if it is present in sufficiently high concentrations.

Based on its absorption coefficient K_{oc} range of 2,600 to 4,900, Glyphosate has slight mobility in soils (NCBI, 2021). However, erosive processes and runoff are the main transport processes of glyphosate to aquatic systems. The data in the table are European Union regulatory and evaluation data published by the European Commission (EC), European Food Safety Authority (EFSA) (Renewal Assessment Report (RAR), Draft Assessment Report (DAR) and conclusion files), and European Medicines Agency (EMA) (Lewis, et al., 2016). Regarding AMPA, it is also considered highly soluble (Criterion: > 500 = High). (Lewis, et al., 2016). Consequently, for example, studies carried out in the Suquía river basin in Córdoba, Argentina, found that the highest concentrations of glyphosate and AMPA were found in the sediments

compared to the water (Bonansea et al., 2017). Although Glyphosate is soluble in water, due to its partition coefficient (K_{oc}) in aquatic systems it tends to transfer to sediments (Huaracahuaraca, 2017).

With an absorption coefficient K_{oc} range of 2,600 to 4,900; glyphosate demonstrates limited mobility in soils (NCBI, 2021). Nonetheless, erosion and runoff serve as the primary means of transporting glyphosate to aquatic systems. The data presented in the table originate from European Union regulatory and evaluation sources, including the European Commission (EC), the European Food Safety Authority (EFSA) (Renewal Assessment Report (RAR), Draft Assessment Report (DAR), and conclusion files), as well as the European Medicines Agency (EMA) (Lewis, et al., 2016). As for AMPA, it is also regarded as highly soluble (Criterion: > 500 = High) (Lewis, et al., 2016). Consequently, studies conducted in the Suquía river basin in Córdoba, Argentina, for instance, revealed that the highest concentrations of glyphosate and AMPA were found in sediments rather than in water (Bonansea et al., 2017). Although glyphosate is water-soluble, its partition coefficient (K_{oc}) in aquatic systems causes it to predominantly transfer to sediments (Huaracahuaraca, 2017).

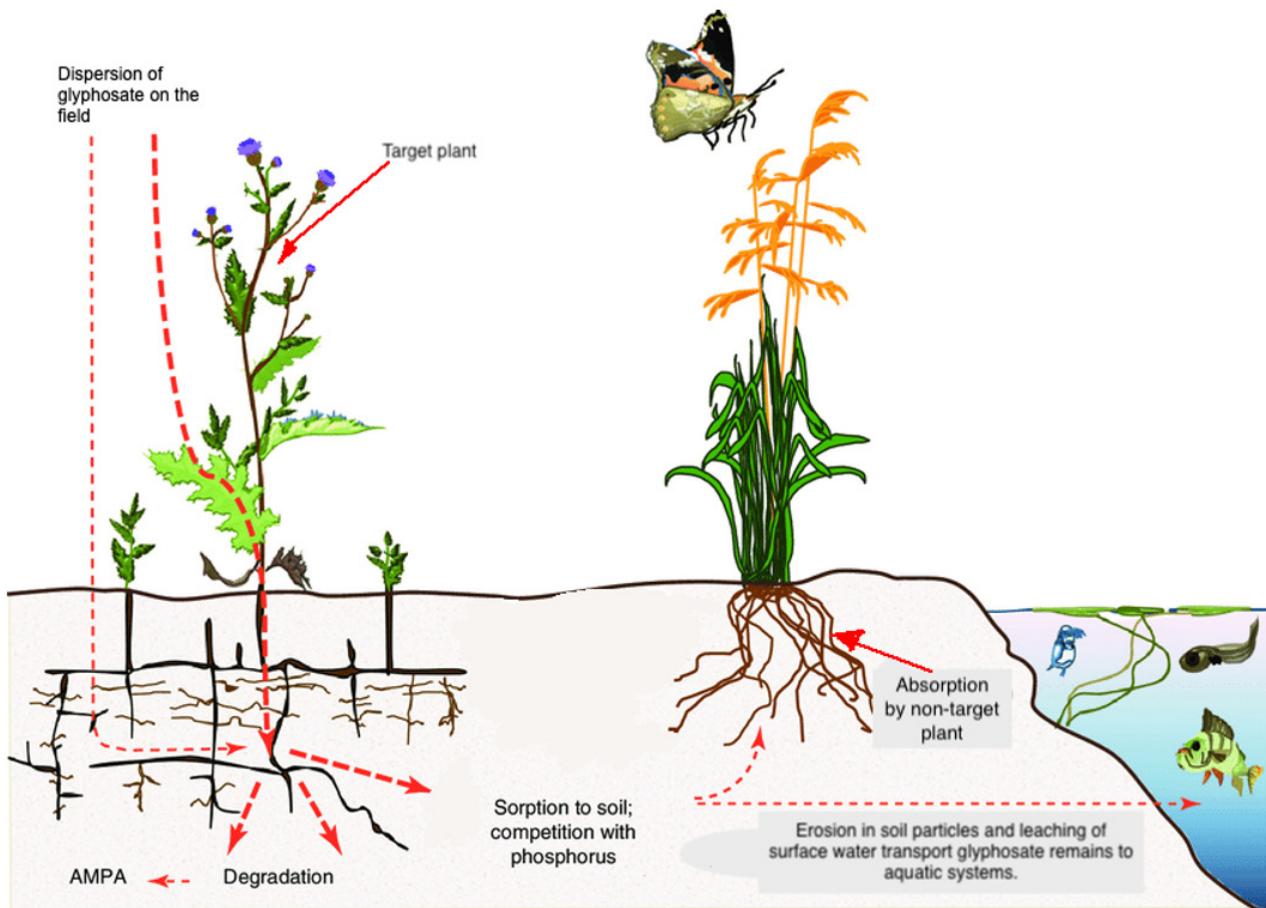


Figure 5. The fate of glyphosate in the environment.

Source: Adapted from (Helander et al. (2012). (Red Dashed Lines) transport glyphosate from air, soil, and water. (Red Continuous Line) glyphosate Absorption in Plants.

A study conducted in China it was observed that Glyphosate and AMPA initially tend to be absorbed mostly in the upper 2cm of the soil, instead of being transported and absorbed deeper, however, residues of AMPA and glyphosate were found but in lower concentrations at as it went deeper into the soil (Yang et al., 2015). Glyphosate percolation into groundwater is very low given its strong affinity with the soil (Ximenes, 2019).

Another study carried out in seven states of the United States more than 90% of the samples from different watersheds were contaminated with pesticides, of which AMPA, glyphosate, and atrazine were found to have the highest presence, with a 33%, 21% and 18% of the samples respectively (Battaglin et al., 2016). Also, in Argentina, in the east of the province of Santiago del Estero, three types of water sources were monitored to determine the environmental fate of pesticides, and

herbicides were found to be more prevalent. The most important compounds were glyphosate, atrazine, AMPA and hydroxyatrazine (HOA) (Mas et al., 2020).

Some studies conducted in the United States found glyphosate in air and rain in the range of 60 to 100% of samples collected over two growing seasons (Grandcoin et al., 2017). AMPA was also found in a range of 40-90% of the rain samples and 60-90% of the air samples. However, the proportion of applied glyphosate that is released into the atmosphere is unknown. (Grandcoin et al., 2017). In addition to this, wind erosion also has a great influence on the transport of glyphosate and AMPA with dust in suspension toward bodies of water, especially in semi-arid areas. For example, in Argentina, in the province of Chaco, studies were carried out on the sediment of bodies of water that confirmed that the material eroded by the wind contributes to the contamination of water with Glyphosate (Concen-

tration found: $0.66\text{-}313 \mu\text{g kg}^{-1}$, and with AMPA (Concentration found: $1.3\text{-}83 \mu\text{g kg}^{-1}$) (Mas et al., 2020). When the polluted particles reach the surface waters, they tend to adsorb to the bottom sediment; where the biodegradation of glyphosate is much slower (Zirena et al., 2018), the concentrations of glyphosate were found to range from 0.66 to $313 \mu\text{g/kg}$, while those of AMPA varied between 1.3 and $83 \mu\text{g/kg}$ (Mas et al., 2020). As contaminated particles enter surface waters, they tend to adhere to the bottom sediment, where the biodegradation of glyphosate occurs at a considerably slower rate (Zirena et al., 2018). Yang et al. (2015), in a study conducted at different slope gradients and application rates in plots with loess soil in the Loess Plateau in China, observed that the decomposition rate of glyphosate in this type of soil is rapid, and suggests that special care should be taken in areas with highly erosive rainfall due to off-site transport.

4. DISCUSSION: ECOTOXICOLOGICAL RISK ASSESSMENT

Table 3 presents a consolidated matrix of the ecotoxicological risk assessment of glyphosate in water, covering both chronic and acute tests. Acute tests on *Artemia franciscana* and *Microcystis aeruginosa* have shown that the continuous use of herbicides containing the isopropylamine salt of N-(phospho-

nomethyl) glycine can have highly toxic effects on zooplanktonic and phytoplanktonic organisms in aquatic environments (Solís-Gonzalez et al., 2019). Additionally, contamination with the commercial herbicide GLIFOPAC in water bodies has been found to have short- and medium-term toxic potential for organisms

such as *Daphnia Magna* and *Artemia salina* (Huaracahuaraca, 2017).

Also, chronic exposure of goldfish (*Cassius auratus*) to glyphosate at low levels (34 mgL^{-1}) altered metabolism in various tissues, producing oxidative stress (Li et al., 2017). As well as, in chronic tests on *Daphnia Magna* and *Ceriodaphnia Dubia*, they observed that *Daphnia magna ephippia* exposed to the substance exhibited modifications in their life cycle, as evidenced by the production of eggs that did not successfully develop. In exposed organisms where the net reproductive rate ($R_o < 1$), presented a population decrease and possible local extinction in the environments disturbed by the evaluated herbicides (Reno et al., 2016). Likewise, acute tests on *Artemia franciscana* showed high toxicity (Category I: highly toxic, US EPA) at $\text{LC50}(24) = 0.3054 \text{ mgL}^{-1}$ and $24\text{h-NOEC} = 0.2488 \text{ mgL}^{-1}$ (Solis-González et al., 2019).

Some acute tests on cyanobacteria *Microcystis aeruginosa* ($\text{IC50}(72) 53.95 \text{ mgL}^{-1}$, form coefficient ($\text{CF} \approx 1$), $72\text{h-NOEC} = 2.95 \text{ mgL}^{-1}$, showed significant changes in its volume and cell surface $\text{IC}_{50}(72)$ of $7.69 \pm 1.69 \mu\text{m}^3$ with a 33% reduction in volume compared to the control cell and a category II toxicity (toxic) according to the US EPA classification (Solís-González et al., 2019). Another fundamental factor when evaluating the impacts on the ecosystem is the composition of Glyphosate, that is, its formulation with adjuvants,

in particular surfactants such as polyoxyethylene amine (POEA) and MON 0818 (75% POEA) that can negatively impact the health of a variety of animals in the aquatic food chain, including protozoa, mussels, crustaceans, frogs, and fish, similar to the effects on terrestrial animals (Muñoz et al., 2020).

Because the composition of glyphosate is legally classified as confidential business information, confusion about the identity and concentrations of co-formulants is very common, raising concerns about the risks they may cause (Mesnage et al., 2019). In Argentina, one of the most used formulations in soybean production is Sulphosate Touchdown® (Syngenta Agro), a formulation based on glyphosate (potassium salt, 62%) (Fantón et al., 2020), and in a study carried out by Fantón et al. (2020), it was found that the presence of this herbicide in freshwater systems could pose a risk to the ecological role of *Notodiaptomus carteri* (copepods) in nature. On the other hand, Maria et al. (2020) indicated, according to the risk quotient, that glyphosate does not represent a risk for the survival or reproduction of microcrustaceans but can cause adverse effects on non-target and more sensitive organisms. However, AMPA did not present an apparent ecological risk, even with a toxic effect, probably due to its formation in low concentrations in the aquatic ecosystem. The maximum environmental concentrations reached in the study of the aquatic microcosm (applying 100 Lha-1) for the

control of aquatic macrophytes did not show any risk for aquatic invertebrates. It is important to highlight in this study that glyphosate was applied in environments with the water surface completely covered by floating aquatic plants, a situation that could function as a filter to retain the surfactant, given that the commercial formulation of glyphosate is a mixture of substances that could make it more toxic than the active ingredient. In addition, within aquatic systems, copepods are dominant members of plankton communities and constitute a fundamental link in the food chain, they are small in size, sexually dimorphic and have a short life cycle, made up of twelve larval stages (six *nauplii* stages, five copepodite stages and adult stage) (Gutiérrez et al., 2011). In the case of *Noto-diaptomus carteri* (freshwater copepod), chronic tests were carried out, in which it was found that glyphosate prevented copepods from reaching the adult stage, inhibited the growth of the first stage of copepodites and increased the activity of three enzymes. antioxidants, superoxide dismutase (SOD), catalase and glutathione-S-transferase (GST) in adult females. The lowest concentration of glyphosate

increased the *nauplii* stages and the total development time (Fantón et al., 2020).

Finally, the evaluation of the acute toxicity of two commercial herbicides formulated with glyphosate and of a solution of the same (see Table 3. In section formulation a, b, c *) carried out by Álvarez et al., 2012, who compared to fish of the species *Poecilia reticulata* "lebistes" attributes to formulation B: Round-Up® (Conc. of glyphosate: 48% (480 gL^{-1}) – Excipients: POEA isopropylamine Ac. Orgánicos) the mortality of 100% of the specimens at $100 \mu\text{L L}^{-1}$ (equivalent to 48 mgL^{-1} of active ingredient) and $50 \mu\text{L L}^{-1}$ (equivalent to 24 mgL^{-1} of active ingredient); on the other hand, the solution formulated with pure glyphosate did not produce mortality even at concentrations of 400 mgL^{-1} . In the case of the chronic evaluation, using sub-lethal doses based on the data obtained in the acute toxicity test, it was possible to determine that in the long term, specimens of *Cyprinus carpio haematopterus* "carp koi" showed severe hematological and histological alterations compared to the experimental model used.

Table 3. Ecotoxicological Risk Assessment Research of Glyphosate in Water

Endpoints	Organism studied (OE)	Type of Exposure	Concentrations	Effects	Tested formulation	Reference
Life history attributes and the population parameter (Ro)	<i>D. Magna & C. Dubia</i>	Chronic: 21 días	0.15 y 0.62 mgL ⁻¹	<i>D. Magna</i> exposed experienced life cycle changes due to aborted eggs	Panzer Gold® (Dow Agrosciences)	(Reno et al., 2016)
			0.1 y 0.31 mgL ⁻¹	Exposed environments with Ro <1 showed population decrease and possible local extinction due to evaluated herbicides.	(Sulfosate Touchdown® y Panzer Gold®)	
Median lethal concentration (CL ₅₀ (24))	<i>Artemia franciscana</i>	Acute: 25 h	CL ₅₀ =0.3054 mgL ⁻¹ (0.2983-0.3151) NOEC=0.2488 mgL ⁻¹ (0.2370-0.2569)	US EPA Category I (highly toxic). IC50(72) of 7.69±1.69 µm ³ reduces volume by 33% and alters cell surface while remaining spherical.	Glyphosate with a purity of 97% [C ₃ H ₈ NO ₅ P] (La FAM®)	(Solís-González et al., 2019)
Population means inhibitory concentration (CI ₅₀) and the shape coefficient (CF)	cyanobacteria <i>Microcystis aeruginosa</i>	Acute: 72 h	CI ₅₀ =53.95mgL ⁻¹ CF≈1, 72h-NOEC =2.95 mg L ⁻¹ .	Category II (toxic) according to the US EPA classification.		

Endpoints	Organism studied (OE)	Type of Exposure	Concentrations	Effects	Tested formulation	Reference
Risk Quotients (RQ)= to assess chronic risk.	Fish <i>O. mykiss</i> Glyphosate	Chronic: NOEC=85 days	fish=9.6mgL ⁻¹	Chronic risk is high in sites with glyphosate plus AMPA (>60%) and ΣRQs> 1. At-OH, AMPA, and flurochloridone were main contributors to low risk in other sites.	(Pérez et al., 2021)	
	Fish <i>Pimephales promelas</i> AMPA	Chronic: NOEC=33 days				
	<i>D. magna.</i>	Chronic Invert: NOEC= 21 days.	Invert= 12.5 mgL ⁻¹			
	algae <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> . (Growth inhibition)	Chronic: 96h EC ₅₀	Algae=2.0mgL ⁻¹			
Toxic Units (TU)= to assess acute risk	Fish <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Acute: 96 h CL ₅₀	fish =38 mgL ⁻¹	ΣTU < 1, no acute ecological risks for 3 trophic levels studied (algae, daphnids, fish).		
	Daphnia Magna.	Acute Invert: CE ₅₀ 48 h.	Invert=40mgL ⁻¹			
	Algae: <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (Growth inhibition)	Acute: 72 h EC ₅₀	Algae= 19 mgL ⁻¹			

Endpoints	Organism studied (OE)	Type of Exposure	Concentrations	Effects	Tested formulation	Reference
Acute toxicity tests. EPA, (1995) Mortality, survival, Reproduction	<i>D. Magna</i>	AD: 48 h	LC ₅₀ : 27.4 mgL ⁻¹ LC ₉₉ : 65.90 mgL ⁻¹ (IC, 95%)	<i>D. Magna</i> 2.5x more sensitive, 26% survival at 14.4 mg/L, NOEC=0.45 mg/L, LOEC=1.35 mg/L for fertility. >0.8mg/L: Reproductive effects.	GLIFOPAC	(Huaraca-huaraca, 2017)
	<i>A. salina</i>	AA: 48h	LC ₅₀ : 70.4 mgL ⁻¹ LC ₉₉ : 253.6 mg. L ⁻¹ (IC, 95%)	AMPA: toxic to Artemia in saline water. GLI-FOPAC toxic to Daphnia and Artemia in aquatic environments.		
Method of exposure to toxicity with static renewal.	Golden fish (<i>Carassius auratus</i>)	Chronic: 90 days with water renewal 24 h	0.2 mmol/L (34mg.L ⁻¹)	Glyphosate causes biochemical and organ dysfunction, and metabolism disturbances in fish.	Glyphosate "Nongteshi®" (Longbang Chemical Industry Co., Ltd, Wuxi, China)	(Li et al., 2017)

Endpoints	Organism studied (OE)	Type of Exposure	Concentrations	Effects	Tested formulation	Reference
Risk quotient (RQ) RQ > 1.0: High Risk	<i>D. similis</i> (Immobility and/or mortality)	Acute: 48 h	Glyphosate: 27.5 mgL ⁻¹	RQ: 0.52-No effect	(Roundup Original®)	(Maria et al., 2020)
			AMPA: 12.5 mgL ⁻¹	RQ: 0.01 - No effect		
			Roundup: 13.6 mgL ⁻¹	RQ: 2.02		
	<i>A. fischeri</i> (Decrease in luminescence)	Acute: 5- 30 min.	Glyphosate: 11.46 mgL ⁻¹	RQ: 1.59		
			AMPA: 20.25 mgL ⁻¹	RQ: 0.03 - No effect		
			Roundup: 20.16 mgL ⁻¹	RQ: 0.90 - No effect		
	<i>Ceriodaphnia dubia</i> initial effect concentration not observed	Chronic: -	Glyphosate: 27.5 mgL ⁻¹	RQ: 0.66 - No effect		
			AMPA: 12.5 mgL ⁻¹	RQ: 0.04 - No effect		
			Roundup: 3.6mgL ⁻¹	RQ: 5.06		
Life Cycle Assessment Ontogenetic Development and the biochemical markers	<i>Notodiaptomus carteri</i> (freshwater copepod)	Chronic: 30 days Chronic:10 días	0; 0.38 y 0.81 mg L ⁻¹	Low glyphosate concentration increases nauplii and development time. High concentration inhibits copepod growth and antioxidant enzyme activity.	Sulfosate Touchdown® (Syngenta Agro)	(Fantón et al., 2020)

Endpoints	Organism studied (OE)	Type of Exposure	Concentrations	Effects	Tested formulation	Reference
Mortality	<i>Poecilia reticulata</i> "lebistes"	Acute: 96 h	Formulations A and B: 100 μgL^{-1} ; 50 μgL^{-1} ; 25 μgL^{-1} ; 12,5 μgL^{-1} Formulation C: 100mgL ⁻¹ ; 200mgL ⁻¹ ; 400mgL ⁻¹	Herbicide B is 4x more toxic than A, causing 100% mortality at 25 μgL^{-1} . Active ingredient not toxic at up to 400 mgL ⁻¹ .	*Formulation A is Glacoxan®, with a glyphosate concentration of 48% and no excipients. Round-Up® Formulation B contains 48% glyphosate and excipients such as POEA, isopropylamine, and organic acids. Formulation C - Conc. of glyphosate 0. 6 % (6gL ⁻¹) - Excipients: Does not possess	(Álvarez et al., 2012)

Note: C: Chronic; A: Acute; RQ: Risk Quotient, RQ<1: no ecotoxicological risk effects, RQ>1: ecotoxicological risk effects; UT: Toxic Units , \sum UT<1 no acute effects, \sum UT>1 acute effects; LC₅₀: concentration of a substance that is lethal to 50% of the test organisms in a given time period; LC₉₉ refers to the concentration of a substance required to cause 99% mortality in a population of test organisms; NOEC: highest concentration without adverse effects; LOEC: Lowest Observed Effect Concentration; IC50: the concentration of a substance that inhibits 50% of a biological activity or response in a test organism or cell line.

Source: authors.

In recent times, there has been an increased interest in investigating the actual toxicological effects of glyphosate due to updated risk assessments of glyphosate exposure by the US Environmental Protection Agency (US EPA) (Carranza et al., 2019). Glyphosate and its degradation product, AMPA, were classified as a probable human carcinogen in Category 2A by the International Agency for Research on Cancer (IARC) in 2015. However, the US EPA found no evidence to support the classification of glyphosate as a human carcinogen (Benbrook, 2019). These recent regulatory reviews and reports have raised important questions regarding the potential health and environmental impacts of glyphosate, making it an important topic for further research and discussion in the scientific community.

The US EPA's disagreement with the IARC's conclusion on the probable carcinogenicity of glyphosate is well-documented. According to the EPA's official website, they relied on 15 approved carcinogenicity research found in the open literature, whereas the IARC based its classification only on eight animal carcinogenicity studies. However, the IARC maintains that its classification of glyphosate as a probable carcinogen (Category 2A) is based on limited evidence of cancer in humans exposed to realistic concentrations of glyphosate, as well as suf-

ficient evidence of cancer in experimental animals exposed to pure glyphosate. The IARC classification was determined following rigorous procedures and criteria, which included independent experts compiling and reviewing all relevant and publically available studies.

On the other hand, Mas et al., (2020), in a study carried out in agricultural areas in Argentina, where rainwater has become an important source of drinking water, found that glyphosate and AMPA presented the highest concentrations in the monitored sites (dams, followed by cisterns and wells); although the risk assessment showed that pesticides from all sources presented a low potential risk to human health through the route of exposure to drinking water. Also, Mac Loughlin et al., (2022) also concluded in a study carried out in a Argentinian basin that finding glyphosate and AMPA in a basin used for horticulture indicates that this herbicide is not limited to resistant crops anymore, but is now being used in other agricultural practices; even though Serra-clusellas et al., (2017) advised that for the development of technologies associated with the elimination of glyphosate, it is also necessary to consider the elimination of AMPA, since it has an even greater degree of persistence in water than glyphosate itself.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Concerns have been raised about the high incidence of glyphosate in diverse ecosystems due to its widespread and indiscriminate use in the control of weeds. The scientific community is particularly concerned about communities exposed to unknown quantities of glyphosate and AMPA in water, particularly those that use untreated rain or surface water for human consumption, such as agricultural populations.

The environmental risk posed by glyphosate and its degradation products remains a topic of concern. Future research should focus on the transport and transformation of glyphosate, AMPA, and sarcosine in aquatic systems, with attention paid to

their particularities. It is recommended that more studies be conducted to investigate the consequences of these degradation products on surface aquatic systems.

Finally, the contradictory results of recent glyphosate risk assessments performed by regulatory agencies such as the US EPA and the IARC highlight the need for additional research and discussion about the actual toxicological effects of glyphosate and its degradation product, AMPA. Potential health and environmental effects of glyphosate have significant effects on public health and environmental policy, underscoring the significance of continued research into the safety and dangers associated with its use.

ACKNOWLEDGEMENT

Ministry of Sciences of Colombia, formerly the Administrative Department of Science, Technology, and Innovation (Col-

ciencias), for its financial support within the framework of the national scholarships 727 of 2015.

AUTHORSHIP CONTRIBUTION

Evenly J. Herrera-Gudiño: methodology, research, data analysis, conceptualization, writing and original draft. **Mayra Alejandra Gómez-Arguello:** data analy-

sis, writing research, review, and editing. **Francisco J. Molina-Pérez:** writing, revision, and edition.

REFRENCES

Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. (2022). (N.D.). Toxicological Profile For Glyphosate. In *Chapter 4. Chemical And Physical Information Of Glyphosate*. <https://Www.Atsdr.Cdc.Gov/Toxprofiles/Tp214-C4.Pdf>

Álvarez, M. B. M. y Chávez, E. A. R. (2019). Análisis de la capacidad de biodegradación de glifosato a partir de microorganismos aislados del suelo. [Tesis]. Universidad Politécnica Salesiana. <https://Dspace.Ups.Ec/Handle/123456789/17591>

Álvarez, M., Giménez, I. T., Saitua, H., Enriz, R. D. y Giannini, F. A. (2012). Toxicidad en peces de herbicidas formulados con glifosato. *Acta Toxicológica Argentina*, 20(1), 5-13. http://Www.Scielo.Org.Ar/Scielo.Php?Script=Sci_arttext&Pid=S1851-37432012000100001

Aparicio, V., Gerónimo, E. De, Débora, P., Guijarro, K. H., Portocarrero, R., & Vidal, C. (2015). *Los Plaguicidas Agregados Al Suelo Y Su Destino En El Ambiente* (J. L. Costa & A. Andriulo (Eds.); 1a Ed. Bal). https://Inta.Gob.Ar/Sites/Default/Files/Inta_plaguicidas_agregados_al_suelo_2015.Pdf

Argüello-Rangel, J., Triana-García, P. A. y Eslava-Mocha, P. R. (2015). Células Granulares Eosinofílicas / Células Mast (Cge / Mc) y su relación con los efectos de herbicidas: caso del glifosato y surfactantes acompañantes en peces.

Orinoquia, 9(1), 59-76. http://Www.Scielo.Org.Co/Scielo.Php?Script=Sci_arttext&Pid=S0121-37092015000100006

Aslam, S., Jing, Y., & Nowak, K. M. (2023). Fate of glyphosate and its degradation products AMPA, glycine and sarcosine in an agricultural soil: Implications for environmental risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 447, 130847. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130847>

Battaglin, W. A., Smalling, K. L., Anderson, C., Calhoun, D., Chestnut, T., & Muths, E. (2016). Potential Interactions Among Disease, Pesticides, Water Quality And Adjacent Land Cover In Amphibian Habitats In The United States. *Science Of The Total Environment*, 566-567, 320-332. <https://Doi.Org/10.1016/J.Scitenv.2016.05.062>

Benbrook, C. M. (2016). Trends In Glyphosate Herbicide Use In The United States And Globally. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 1-15. <Https://Doi.Org/10.1186/S12302-016-0070-0>

Benbrook, C. M. (2019). How Did The Us Epa And Iarc Reach Opposed Conclusions On The Genotoxicity Of Glyphosate-Based Herbicides? *Environmental Sciences Europe*, 31(1). <Https://doi.org/10.1186/S12302-018-0184-7>

Benintende, M. A. S. W. U. (2016). Residualidad De Glifosato En Suelos

De Entre Ríos Y Su Efecto Sobre Los Microorganismos Del Suelo. *Ecología Austral.* 026(03), 246-255. <https://doi.org/10.25260/EA.16.26.3.0.95>

Benslama, O., & Boulahrouf, A. (2016). High-quality draft genome sequence of Enterobacter sp. Bisph2, a glyphosate-degrading bacterium isolated from a sandy soil of Biskra, Algeria. *Genomics Data*, 8, 61-62. <https://doi.org/10.1016/j.gdata.2016.03.005>

Bonansea, R. I., Filippi, I., Wunderlin, D. A., Marino, D. J. G., & Amé, M. V. (2017). The Fate Of Glyphosate And Ampa In A Freshwater Endorheic Basin: An Ecotoxicological Risk Assessment. *Toxics*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.3390/Toxics6010003>

Candela, L., Caballero, J., & Ronen, D. (2010). Glyphosate transport through weathered granite soils under irrigated and non-irrigated conditions, Barcelona, Spain. *Science of The Total Environment*, 408(12), 2509-2516. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.006>

Carles, L., Gardon, H., Joseph, L., Sanchís, J., Farré, M., & Artigas, J. (2019). Meta-Analysis Of Glyphosate Contamination In Surface Waters And Dissipation By Biofilms. *Environment International*, 124(November 2018), 284-293. <https://doi.org/10.1016/J.Envint.2018.12.064>

Carranza, C. S., Regñicoli, J. P., Aluffi, M. E., Benito, N., Chiacchiera, S. M., Barberis, C. L., Magnoli, C. E., Rodríguez, M. P., Melo, C., Jiménez, E., & Dussán, J. (2019). Glyphosate Bioremedia-

tion Through The Sarcosine Oxidase Pathway Mediated By Lysinibacillus Sphaericus In Soils Cultivated With Potatoes. *Agriculture (Switzerland)*, 9(10), 7673-7682. <https://doi.org/10.3390/S13762-019-02347-X>

Carriquiriborde, P. (2021). Principios de ecotoxicología [Ecotoxicology Principles]. EDULP, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/118183>

Chen, Y., Chen, W.-J., Huang, Y., Li, J., Zhong, J., Zhang, W., Zou, Y., Mishra, S., Bhatt, P., & Chen, S. (2022). Insights into the microbial degradation and resistance mechanisms of glyphosate. *Environmental Research*, 215(P1), 114153. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114153>

Comisión Europea. (2009). 1882/2003 Del Parlamento Europeo Y Del Consejo De 29 De Septiembre De 2003 Reglamento (Ce) N. *Diario Oficial De La Unión Europea*, 1-36. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=Consleg:1998L0083:20090807:es:pdf#:~:Text=>

Cumming, H., & Rücker, C. (2017). Octanol-Water Partition Coefficient Measurement by a Simple 1H NMR Method. *ACS Omega*, 2(9), 6244-6249. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01102>

Curieses, S. P. (2015). *Ecotoxicología De Matrices Sólidas*. [Doctoral tesis]. Universidad Nacional de La Plata. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/53947/Documento_com-

[pleto.pdf-PDFA.pdf?sequence=4&isAllowed=y](#)

De Castilhos, N., Zuanazzi, N. R., Fabrin, T. M. C., & Oliveira, E. C. (2020). Glyphosate And Its Toxicology: A Scientometric Review. *Science Of The Total Environment*, 733, 139359. <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2020.139359>

European Food Safety Authority. [EFSA]. (2015). Conclusion On The Peer Review Of The Pesticide Risk Assessment Of The Active Substance Glyphosate. *Efsa Journal*, 13(11). <https://doi.org/10.2903/J.Efsa.2015.4302>

Faillaci, S. M. (2017). *Uso De Plaguicidas Organoclorados Y Organofosforados En La Agricultura Periurbana Del Cinturón Verde De Córdoba*. [Tesis doctoral]. Universidad Nacional De Córdoba. <http://lildbi.fcm.unc.edu.ar/lildbi/tesis/Faillaci-Silvina-M-Versi%C3%B3n%20Final.pdf>

Fantón, N., Bacchetta, C., Rossi, A., & Gutiérrez, M. F. (2020). Effects Of A Glyphosate-Based Herbicide On The Development And Biochemical Biomarkers Of The Freshwater Copepod *Notodiaptomus Carteri* (Lowndes, 1934). *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 196(December 2019), 110501. <https://doi.org/10.1016/J.Ecoenv.2020.110501>

Grandcoin, A., Piel, S., & Baurès, E. (2017). Aminomethylphosphonic Acid (Ampa) In Natural Waters: Its Sources, Behaviour And Environmental Fate. *Water Research*, 117, 187-197. <https://doi.org/10.1016/J.Watres.2017.03.055>

Gros, P., Ahmed, A., Kühn, O., & Leinweber, P. (2017). Glyphosate Binding In The Soil As Revealed By Sorption Experiments And Quantum-Chemical Modelling. *Science Of The Total Environment*, 586, 527-535. <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2017.02.007>

Guijarro, K. H. (2019). Degradación Microbiana Del Herbicida Glifosato En Suelos Agrícolas De La Región Pampeana Argentina (Microbial degradation of glyphosate herbicide in agricultural soils of the Argentine Pampas region). [Doctoral thesis]. Universidad Nacional de Quilmes. oai:local-host:20.500.12123/7406

Guijarro, K. H., Covacevich, F., Aparicio, V. C., & De Gerónimo, E. (2018). Bacterias Nativas Del Suelo Con Potencial Para La Degradación De Glifosato Y Promoción Del Crecimiento Vegetal. *Asociación Argentina Ciencia De Suelo*, 36(1), 124-137.

Gutiérrez, M. F., Gagneten, A. M., & Paggi, J. C. (2011). Behavioural Responses Of Two Cladocerans And Two Copepods Exposed To Fish Kairomones. *Marine And Freshwater Behaviour And Physiology*, 44(5), 289-303. <https://doi.org/10.1080/10236244.2011.633770>

Helander, M., Saloniemi, I., & Saikkonen, K. (2012). Glyphosate in northern ecosystems. *Trends in Plant Science*, 17(10), 569-574. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.05.008>

Huaracahuaraca, L. F. (2017). Evaluación ecotoxicológica de aguas contaminadas

das con glifosato a partir de los bioindicadores Daphnia Magna y Artemia Salina [Ecotoxicological evaluation of water contaminated with glyphosate using the bioindicators Daphnia Magna and Artemia Salina]. [Master's thesis]. Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19010>

Julio, P., & Ramírez, C. (2017). Balance De Los Quince Años Del Plan Colombia (2001-2016): Recuperación De La Institucionalidad Colombiana Y Consolidación De La Presencia Del Estado En El Territorio Nacional. *Estudios Internacionales (Santiago)*, 49(186), 187-206. <https://doi.org/10.5354/0719-3769.2017.45224>

Junges, C.M., Vidal, E.E., Attademo, A.M., Mariani, M.L., Cardell, L., Negro, A.C., Cassano, A., Peltzer, P.M., Lajmanovich, R.C., and Zalazar, C.S. (2013). Effectiveness evaluation of glyphosate oxidation employing the H₂O₂/UVC process: toxicity assays with *Vibrio fischeri* and *Rhinella arenarum* tadpoles. *J. Environ. Sci. Health B* 48, 163-170. <https://doi.org/10.1080/03601234.2013.730011>

Landis, W.G., Durda, J.L., Brooks, M.L., Chapman, P.M., Menzie, C.A., Stahl, R.G., Jr., and Stauber, J.L. (2013). Ecological risk assessment in the context of global climate change. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32, 79-92. <https://doi.org/10.1002/etc.2047>

Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D. And Green, A. (2016) An International Da-

tabase For Pesticide Risk Assessments And Management. *Human And Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>

Li, M. H., Ruan, L. Y., Zhou, J. W., Fu, Y. H., Jiang, L., Zhao, H., & Wang, J. S. (2017). Metabolic Profiling Of Goldfish (*Carassius Auratus*) After Long-Term Glyphosate-Based Herbicide Exposure. *Aquatic Toxicology*, 188(March), 159-169. <https://doi.org/10.1016/J.Aquatox.2017.05.004>

Lupi, L., Miglioranza, K. S. B., Aparicio, V. C., Marino, D., Bedmar, F., & Wunderlin, D. A. (2015). Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina. *Science of the Total Environment*, 536, 687-694. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.090>

Lutri, V. F., Matteoda, E., Blarasín, M., Aparicio, V., Giacobone, D., Maldonado, L., Becher Quinodoz, F., Cabrera, A., & Giuliano Albo, J. (2020). Hydrogeological Features Affecting The Spatial Distribution Of Glyphosate And Ampa In Groundwater And Surface Water In An Agroecosystem. Córdoba, Argentina. *Science Of The Total Environment*, 711, 134557. <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2019.134557>

Mac Loughlin, T. M., Peluso, M. L., & Marino, D. J. G. (2022). Multiple pesticides occurrence, fate, and environmental risk assessment in a small horticultural stream of Argentina. *Science of the Total*

Environment, 802, 149893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149893>

Mantilla, C. J. (2020). Uso Del Glifosato En Cultivos Agrícolas E Ilícitos: Impacto En La Microbiota del suelo A medida Que Aumenta La Tasa De Aplicación. *Journal Of Physics A: Mathematical And Theoretical*, 44(8). <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>

Maria, M. A., Castro, S. R., Lange, L. C., Siúves, C. L. F., & Soares, A. C. (2020). Ecological Risk Assessment Of Glyphosate In Surface Water When It Is Used To Control Floating Aquatic Macrophytes. *Anais Da Academia Brasileira De Ciencias*, 92(2), 1-12. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180445>

Mas, L. I., Aparicio, V. C., De Gerónimo, E., & Costa, J. L. (2020). Pesticides In Water Sources Used For Human Consumption In The Semiarid Region Of Argentina. *Sn Applied Sciences*, 2(4), 1-18. <https://doi.org/10.1007/S42452-020-2513-X/Tables/3>

Mesnage, R., Benbrook, C., & Antoniou, M. N. (2019). Insight Into The Confusion Over Surfactant Co-Formulants In Glyphosate-Based Herbicides. *Food And Chemical Toxicology*, 128(January), 137-145. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2019.03.053>

Mesnage, R., & Antoniou, M. N. (2018). *Roundup Ready! Glyphosate and the Current Controversy Over the World's Leading Herbicide*. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (Vols. 1-5, pp. 149-153). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09981-X>

Monsanto. (2021). Glifosato Técnico Monsanto. *Ficha De Informações De Segurança De Produtos Químicos*. http://www.Roundup.Com.Br/Videos/Pdf/Glyphosate_tec/Roundup-Glyphosate-Tecnico-Fispq.Pdf

Muñoz, J. P., Bleak, T. C., Calaf, G. M., Masood, M. I., Naseem, M., Warda, S. A., Tapia-Laliena, M. Á., Rehman, H. Ur, Nasim, M. J., Schäfer, K. H., Forner-Piquer, I., Faucherre, A., Byram, J., Blaquiere, M., De Bock, F., Gamet-Payrastre, L., Ellero-Simatos, S., Audinat, E., Jopling, C., ... Chen, S. (2020). Glyphosate And The Key Characteristics Of An Endocrine Disruptor: A Review. *Science Of The Total Environment*, 15. <https://doi.org/10.1101/2020.05.27.118265>

National Center For Biotechnology Information. [NCBI]. (2021). *Pubchem Compound Summary For Cid 3496, Glyphosate*. <https://Pubchem.Ncbi.Nlm.Nih.Gov/Compound/Glyphosate>

Okada, E., Costa, J. L., & Bedmar, F. (2017). Glyphosate Dissipation In Different Soils Under No-Till And Conventional Tillage. *Pedosphere: An International Journal*, 0160. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60430-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60430-2)

Organización Mundial De La Salud Y Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura. [FAO]. (2017). *Manual Sobre La Elaboración Y Uso De Las Especificaciones De Plaguicidas De La Fao Y La Oms* (Tercera

Re). <http://www.Fao.Org/3/I5713s/I5713s.Pdf>

Pollegioni L., Schonbrunn E., Siehl D. (2011). Molecular basis of glyphosate resistance different approaches through protein engineering. *FEBS Journal*, 278, 2753-2766, <https://doi.org/10.1111/j.17424658.2011.08214.x>

Pamela, C. P. Y J. M. (2018). Productividad Y Medio Ambiente ¿Enfoques A Integrar O Misión Compartida? Conferencias Y Resúmenes Del 3er Simposio De Malezas Y Herbicidas. In 2018 Inta (Ed.), *Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria* (Vol. 1). <http://Hdl.Handle.Net/20.500.12123/4746>

Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... McKenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n160. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>

Stagnaro, A. (2017). Ciencia, Glifosato y Formas de Vida Una Mirada Antropológica Sobre el Debate en Torno a los Agroquímicos. [Doctoral dissertation]. Universidad de Buenos Aires. <http://repositorio.filo.uba.ar/handle/filodigital/9970>

Pérez, D. J., Iturburu, F. G., Calderón, G., Oyesqui, L. A. E., De Gerónimo,

E., & Aparicio, V. C. (2021). Ecological Risk Assessment of Current-Use Pesticides And Biocides In Soils, Sediments And Surface Water Of A Mixed Land-Use Basin Of The Pampas Region, Argentina. *Chemosphere*, 263. <https://doi.org/10.1016/J.Chemosphere.2020.128061>

Raj, A., Dubey, A., Malla, M. A., & Kumar, A. (2023). Pesticide pestilence: Global scenario and recent advances in detection and degradation methods. *Journal of Environmental Management*, 338(April), 117680. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117680>

Ramírez, N. B., Aimar, S. B., Aparicio, V. C., Buschiazzo, D. E., De Gerónimo, E., Costa, J. L., & Méndez, M. J. (2021). Management effects on glyphosate and AMPA concentrations in the PM10 emitted by soils of the central semi-arid region of Argentina. *Aeolian Research*, 49, 100658. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100658>

Reno, U., Regaldo, L., Gagneten, M., Reno, U., Regaldo, L., & Gagneten, A. M. (2016). Efectos Subletales De Cuatro Formulaciones De Glifosato Sobre Daphnia Magna Y Ceriodaphnia Dubia (Crustacea, Cladocera). *Natura Neotropicalis*, 47, 7-20. <Https://Ri.Conicet.Gov.Ar/Handle/11336/55528>

Restrepo, H. F., & Rincó, L. H. (2021). Glifosato Como Factor De Riesgo Para Malformaciones congénitas: Revisión bibliográfica. *Revista Repertorio de Medicina Y Cirugía*, 30(2), 101-108.

<https://doi.org/10.31260/RepertMed-Cir.01217372.1054>

Ruano-Ibarra, E. Del S., & Carreño, A. A. (2020). Erradicación Voluntaria De Cultivos Ilegalizados En Colombia: Del Plan Alterno Al Programa Nacional De Sustitución. *Lua Nova: Revista De Cultura E Política*, 111, 275-304. <https://doi.org/10.1590/0102-275304/111>

Schaaf, A. A. (2017). Valoración del Impacto Ambiental Por Uso De Pesticidas En La Región Agrícola Del Centro De La Provincia De Santa Fe, Argentina. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1237. <https://doi.org/10.29312/Remexca.V7i6.173>

Serra-Clusellas, A., De Angelis, L., De Frankenberg, J., Beltramo, M., Bava, M., Di Vigliarolo, N., Rengifo, J., Lauretta, J., Stripeikis, J., & Fidalgo, M. (2017). Eliminación De Glifosato Y Ampa Del Agua Mediante Procesos Solares Basados En El Uso De H₂O₂ Combinado Con Fe (Iii). *III Congreso Nacional De Ciencia Y Tecnología Ambiental, July*, 1-2. <http://Sedici.Unlp.Edu.Ar/Handle/10915/91478>

Soares, C., Pereira, R., Spormann, S., & Fidalgo, F. (2019). Is soil contamination by a glyphosate commercial formulation truly harmless to non-target plants? - Evaluation of oxidative damage and antioxidant responses in tomato. *Environmental Pollution*, 247, 256-265. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.063>

Solís-González, G., Cortés-Téllez, A. A., Téllez-Pérez, Z. I., & Bartolomé-Camacho, M. C. (2019). Toxicidad Aguda Del Herbicida N-(Fosfonometil) Glicina Sobre Representantes Planctónicos Artemia Franciscana Y Microcystis Aeruginosa. *Tip Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22(72), 1-8. <https://doi.org/10.22201/Fesz.23958723e.2019.0.192>

Sterren, M. A., Uhrich, W., & Benintende, S. (2016). Residualidad De Glifosato En Suelos De Entre Ríos Y Su Efecto Sobre Los Microorganismos Del Suelo. *Asociación Argentina De Ecología*. <Https://Doi.Org/Doi: https://doi.org/10.25260/Ea.16.26.3.0.95>

Sterren, M. A., Uhrich, W., & Benintende, S. (2016). Residualidad De Glifosato En Suelos De Entre Ríos Y Su Efecto Sobre Los Microorganismos Del Suelo. *Ecología Austral*, 26(3), 246-255. <https://doi.org/10.25260/Ea.16.26.3.0.95>

Tauhata, S. B. F., Araújo, G. B. De, Alves, S. D. F. De O., Martins, D. N. V., Lopes, L. S., & Casaletti, L. (2020). The Glyphosate Controversy: An Update. *Arquivos Do Instituto Biológico*, 87, 1-8. <https://doi.org/10.1590/1808-1657001002018>

Terré, D. S. -E., & Santa. (2020). *Exportaciones 2019: Santa Fe exportó más, y en Argentina el maíz jugó un papel clave*. Informe semana de mercados. Bolsa de Comercio de Rosario, 1-8. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-se>

[manal/noticias-informativo-semanal-26](#)

Torres, E., & Romero-Natale, A. (2019). *Desarrollo de un método de detección y cuantificación del plaguicida glifosato en agua de San Simón Atzitzintla, Puebla* [Doctoral dissertation] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/4783>

Tubio, M. G. (2016). *Debate Sobre La Toxicidad Del Herbicida Glifosato En Argentina: Análisis De Un Diferendo*. [Master thesis]. Universidad Nacional De Quilmes. <Https://Ridaa.Unq.Edu.Ar>

Van Bruggen, A. H. C., He, M. M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K. C., Finckh, M. R., & Morris, J. G. (2018). Environmental And Health Effects Of The Herbicide Glyphosate. *Science Of The Total Environment*, 616-617, 255-268. <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2017.10.309>

Villarreal, R., Lozano, L. A., Polich, N. G., Salazar, M. P., Bellora, G. L., Turnetto, M. J., & Soracco, C. G. (2020). Influence of soil water holding and transport capacity on glyphosate dynamics in two agricultural soils from Pampas Region. *Geoderma*, 376, 114566. <https://doi.org/10.1016/J.GEODER-MA.2020.114566>

Wang, S., Seiwert, B., Kästner, M., Miltner, A., Schäffer, A., Reemtsma, T., Yang, Q., & Nowak, K. M. (2016). (Bio)Degradation Of Glyphosate In Water-Sediment Microcosms-A Stable Isotope Co-Labelling Approach. *Water Research*, 99, 91-100. <https://doi.org/10.1016/J.Watres.2016.04.041>

Ximenis Joven, C. (2019). Empleo de glifosato en suelos agrícolas. Impacto sobre la salud y el medio ambiente. [Tesis de licenciatura] Universitat Autònoma de Barcelona. <http://147.96.70.122/Web/Tfg/Tfg/Memoria/Carmen%20ximenis%20joven.Pdf>

Yang, X., Wang, F., Bento, C. P. M., Meng, L., Van Dam, R., Mol, H., Liu, G., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2015). Decay Characteristics And Erosion-Related Transport Of Glyphosate In Chinese Loess Soil Under Field Conditions. *Science Of The Total Environment*, 530-531, 87-95. <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2015.05.082>

Zirena, F., Gosgot , W., Campos, C. N., & Zamalloa, W. A. (2018). Glyphosate In Water Bodies: Environmental Problem. *Revista Investigaciones Altoandinas-Journal Of High Andean Research*, 20(3), 325-332. <http://dx.doi.org/10.18271/Ria.2018.396>

Conflictos de intereses

*Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses.*



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.



Área: ambiental

Fecha de recibido: 12-04-2023

Fecha de aceptado: 22-06-2023

DOI: 10.22490/21456453.6755

PREDICCIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO MEDIANTE RANDOM FOREST: CASO DE ESTUDIO CUENCA RÍO GRANDE, ANTIOQUIA

PREDICTION OF SOIL EROSION BY RANDOM FOREST: CASE STUDY OF THE RIO GRANDE BASIN, ANTIOQUIA

Laura Isabel Arango-Carvajal

Ingeniera Ambiental, Magister en Bosques y Conservación Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Colombia. larangoc@unal.edu.co

Citación: Arango-Carvajal, L. (2024). Predicción de la erosión del suelo mediante Random Forest: caso de estudio cuenca Río Grande, Antioquia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 317-339. <https://doi.org/10.22490/21456453.6755>

RESUMEN

Contextualización: actualmente, el conocimiento de fenómenos naturales asociados a la preservación de los sistemas es de interés tanto para investigadores de las ciencias naturales, como para las autoridades ambientales encargadas de la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos. En ese sentido, se ha venido trabajando en la interpretación y predicción de diferentes fenómenos físicos como la erosión, a fin de crear escenarios que permitan fortalecer los criterios de respuesta frente a la conservación del capital natural del suelo.

Vacío de conocimiento: la capacidad de predecir el fenómeno de la erosión es limitada en muchas ocasiones, debido a la cantidad y variabilidad de los parámetros y variables que son relacionados a la erosión. Además, en muchos casos se requiere de un alto procesamiento computacional para lograr que se asocien entre sí.

Propósito: se busca implementar un modelo de machine learning como herramienta alternativa para la modelación y predicción de la erosión.

Metodología: en este estudio, se desarrolla una modelación a partir del entrenamiento del método no paramétrico Random Forest, mediante el aprendizaje supervisado, para predecir la ocurrencia de la erosión en la cuenca de Río Grande, considerando las variables que previamente han sido empleadas en otros métodos para modelar este fenómeno.

Resultados y conclusiones: los resultados mostraron una capacidad para predecir la erosión en la cuenca con una precisión aproximada del 77%, por lo que este método puede ser aplicado para obtener predicciones rápidas y confiables. Además, se encontró que las variables empleadas en el modelo RUSLE explican mayoritariamente la ocurrencia, o no, de la erosión. Finalmente, se resalta la importancia de la variable “temperatura” introducida en el modelo.

Palabras clave: machine learning, modelación ambiental, modelos no paramétricos de clasificación, aprendizaje supervisado

ABSTRACT

Contextualization: Currently, the knowledge of natural phenomena associated with the preservation of the systems is of interest both for researchers in the natural sciences, and for the environmental authorities in charge of decision-making on resource management. In this sense, work has been carried out on the interpretation and prediction of different physical phenomena such as erosion, to create scenarios that allow strengthening the response criteria for the conservation of the natural capital of the soil.

Knowledge gap: The ability to predict the phenomenon of erosion is limited on many occasions due to the quantity and variability of the parameters and variables that are related to erosion; besides that, in many cases, a high computational processing is required to achieve that they are associated with each other.

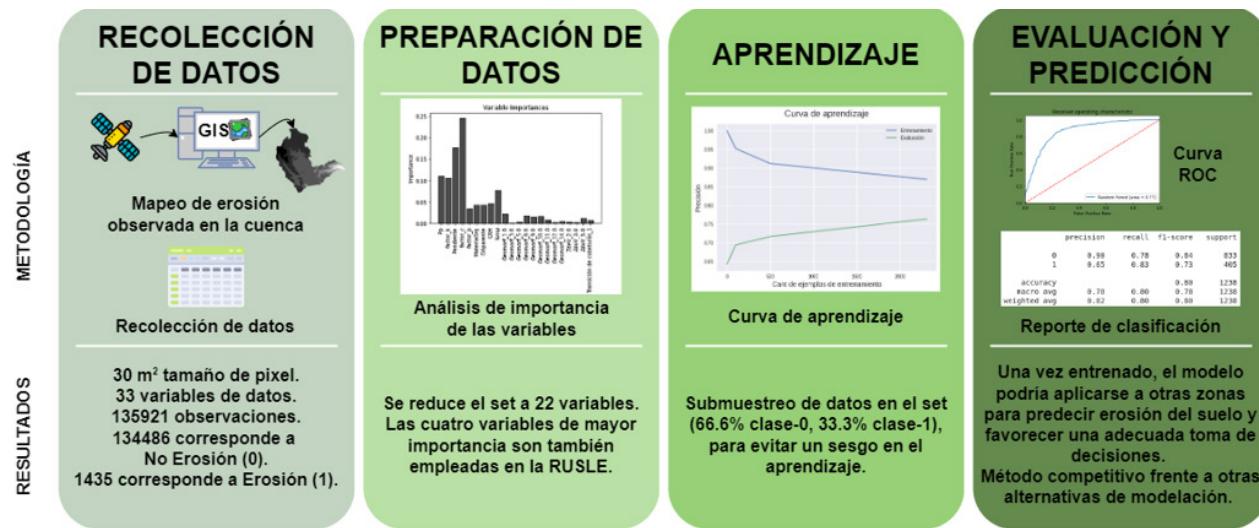
Purpose: The aim is to implement a machine learning model as an alternative tool for complex modeling and erosion prediction.

Methodology: In this study, a model is developed from the training of the non-parametric Random Forest method through supervised learning, to predict erosion occurrences in the Rio Grande basin, considering the variables that have previously been used in other methods to model this phenomenon.

Results and conclusions: The results showed a capacity to predict erosion in the basin with an approximate precision of 77%, so this method can be applied to obtain fast and reliable predictions. In addition, it was found that the variables used in the RUSLE model mainly explain the occurrence or not of erosion. The great importance of the temperature variable introduced in the model is also surprising.

Keywords: Erosion, Random Forest, non-parametric classification models, supervised learning.

RESUMEN GRÁFICO



Resumen gráfico: fases metodológicas y los resultados obtenidos en cada una de ellas

Fuente: autora.

1. INTRODUCCIÓN

La preservación de las áreas naturales es una de las estrategias más importantes para asegurar el suministro y disfrute de un flujo variado y diverso de los servicios de los ecosistemas (Martín-López *et al.*, 2012). Es ahí, donde radica la importancia de planificar adecuadamente los territorios, lo que a su vez requiere de conocer el comportamiento de los sistemas, sus estados y dinámica en general (Le Clec'h *et al.*, 2016). Para acercarse a una descripción más detallada, se hace necesario el establecimiento de indicadores y la recolección de datos para su cuantificación a través de monitoreos, estadísticas o modelos; de manera que, al vincular esta

información a los sistemas de información geográfica, se pueda evaluar la oferta y la demanda de los recursos, y transferir los resultados a diferentes escalas espaciales y temporales (Burkhard *et al.*, 2014).

Actualmente, en las ciencias naturales y en otras ciencias, es común emplear modelos simples y complejos para acercarse a la predicción de fenómenos, como por ejemplo la erosión, a partir de observaciones históricas de su comportamiento, y de su relación con determinadas variables que en conjunto se manejan como un grupo de predictores observados. Adicionalmente, se ha recurrido al estudio profundo de los fenómenos que dan criterio

a las formas de modelar, analizar y comprender cada fenómeno (Louppe, 2014).

Dentro de los métodos más conocidos para la modelación y predicción en el comportamiento de la erosión, se encuentran los mapas temáticos, puesto que tienen un alto potencial para la visualización de fenómenos complejos (Burkhard *et al.*, 2014). Existen tres enfoques principales sobre los cuales se viene desarrollando este mapeo: la valoración monetaria en correspondencia a la cobertura del suelo basado en estudios previos, los métodos de valor comunitario del lugar, y las evaluaciones socioecológicas con la modelación (Martínez-Harms y Balvanera, 2012). Sin embargo, en muchas ocasiones las deducciones de mapeo sobre un fenómeno físico como la erosión y para una misma región, pueden derivar en resultados divergentes con mínimas variaciones en los métodos e incluso alejarse de la realidad.

Adicionalmente, debido a los avances tecnológicos, la recopilación de los datos correspondientes tanto a las variables predictoras como a la respuesta, se ha facilitado, de manera que la cantidad de información captada ha incrementado considerablemente, y su manipulación puede llegar a requerir un alto costo computacional (Criminisi y Shotton, 2013). En ese sentido, se han venido evaluando alternativas como la inteligencia artificial apoyada en la estadística mediante el aprendizaje supervisado y no supervisado de diversos fenómenos naturales de estudio común (Martínez-Harms y Balvanera,

2012). El desarrollo de métodos asociados a machine learning ofrecen una alternativa que, además de proveer información útil en la modelación y predicción de fenómenos naturales, ofrece ventajas sobre la capacidad de emplear un conjunto de datos de grandes dimensiones.

Random Forest es una combinación de árboles predictivos (clasificadores débiles); es decir, una modificación del Bagging (Louppe, 2014) el cual trabaja con una colección de árboles de decisiones intercorrelacionadas, y los promedia. En ese sentido, es considerado uno de los mejores algoritmos de clasificación, capaz de clasificar grandes cantidades de datos con precisión, considerando múltiples variables, ya que selecciona submuestras para elaborar cada árbol (Medina-Merino y Nique-Chacón, 2017). En el presente estudio se analiza la capacidad de predicción de la erosión en la cuenca hidrográfica de estudio Río Grande, en el departamento de Antioquia (Andes colombianos), a partir de la aplicación del modelo Random Forest. Para ello, se han contemplado variables climatológicas, edáficas y de cobertura vegetal, que comúnmente son empleadas para predecir este fenómeno; además de un mapa de erosión construido a partir de imágenes satelitales de la zona de estudio como variable de respuesta.

La metodología planteada se encuentra encaminada a enriquecer las posibilidades de modelación de la comunidad científica en alianza con las entidades públicas encargadas del ordenamiento y

planificación territorial para la toma de decisiones sobre los ecosistemas, en la medida en que puede madurarse para

llegar a ser una herramienta ágil con buenos resultados.

2. MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

La cuenca de Río Grande se encuentra ubicada en el altiplano norte del departamento de Antioquia, en los Andes colombianos (Figura 1). Su nacimiento tiene lugar en el municipio de Santa Rosa de Osos a los 3364 m s. n. m. aproximadamente, y comprende los municipios de Entrerríos, Belmira, San Pedro de los Milagros y Don Matías, en donde desemboca al río Medellín a una altitud de 1068 m s. n. m. para dar lugar a la formación del río Porce (Corantioquia y UNAL, 2015).

La cuenca tiene una extensión aproximada de 1280 km². La precipitación media anual en la región es de 2238 mm, distribuida en un régimen bimodal con dos temporadas húmedas (abril-mayo y octubre-noviembre) y dos temporadas secas, (diciembre-febrero y junio-agosto) junto con una humedad relativa del 79% (Suescún *et al.*, 2017). En la zona de estudio, predomina el clima frío húmedo y frío muy húmedo, presentándose una temperatura promedio de 14°C (Machado *et al.*, 2019)the literature on ecosystem services has pointed to the need to quantify and

characterise Soil Natural Capital (SNC). En esta región, la topografía es ondulada de colinas suaves, los suelos son en su mayoría derivados de ceniza volcánica, de baja fertilidad, muy ácidos, con deficiencia en fósforo y calcio, y con un contenido de materia orgánica media a alta (Suescún *et al.*, 2017). La zona de vida en la región corresponde al bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) (Ramírez *et al.*, 2018).

En términos ecológicos es una región de interés, ya que el uso del suelo se ve determinado por el desarrollo de actividades económicas como la ganadería de leche, que ha desencadenado la siembra de pasto sobre una extensión significativa de su territorio, sumado a los cultivos de papa, tomate de árbol y algunos productos de pancoger (García-Leoz *et al.*, 2018); por otro lado, la intensificación del recurso hídrico para el aprovechamiento de agua en la generación de energía eléctrica, ya que allí se encuentran los embalses de Quebradona, y Río Grande, los cuales proveen agua potable a cerca de dos millones de habitantes en el Valle de Aburrá (Suescún *et al.*, 2018).

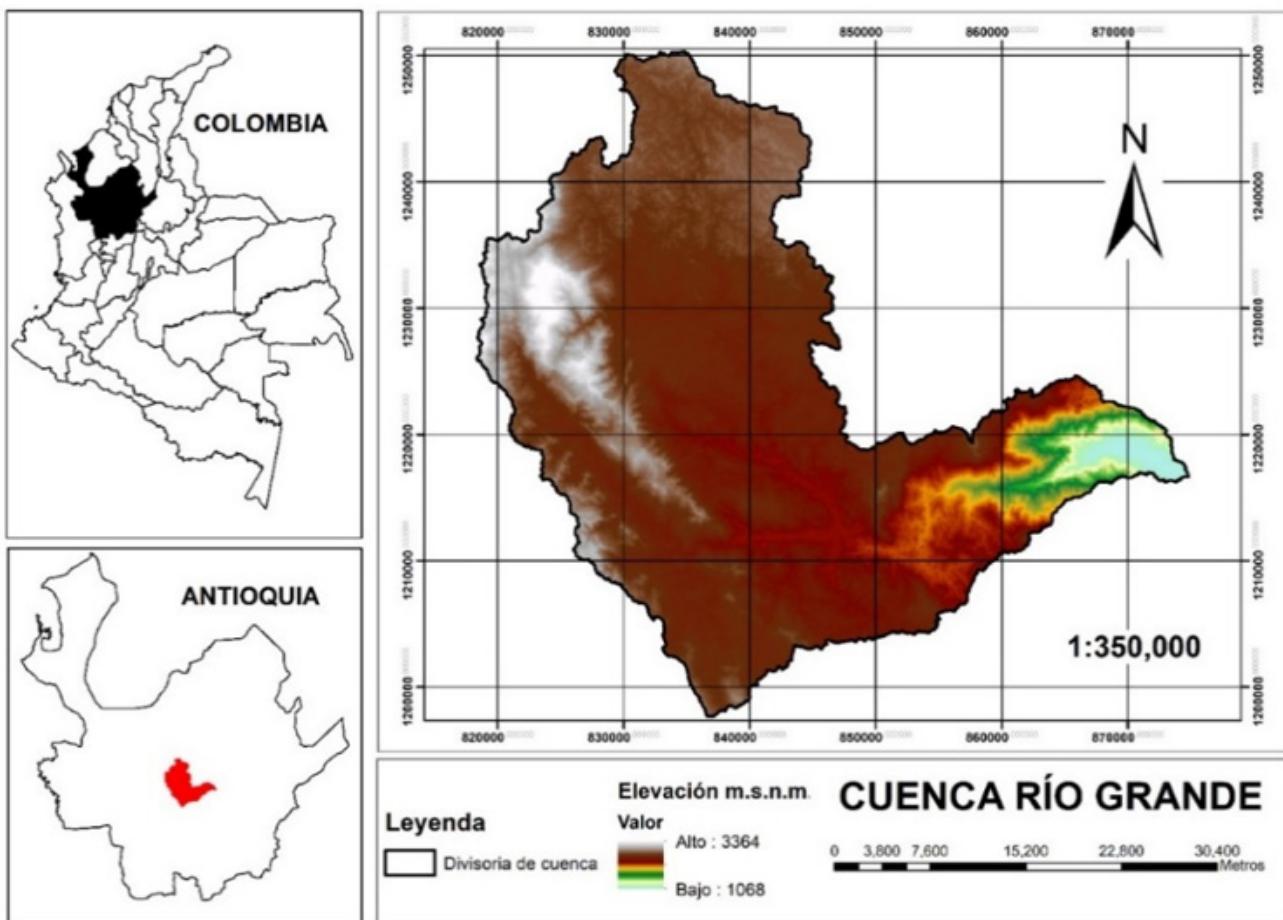


Figura 1. Cuenca de Río Grande.

Fuente: autora.

2.2. Insumos

La erosión es un fenómeno físico ampliamente estudiado, principalmente en las regiones donde su ocurrencia puede estar asociada a la pérdida de servicios ambientales (Sepúlveda, 2013). En la cuenca de Río Grande en Antioquia, se conoce el desarrollo de dos trabajos de modelación que han procurado predecir la erosión bajo diferentes escenarios. De estos ejercicios, se tomaron las variables empleadas para cada caso a partir de mapas espacia-

lizados para toda la cuenca en formato ráster (Anexo 1), que a continuación se han convertido en archivos tipo vector para formar una matriz o set de datos con la información inicial. Adicionalmente, para complementar el ejercicio, se introdujeron las variables de temperatura, transición de coberturas, geomorfología y zonas de vida del área de estudio en el set de datos inicial (Anexo 2).

El primer ejercicio de modelación, considera la ecuación empírica para la pérdi-

da de suelos propuesta por Wischmeier y Smith (1978), que define una serie de variables con base en la precipitación del área de estudio, las propiedades del suelo y su uso, su topografía y las coberturas vegetales con diferentes manejos (Ecuación 1) (Mohammed *et al.*, 2020). Este ejercicio corresponde a la tesis de maestría *Modelo para la definición de áreas estratégicas para la conservación de suelos a partir de la susceptibilidad a la erosión hídrica* (Sepúlveda, 2013).

$$E=R*K*LS*C*P \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde, E es la Erosión hídrica, R es Factor de erosividad de la lluvia, K es el Factor de erodabilidad del suelo, LS es el Factor de longitud de la pendiente del terreno, C es el Factor de cobertura y manejo, y P es el Factor de las prácticas de soporte. En este caso las variables consideradas en el set de datos corresponden a la precipitación (Pp), Factor K, pendiente, Factor C y Factor P (Anexo 2).

El segundo ejercicio considera que la vulnerabilidad a la erosión depende únicamente de las variables (propiedades) del suelo tales como materia orgánica, densidad aparente, capacidad de retención de la humedad y pendiente; y que en su conjunto como capital natural provee servicios potencialmente aprovechables por la comunidad (Machado *et al.*, 2019) the literature on ecosystem services has pointed to the need to quantify and characterise Soil Natural Capital (SNC. La información correspondiente a este estudio pertenece a la tesis de maestría *Impacto potencial de pérdida del servicio ecosistémico intermedio de control de erosión por cambios*

en el capital natural del suelo. Caso de estudio: Cuenca de Río Grande, Departamento de Antioquia (Machado, 2018).

$$CVI=0.3(SOM) + 0.1(BD) + 0.2(AWHC) + 0.4(S) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde, CVI es el Índice de vulnerabilidad, SOM es la Materia orgánica del suelo, BD es la Densidad aparente, AWHC es la Capacidad de almacenamiento de agua y S es la Pendiente del terreno. Estas cuatro variables (propiedades del suelo) fueron también consideradas en el set de datos (Anexo 2).

Adicionalmente, a través de la herramienta *Google Earth Pro* y la combinación de imágenes de alta resolución como referencia, se generaron polígonos contemplando todas las zonas en donde se pudieran visualizar procesos de erosión (UPRA, 2021). Una vez obtenidos todos los polígonos se unificaron en una categoría y se llevaron a formato ráster. De esta manera, se obtuvo un mapa denominado “Erosión observada” que también se convirtió en archivo tipo vector para completar el set de datos (Anexo 3). Esta información corresponde a la variable respuesta para el entrenamiento del modelo.

2.3. Implementación del algoritmo Random Forest

2.3.1 Preparación del set de datos

Este es un ejercicio de clasificación binaria que se desarrolló con el objetivo de predecir si en un territorio se presenta erosión,

o no (1 y 0 respectivamente – “erosión observada”). Para ello, se parte del set de datos mencionado en el apartado anterior que comprende las variables típicamente usadas en el modelamiento del fenómeno de la erosión. El desarrollo del análisis de los datos se realizó usando el lenguaje de programación *Python* en la versión 3.9. El primer tratamiento que se le realizó a los datos consistió en eliminar todas las observaciones que tuvieran datos faltantes de manera que se pudiera asegurar que todos los datos contaban con la información de cada variable considerada. Se identificó que ninguna de las variables superaba el 10% de datos faltantes.

Posteriormente, se analizó la representación numérica de cada una de las variables categóricas, encontrando que únicamente las variables de transición de coberturas, geomorfología y zonas de vida estaban sobredimensionadas, lo que podría ocasionar problemas debido a la jerarquía o peso asignado. Por esta razón, se crearon variables binarias para cada uno de los factores “Transición de coberturas”, “Geomorf” y “ZdeV”. De esta manera, el set de datos pasó de tener 12 variables a 33. A continuación, para facilitar el desempeño de los modelos, se procedió a escalar cada una de las variables con la función de preprocesamiento de datos *MinMaxScaler* de la librería *sklearn* (Hao y Ho, 2019). Finalmente, se hizo una selección de variables considerando la correlación entre ellas y su importancia en la explicación del problema (Anexo 4).

2.3.2. Diseño del modelo

Random Forest

Para un primer ejercicio de estimación del desempeño del modelo, se empleó el set de datos mencionado anteriormente. El modelo implementado se basó en el algoritmo de ensamble Random Forest de clasificación de la librería *sklearn*, el cual crea un conjunto de árboles de decisión a partir de un subconjunto de datos de entrenamiento seleccionados al azar. Cada árbol de decisión en Random Forest realiza una predicción de una clase, de manera que la clase con más votos se convierte en la predicción de nuestro modelo (Genuer y Poggi, 2020).

Inicialmente, el algoritmo se desarrolló con un número de árboles ‘n_estimators’ preestablecido en 100, entendiendo que mientras más grande sea esta variable se obtienen mejores resultados; sin embargo, se aumenta la carga computacional y dejará de presentar una mejora significativa cuando alcance un número crítico de árboles. El tamaño de los subconjuntos aleatorios de las características ‘max_features’ fue inicializado en “ $\sqrt{n_features}$ ” donde $n_features$ es el número de características, considerando que mientras menor sea esta variable, mayor será la reducción de la varianza, pero también aumentará el sesgo. La profundidad máxima del árbol ‘max_depth’ fue definida como ‘None’, lo cual indica que los nodos se expanden hasta que todas las hojas sean puras o hasta que todas las hojas contengan menos de un número mínimo de muestras (‘min_samples_split’) requeridas para dividir un nodo interno el cual se estableció en “2”.

Se definió un criterio de índice ‘*gini*’ como función para medir la calidad de una división (‘*criterion*’), un set de validación “*hold out*” y una métrica de precisión del modelo, calculada mediante validación cruzada con cinco divisiones (Anexo 4).

2.3.3 Entrenamiento del modelo Random Forest

El entrenamiento del modelo se realizó con un 70 % de los datos obtenidos en los dos grupos 0 y 1, para un tamaño de lote de 135921 muestras. La precisión del modelo se observó mediante validación cruzada; sin embargo, la precisión definitiva de los modelos se calculó por medio de la comparación entre la predicción resultante y el 30% de los datos restantes de la variable dependiente.

2.3.4 Optimización del modelo Random Forest

- Desbalanceo de datos

Se identificó inicialmente un problema de desbalanceo de datos, debido a que la mayoría de los datos pertenecen a la clase 0—no erosión (99%), mientras que la clase 1—erosión corresponde al 1% de los datos. Como los conjuntos de datos no tienen valores nulos y ya están escalados, no se realizó ningún procesamiento adicional. La Figura 2 muestra el desequilibrio de datos. Para manejar este problema, se usó la técnica de asignación de pesos: el algoritmo Random Forest tiene la tendencia a estar sesgado en la clase mayoritaria, por lo tanto, se impuso una penalización a la clasificación errónea de la clase minoritaria. Los pesos de las clases se incorporaron al algoritmo y se determinaron a partir de la relación entre el número de conjunto de datos en la clase 0 y el número del conjunto de datos en la clase 1.

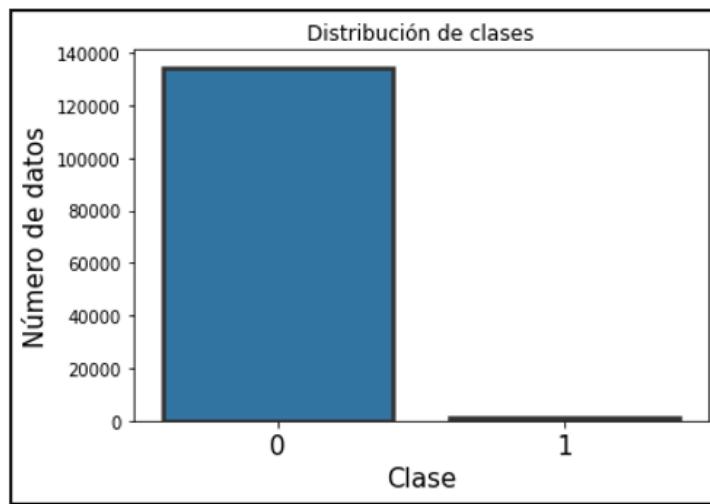


Figura 2. Reporte de clasificación entrenamiento del modelo.

Fuente: autora.

- **Muestreo para obtener datos más equilibrados**

Una técnica para balancear los datos es el remuestreo. Para el set de datos definido se realizó un muestreo descendente (submuestreo) de la clase mayoritaria, es decir, que se redujo la cantidad de muestras de la clase 0 hasta una proporción 2 a 1, lo que indica que el nuevo set de datos estará conformado por un 66.6% de muestras clase 0 y un 33.3% de muestras clase 1, con un total de 4322 muestras.

- **Afinamiento de los hiperparámetros**

En general, un hiperparámetro es un parámetro del modelo que se establece antes del inicio del proceso de aprendizaje. En el caso de Random Forest existen varios hiperparámetros diferentes que se pueden ajustar, y de diferentes formas, para elegirlos (Genuer y Poggi, 2020). En este caso, se empleó la curva de validación que es una buena forma de verificar visualmente los valores potencialmente optimizados de los hiperparámetros. Es importante tener en cuenta que, al construir las curvas de validación, los otros parámetros se mantienen en sus valores predeterminados (Anexo 5).

Otra forma de elegir qué hiperparámetros ajustar, es realizando una búsqueda aleatoria con *Random Search* o una búsqueda exhaustiva con *Grid Search*, estos métodos permiten definir rangos u opciones para realizar múltiples combinaciones de hiperparámetros, así como todas las validaciones cruzadas con el objetivo de encontrar los hiperparámetros que arrojen una mejor precisión.

Para el método Random Search (Probst *et al.*, 2019) se incluyeron los siguientes hiperparámetros con sus respectivos rangos. Este método elige valores aleatorios dentro de los rangos especificados:

- N_estimators: [int(x) for x in np.linspace(start = 10, stop = 2000, num = 10)]
- N_splitmax_features = ['auto', 'sqrt']
- Max_depth: [int(x) for x in np.linspace(10, 100, num = 10)]max_depth.append(None)
- Min_samples_split: [2, 5, 3, 10]
- Min_samples_leaf: [1, 2, 3, 4]
- Bootstrap: [True, False]

Grid Search efectúa todas las combinaciones de hiperparámetros posibles con las opciones indicadas (Probst *et al.*, 2019). Para este método se definieron las siguientes opciones de hiperparámetros:

- Bootstrap: [True],
- Max_depth: [5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15],
- Min_samples_leaf: [3, 4, 5, 6, 7],
- Min_samples_split: [2, 3, 4, 5, 7],
- N_estimators: [1000, 1500, 1778, 1800, 2000]

- **Métricas de validación**

Como métrica de validación se empleó la curva de aprendizaje (Gómez y Carmona, 2022) que permite visualizar el efecto del número de observaciones en el desempe-

ño del modelo, graficando la precisión en función del tamaño de los datos de entrenamiento. Se utilizó con los datos de entrenamiento y con los datos de validación para determinar si el modelo se subajusta o sobreajusta a los datos. Por otro lado, también se implementó la curva de carac-

terísticas operativas del receptor (ROC) (Gómez y Carmona, 2022), como una herramienta comúnmente utilizada con clasificadores binarios. La línea punteada representa la curva ROC de un clasificador puramente aleatorio; un buen clasificador se mantiene lo más alejado posible de esa línea (hacia la esquina superior izquierda).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Entrenamiento y optimización del algoritmo Random Forest

De las 33 variables iniciales consideradas en el set de datos original, se encontró que 22 variables explicaban el problema en un 98%, por lo cual fueron consideradas para set inicial que corresponden

a 135921 observaciones, de las cuales 134486 corresponden a No Erosión (0) y 1435 a Erosión (1).

Como resultado inicial del entrenamiento, se encuentran las métricas de clasificación consignadas en las Tablas 1 y 2.a, y una media para el score de la validación cruzada de 0.989.

Tabla 1. Reporte de clasificación entrenamiento del modelo

	precision	recall	f1-score	support
0	0.99	1.00	0.99	40330
1	0.41	0.02	0.05	447
accuracy			0.99	40777
macro avg	0.70	0.51	0.52	40777
weighted avg	0.98	0.99	0.98	40777

Fuente: autora.

Tabla 2. Matrices de confusión

a. Entrenamiento del modelo

	Clase observada negativa	Clase observada positiva
Clase observada negativa	40314	16
Clase observada positiva	436	11

b. Optimización por class_weight

	Clase observada negativa	Clase observada positiva
Clase observada negativa	28574	11756
Clase observada positiva	59	388

c. Entrenamiento del modelo en el remuestreo de datos desequilibrados

	Clase observada negativa	Clase observada positiva
Clase observada negativa	714	119
Clase observada positiva	130	275

d. Optimización – grid search

	Clase observada negativa	Clase observada positiva
Clase observada negativa	712	121
Clase observada positiva	119	286

e. Modelo optimizado final

	Clase observada negativa	Clase observada positiva
Clase observada negativa	652	181
Clase observada positiva	70	335

Fuente: autora.

Desbalanceo de datos

Debido a la asignación de pesos realizada para compensar el desbalanceo de datos, que contaba con una proporción de aproximadamente 94 entre el número de con-

juntos de datos en la clase 0 y la clase 1 (134486 / 1435), se desarrolló un nuevo entrenamiento donde se obtuvieron las métricas de clasificación consignadas en las Tablas 3 y 2.b, además de una media para el score de la validación cruzada de 0.719.

Tabla 3. Reporte de clasificación de la optimización por class_weight

	precision	recall	f1-score	support
0	1.00	0.71	0.83	40330
1	0.03	0.87	0.06	447
accuracy			0.71	40777
macro avg	0.51	0.79	0.45	40777
weighted avg	0.99	0.71	0.82	40777

Fuente: autora.

Es así como se hace evidente que algunas de las herramientas comúnmente empleadas para optimizar los modelos de machine learning pueden presentar contraprestaciones. En este caso, por ejemplo, la técnica de asignación de pesos para las clases permitió obtener un aumento en la predicción de la clase 1 (erosión), sin embargo, incrementó la cantidad de falsos positivos tal como se evidenció en la matriz de confusión (Tabla 2.b).

Muestreo para obtener datos más equilibrados

Posteriormente, a partir del remuestreo del set de datos, se obtuvieron las métricas de clasificación de las Tablas 4 y 2.c, junto con una media para el score de la validación cruzada de 0.76 con el nuevo entrenamiento.

Tabla 4. Reporte de clasificación de la optimización por class_weight

Reporte de clasificación - SD3:				
	precision	recall	f1-score	support
0	0.85	0.86	0.85	833
1	0.70	0.68	0.69	405
accuracy			0.80	1238
macro avg	0.77	0.77	0.77	1238
weighted avg	0.80	0.80	0.80	1238

Fuente: autora.

Afinamiento de los hiperparámetros

En la Tabla 5, se presentan los reportes para la combinación de hiperparámetro. Se encontró que el mayor accuracy está

dado por el método grid search, y se obtienen las métricas de clasificación de las Tabla 6 y 2.d, junto con una media para el score de la validación cruzada de 0.766.

Tabla 5. Hiperparámetros

Hiperparámetro	Valor por defecto	Grid search	Randomiz Search
Bootstrap	True	True	True
Max_depth	None	8	10
Min_samples_leaf	1	5	4
Min_samples_split	2	2	3
N_estimators	100	1778	1778
Accuracy	0.7668	0.7730	0.7648

Fuente: autora.

Tabla 6. Reporte de clasificación de la optimización-grid search

	precision	recall	f1-score	support
0	0.86	0.85	0.86	833
1	0.70	0.71	0.70	405
accuracy			0.81	1238
macro avg	0.78	0.78	0.78	1238
weighted avg	0.81	0.81	0.81	1238

Fuente: autora.

3.2. Análisis de características con Random Forest

Como proceso en paralelo, se realizó un análisis de características importantes entre las 22 variables mediante el algoritmo de Random Forest; posterior al entrenamiento del modelo, se usaron los porcentajes relativos devueltos por el modelo para clasificar las características según su importancia. En ese sentido se puede ver que las variables más importantes corresponden al factor C de la cobertura vegetal, seguida de la pendiente del terreno, la precipitación y el factor K de la erodabilidad; dentro de las variables introducidas, se observa que la temperatura presenta la mayor importancia y que las demás variables poco explican el modelo.

En suma, cabe anotar que las variables empleadas en el cálculo del IVR (materia

orgánica, densidad aparente y capacidad de retención de humedad) tiene una importancia similar a la hora de explicar el modelo, por debajo de las variables asociadas al cálculo de la RUSLE en la zona de estudio.

Es necesario evaluar el comportamiento de la importancia de las variables para explicar el problema de la predicción de la erosión en la cuenca, ya que permite entender cuál de las aproximaciones en la modelación puede detectar mejor este fenómeno. En este caso se encontró que de las cinco variables empleadas en el método de la ecuación universal de la pérdida de suelo ajustada RUSLE, cuatro presentan la mayor importancia para explicar el fenómeno de la erosión, aun cuando este método es ampliamente criticado por las generalidades que acarrea su aplicación en los paisajes tropicales (Barral, 2016).

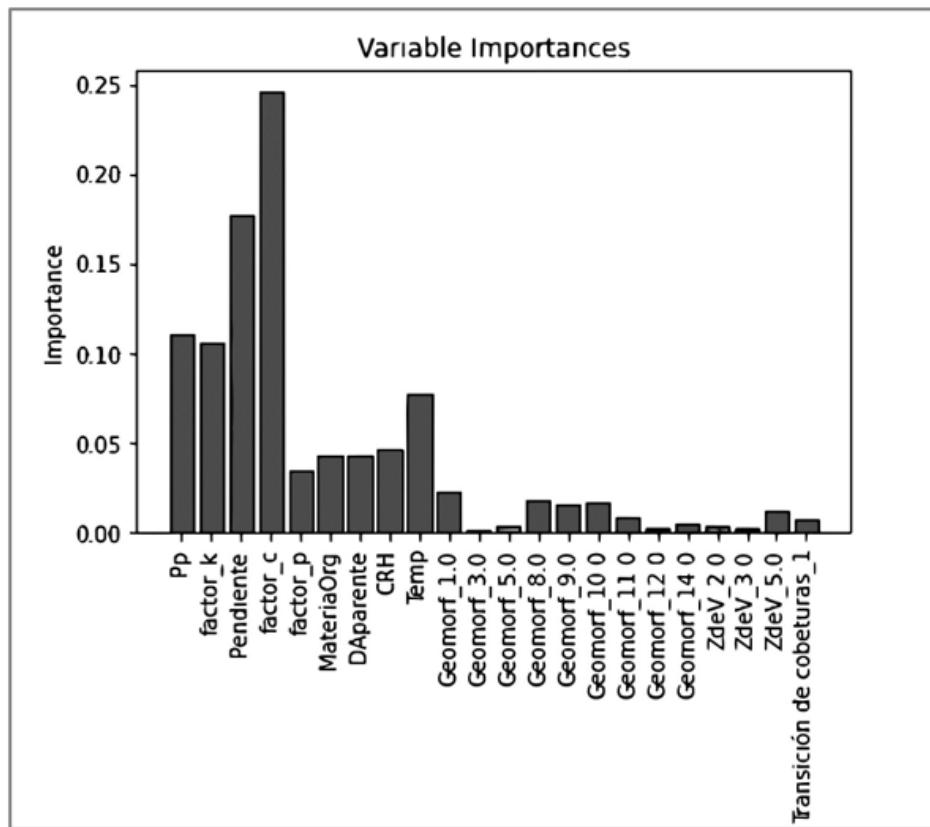


Figura 3. Importancia de las variables.

Fuente: autora.

Por otro lado, sorprende la baja importancia asignada a la variable introducida de la transición de las coberturas (Figura 3), ya que teóricamente esta es una de las variables que más incidencia tienen en el fenómeno de la erosión del suelo (Duan *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2022). Asimismo, la temperatura que se esperaba tuviese una menor relación con la explicación del fenómeno, presentó una importancia incluso mayor que las variables empleadas en el método del IVR.

3.3 Modelo optimizado

Mediante los procesos de optimización del modelo Random Forest para la predicción de la susceptibilidad a la erosión, a través de grid_search se obtuvieron hiperparámetros que arrojaron una mejor precisión en la métrica de validación cruzada; adicionalmente, se aplicó class_weight para obtener el modelo más optimizado. Lo anterior, se presenta en el reporte de clasificación y la matriz de confusión (Tabla 7). La media del score de cada una de las divisiones de la validación cruzada corresponde a 0.769 (Tabla 7).

Tabla 7. Reporte de clasificación para el modelo optimizado

	precision	recall	f1-score	support
0	0.90	0.78	0.84	833
1	0.65	0.83	0.73	405
accuracy			0.80	1238
macro avg	0.78	0.80	0.78	1238
weighted avg	0.82	0.80	0.80	1238

Fuente: autora.

De estos resultados se observa que el modelo aprendió de manera eficiente a identificar el fenómeno de erosión en la cuenca, sin embargo, respecto a los entrenamientos anteriores, disminuyó considerablemente la capacidad de acertar en la predicción de los valores donde no se presenta erosión. Aun así, presenta la mejor matriz de confusión al igual que la mejor media del score entre cada uno de los subconjuntos de la validación cruzada.

En general, se evidencia que el ejercicio de entrenamiento de modelos con datos desbalanceados, ofrece un reto a superar debido a que generalmente se presentan problemas para detectar las respuestas de la clase que presenta menor proporción (Cárdenas, 2019). A pesar de arrojar una precisión muy elevada, el modelo presenta un sobreentrenamiento de datos de la clase mayoritaria que lo entorpece para la predicción de la clase minoritaria. En nuestro

caso de estudio, el modelo entrenado con datos desequilibrados pierde valor debido a que se desea predecir la erosión en la cuenca y, con dichas condiciones en el set de datos, se entorpece la predicción acertada de estos datos de interés.

3.4. Curva de aprendizaje y curva ROC

Este resultado se complementa con el resultado de la curva de validación (Anexo 5), que muestra una tendencia, del modelo, a seguir aprendiendo. En el caso de la curva ROC, es evidente que, si bien la línea azul se mantiene alejada de línea roja, no tiene la pendiente deseada o no se acerca totalmente a la esquina superior izquierda lo que permite inferir que si bien este modelo es una herramienta buena de clasificación, todavía presenta oportunidades de mejora.

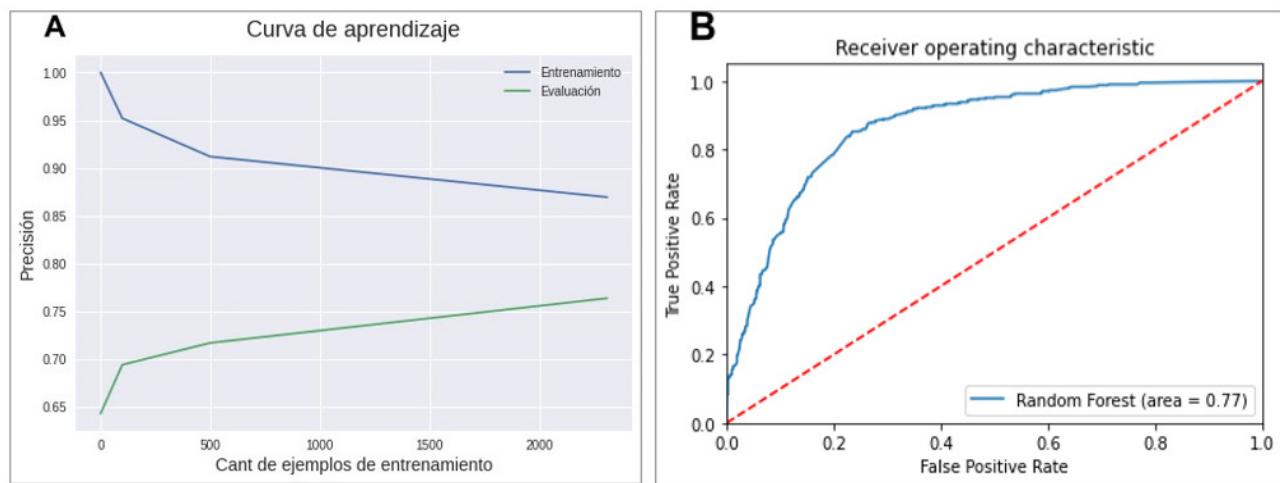


Figura 4. A. Curva de aprendizaje y B. Curva ROC.

Fuente: autora

4. CONCLUSIONES

Este método puede ser aplicado para obtener predicciones rápidas y confiables de la ocurrencia del fenómeno de la erosión, lo que posibilita una eficaz toma de decisiones sobre el manejo de los suelos, inclusive, a partir del análisis de las variables evaluadas (Barrera *et al.*, 2013; Suescún *et al.*, 2017). Si bien se esperaban mejores resultados en el desarrollo del ejercicio planteado, aplicar el modelo Random Forest para predecir la erosión en la cuenca de Río Grande es competitivo frente a otras alternativas de modelación y mapeo de fenómenos naturales que requieren mayor costo computacional, además de limitaciones en el uso de datos y de variables.

Estudios futuros basados en la metodología acá presentada podrían considerar la inclusión de otras variables asociadas

al suelo que puedan explicar con mayor precisión el comportamiento de la erosión; así como la metodología para el mapeo de los procesos erosivos reales, podría darse mediante metodologías como el cálculo del NDVI, de manera que se amplíe el espectro de los procesos erosivos de menor escala, y a su vez, se logren datos más equilibrados en las clases de interés de erosión y no erosión. Lo anterior considerando que mediante el método aquí presentado se obtuvieron áreas significativamente pequeñas con presencia de erosión, lo cual dificulta el aprendizaje del modelo.

Finalmente, el análisis de importancia de variables se convierte en una herramienta fundamental, sobre todo para definir las variables con más importancia a la hora de explicar el fenómeno de la erosión,

pero también porque permite considerar variables que poco se asocian al fenómeno. Tal es el caso de la temperatura, que se identificó como una característica relevante, lo cual sugiere que esta variable

debería ser tenida en cuenta para mejorar la precisión de los modelos, y las ecuaciones de susceptibilidad y vulnerabilidad a la erosión existentes en la actualidad.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Laura Isabel Arango-Carvajal: metodología, conceptualización, investigación, análisis de datos, escritura y edición.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al profesor Edier Aristizábal, de la Facultad de Minas de las Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por el conocimiento brindado que hizo posible el desarrollo del presente proyecto. Igualmente, al ingeniero de telecomunicaciones Juan David Chimá por sus aportes a la programación del modelo y análisis de datos. Finalmente, a Colcien-

cias, por proveer los recursos económicos para esta investigación a través del Proyecto "Trayectorias de sistemas socio-ecológicos y sus determinantes en cuencas estratégicas en un contexto de cambio ambiental. Código 110180863961" Convocatoria 808-2018 Proyectos de ciencia, tecnología e innovación y su contribución a los retos de país.

LITERATURA CITADA

Barral, M. P. (2016). *Tutorial para el mapeo de funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos con protocolo ECOSEN* (Vol. 1). Unidad Integrada Balcarce (EEA INTA Balcarce – Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata

Barrera, J. E., Rivera, J. H., y Cadena, M. E. (2013). Influencia del sistema radical de

cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas a movimientos masales. *Cenicafé*, 64(2), 59-77. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/531/1/arc064%2802%2959-77.pdf>

Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., & Müller, F. (2014). Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication

- and quantification. *Landscape Online*, 34(1), 1-32. <https://doi.org/10.3097/LO.201434>
- Cárdenas, J. A. (2019). *Clasificación de aceptación de campañas para una entidad financiera, usando random forest con datos balanceados y datos no balanceados*. [Tesis de Maestría]. Universidad Ricardo Palma Escuela de Posgrado.
- Corantioquia y UNAL. (2015). *Actualización y ajuste Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca de los ríos Grande y Chico*. Contrato 967 de 2013.
- Criminisi, A., & Shotton, J. (2013). *Decision forests for computer vision and medical image analysis*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4929-3>
- Duan, X., Chen, Y., Wang, L., Zheng, G., & Liang, T. (2023). The impact of land use and land cover changes on the landscape pattern and ecosystem service value in Sanjiangyuan region of the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Environmental Management*, 325(PB), 116539. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116539>
- García-Leoz, V., Villegas, J. C., Suescún, D., Flórez, C. P., Merino-Martín, L., Betancur, T., & León, J. D. (2018). Land cover effects on water balance partitioning in the Colombian Andes: improved water availability in early stages of natural vegetation recovery. *Regional Environmental Change*, 18(4), 1117-1129. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1249-7>
- Genuer, & Poggi, J. (2020). Random Forests with R. In *Use R*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56485-8>
- Gómez, N., & Carmona, M. (2022). An application of Machine learning Techniques to the Prediction of Purchase in the Tourism Sector. *EasyChair*.
- Hao, J., & Ho, T. K. (2019). Machine Learning Made Easy: A Review of Scikit-learn Package in Python Programming Language. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 44(3), 348-361. <https://doi.org/10.3102/1076998619832248>
- Le Clec'h, S., Oszwald, J., Decaens, T., Desjardins, T., Dufour, S., Grimaldi, M., Jegou, N., & Lavelle, P. (2016). Mapping multiple ecosystem services indicators: Toward an objective-oriented approach. *Ecological Indicators*, 69, 508-521. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.021>
- Louppe, G. (2014). *Understanding Random Forests: From Theory to Practice*. July. <http://arxiv.org/abs/1407.7502>
- Machado, J. (2018). *Impacto Potencial de pérdida del servicio ecosistémico intermedio de control de erosión por cambios en el capital natural del suelo. Caso de estudio: Cuenca de Riogrande, Departamento de Antioquia* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.051>
- Machado, J., Villegas-Palacio, C., Loaiza, J. C., & Castañeda, D. A. (2019). Soil natural capital vulnerability to environmental change. A regional scale

- approach for tropical soils in the Colombian Andes. *Ecological Indicators*, 96(May 2018), 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.060>
- Martín-López, B., González, J., & Vilardy, S. (2012). *Guía Docente Ciencias de la Sostenibilidad*. CO-BAC. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2011.11.018>
- Martínez-Harms, M. J., & Balvanera, P. (2012). Methods for mapping ecosystem service supply : a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2), 17-25. <https://doi.org/10.1080/21513732.2012.663792>
- Medina-Merino, R. F., y Ñique-Chacón, C. I. (2017). Bosques aleatorios como extensión de los árboles de clasificación con los programas R y Python. *Interfases*, 0(010), 165. <https://doi.org/10.26439/interfases2017.n10.1775>
- Mohammed, S., Alsafadi, K., Talukdar, S., Kiwan, S., Hennawi, S., Alshihabi, O., Sharaf, M., & Harsanyie, E. (2020). Estimation of soil erosion risk in southern part of Syria by using RUSLE integrating geo informatics approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20(2019), 100375. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100375>
- Probst, P., Wright, M. N., & Boulesteix, A. L. (2019). Hyperparameters and tuning strategies for random forest. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 9(3). <https://doi.org/10.1002/widm.1301>
- Ramírez, C. D., Orrego, S. A., & Schneider, L. C. (2018). Identifying Drivers and Spatial Patterns of Deforestation in the Río Grande Basin, Colombia. *Journal of Latin American Geography*, 17(1), 108-138. <https://doi.org/10.1353/lag.2018.0005>
- Sepúlveda, L. (2013). *Modelo para la definición de áreas estratégicas para la conservación de suelos a partir de la determinación de la susceptibilidad a la erosión hídrica*. Universidad de Antioquia.
- Suescún, D., León, J. D., Villegas, J. C., García-Leoz, V., Correa-Londoño, G. A., & Flórez, C. P. (2018). ENSO and rainfall seasonality affect nutrient exchange in tropical mountain forests. *Ecohydrology*, e2056, 1-10. <https://doi.org/10.1002/eco.2056>
- Suescún, D., Villegas, J. C., León, J. D., Flórez, C. P., García-Leoz, V., & Correa-Londoño, G. A. (2017). Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 17(3), 827-839. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1071-7>
- UPRA, U. de P. R. A.-. (2021). Evaluaciones Agropecuarias Municipales – EVA. Módulo de Consulta de Información. <https://www.upra.gov.co/web/guest/consulta-de-informacion>
- Wang, P., Li, R., Liu, D., & Wu, Y. (2022). Dynamic characteristics and responses of ecosystem services under land use/land cover change scenarios in the Huangshui River Basin, China. *Ecology*,

cal Indicators, 144(May), 109539. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109539>

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978).
Predicting rainfall erosion losses: a

guide to conservation planning. Department of Agriculture, Science and Education Administration.

ANEXOS

Anexo 1. Mapas ráster de las variables involucradas en la modelación

Anexo 2. Set de datos inicial

Anexo 3. Mapa de erosión observada

Anexo 4. Scripts empleados

Anexo 5. Curva de validación para class_weight

 **Conflictos de intereses**
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

CÓMO CITAR

ÁREA AGRÍCOLA

Marmolejo, A., Moreno, E. y Largacha, S. (2024). Variación anual de los recursos fitogenéticos comercializados en un mercado local del municipio de Quibdó, Pacífico colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 11 - 28.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6166>

Mercado, I., Riaños, K. y Meza, C. (2024). Semillas de moringa (*Moringa oleifera*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) para la clarificación del agua. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 29 - 48.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6334>

Trochez, J., Paz, I., Almanza, M. y Ruiz, X. (2024). Caracterización y análisis de la variabilidad genética de accesiones de morera (*Morus spp.*) empleando marcadores microsatélites. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 49 - 70.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6555>

Largo, E., Suárez, C. y Rubiano, J. (2024). Tendencias de investigación emergentes en cafés especiales: un análisis bibliométrico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 71 - 95.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6558>

Orjuela-Ángulo, M., Álvares-Herrera, J. y Camacho-Tamayo, J. (2024). Efecto de las condiciones climáticas sobre algunas características fisicoquímicas y fisiológicas en el crecimiento de frutos de ciruela variedad Horvin. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 97 - 113.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6566>

Quitián-Ayala, L. y Acevedo-Osorio, A. (2024). Los mercados campesinos como estrategia de sustentabilidad en los sistemas alimentarios de Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 115 - 135. <https://doi.org/10.22490/21456453.6662>

Machado, L., Medina, E., Guzmán, K. y Ordoñez, C. (2024). Evaluación de la calidad física y sensorial de grano de *Theobroma cacao* L. en respuesta a procesos de beneficio en municipios del norte del Huila, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 137 - 156.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6710>

Gamboa, M., Chaparro, A. y Torres, D. (2024). Evaluación por FTIR de extractos de propóleos de abejas sin aguijón de Bochalema-Norte de Santander. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 157 - 173.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6552>

Bernal, Á., Acero-Camelo, A. y Gutiérrez, A. (2024). Estimación de la biomasa en una pradera de Kikuyo mediante el uso de sensores remotos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 175 - 190.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6657>

ÁREA PECUARIA

Mancera, L. (2024). Evaluación del rendimiento de filete y composición de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 191 - 210. <https://doi.org/10.22490/21456453.6547>

Sanabria, D., Maza, R., Cardona, J. y Cuarán, V. (2024). Productividad y estimación de la emisión de metano en vacas de leche en pastoreo suplementadas con papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 211 - 227.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6627>

ÁREA AMBIENTAL

Osorio-Echeverri, V., Obando-García, J., Castrillón-Duque, E. y Martínez, J. (2024). Bacterias filamentosas productoras de enzimas hidrolíticas aisladas de rizosferas y un sistema de compostaje. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 229 - 249.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6594>

Armesto, A. y Cañón, J. (2024). Relación entre material particulado, variables meteorológicas e infecciones respiratorias agudas en la zona norte de Ocaña. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 251 - 279.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6537>

Herrera-Gudiño, E., Gómez-Arguello, M. y Molina-Pérez, F. (2024). Toxicity of glyphosate and its degradation products in aquatic ecosystems: a review. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 281 - 315.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6659>

Arango-Carvajal, L. (2024). Predicción de la erosión del suelo mediante Random Forest: caso de estudio cuenca Río Grande, Antioquia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 317 - 339. <https://doi.org/10.22490/21456453.6755>

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) es una publicación oficial de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), destinada a publicar artículos resultado de las investigaciones originales en el área agraria y ambiental y áreas de conocimiento afines.

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA) y su misión en ser divulgadores de la investigación en áreas agrarias y las otras ciencias involucradas en las que se abarcan en todas las disciplinas dentro de las áreas de las ciencias agrarias y ambientales (OCDE) a través de artículos de artículos de investigación y artículos de revisión resultantes del trabajo de los investigadores nacionales e internacionales.

Proceso de arbitraje de manuscritos.
La recepción formal de artículos se hará única y exclusivamente a través de la plataforma de gestión editorial de la revista, Open Journal System – OJS (<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/index>).

Nota: aquellos manuscritos que sean remitidos al correo electrónico no serán considerados para iniciar el proceso editorial.

El equipo de gestión editorial realiza la verificación inicial a los manuscritos postulados y revisa que estén orientados a las temáticas de RIAA y conforme a las normas de la publicación. Aquellos que no cumplan con la lista de chequeo inicial serán devueltos al autor.

Los artículos que acaten los lineamientos editoriales establecidos por la revista iniciarán la fase de asignación de revisores. El equipo editorial seleccionará expertos en el tema para que evalúe el manuscrito bajo la modalidad de doble ciego. Estos expertos serán académicos, especialistas o árbitros ad hoc de reconocida credibilidad en el ámbito nacional y/o internacional. Los revisores dictaminarán sobre originalidad, relevancia, pertinencia y contenido y registrarán su decisión en el Formato para concepto de

evaluación. En caso de obtener evaluaciones positivas, se le notificará al autor para que incorpore dichas observaciones y continúe dentro del proceso editorial.

Una vez adaptado el artículo, el autor deberá remitirlo nuevamente al equipo editorial, dentro de los plazos establecidos para ello, junto con una comunicación especificando las modificaciones efectuadas y cuáles no, indicando los motivos de la negativa. En caso de que un artículo obtenga un concepto favorable y otro desfavorable, será un integrante el comité editorial y/o científico el encargado de dirimir cualquier controversia y cuyo concepto y recomendación editorial será definitiva. Las decisiones del Comité Editorial son inapelables.

Las correcciones ortográficas en el texto son hechas directamente por el equipo editorial de la revista, sin consultar a los autores, además tiene la autonomía de revisar el documento y compararlo con softwares anti-plagio con miras de asegurar la originalidad del manuscrito, luego de este proceso, el comité emitirá observaciones que el autor debe acatar previo a la evaluación por pares. Sin embargo, una versión final antes de impresión y/o publicación en la página web de la RIAA será enviada a los autores para su aprobación. Se considera que la versión final es aceptada si el autor no responde en los tiempos estimados.

La recepción de un manuscrito no obliga a la publicación del mismo. La revisión de los manuscritos se hará respetando el derecho de los autores a la confidencialidad en cuanto a la información, resultados y esfuerzo creativo. Así mismo, se respetará el derecho a la confidencialidad de los revisores y editores.

Política de acceso libre

RIAA proporciona acceso público y gratuito a todo su contenido con el fin de promover un mayor intercambio global del conocimiento y fomentar la lectura y citación de los originales publicados. RIAA no tolera ninguna forma de plagio (total, parcial o conceptual). En caso de

dentificar algún plagio, además de informar al autor el retiro del artículo, buscará advertir a los autores plagiados. RIAA se acoge a lo establecido en la política de plagio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

Periodicidad

RIAA es una publicación semestral (enero-junio y julio-diciembre).

Idioma

Los manuscritos enviados pueden estar escritos en español o inglés.

Tipología de manuscritos La RIAA admite las siguientes tipologías de artículos:

Artículo de investigación: se asocia a la divulgación de productos de investigación en sentido estricto. Su estructura debe contar con:

- Introducción
- Materiales Y Métodos
- Resultados y Discusión
- Conclusiones
- Agradecimientos
- Literatura citada

Artículo de revisión: es la sistematización, análisis y balance de lo investigado sobre un problema en particular y tiene por objeto dar cuenta de sus referentes conceptuales, metodológicos y epistemológicos, además de los avances y tendencias del campo investigado. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión analítica de por lo menos 50 referencias bibliográficas. Un 60% de la literatura citada debe provenir de investigaciones publicadas en los últimos 4 años.

La estructura que se propone es:

- Introducción
- Planteamiento de la temática
- Recuperación Bibliográfica (en forma de tablas, pictogramas, mapas conceptuales entre otros)
- Discusión Ge Oos Kallazgos
- Conclusiones
- Agradecimientos
- Literatura citada

La postulación formal de los artículos de revisión estará sujeta al previo análisis y verificación de la temática y pertinencia del asunto abordado por parte del equipo editorial. En ese sentido, la carta para la solicitud de publicación del artículo de revisión se recibirá de manera inicial a través del correo electrónico de la revista y una vez cuente con el respectivo aval de los editores, se le solicitará al autor realizar envío a través de OJS para el respectivo proceso editorial.

Remisión del manuscrito

Como parte del proceso de envío, los autores están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental se acoge a la cultura de la originalidad para el desarrollo de la producción intelectual de la institución y por esta razón todos los artículos postulados serán sometidos a verificación con la herramienta **Turnitin**. En caso que el informe arroje un % de similitud superior al 30% y no derivarse de un trabajo de grado o tesis de postgrado, el equipo editorial tendrá la autonomía de retirar el artículo del proceso editorial.

Lista de comprobación inicial:

1. El manuscrito es inédito, no se ha publicado previamente, ni está siendo postulado simultáneamente a otra publicación.
2. Cumple con los lineamientos establecidos en las Instrucciones para Autores.
3. Se emplea la plantilla diseñada para la presentación de manuscritos.
4. Se han registrado todos los autores en el envío. Este paso es indispensable para evitar retrasos posteriores en el proceso, edición y publicación del artículo.
5. En el apartado "Comentarios para el editor" tendrá la opción de sugerir 3 posibles evaluadores, con su respectivo nombre, afiliación institucional y correo electrónico.
6. Citas y referencias redactadas según estilo APA.
7. Emplea tesauros para la construcción de palabras clave.

Formato general del documento

- Documento en formato Word
- Tamaño de papel carta (21.5 x 27.9 cm) y márgenes 3 cm superior, 2.5 cm izquierda, 3 cm inferior y 2 cm derecha, a una sola columna.
- Tipo de letra Verdana, tamaño 10.
- Espacio interlinear de 1.15 cm.
- Se recomienda que la extensión de los manuscritos postulados para publicación no exceda las 4000 palabras (incluyendo tablas, figuras y literatura citada), y hasta 6000 palabras para los artículos de revisión (incluyendo tablas, figuras y literatura citada).
- Si tiene figuras que ocupen una página completa (dos cuartillas), le recomendamos que lo coloque como anexo al documento. Esta figura quedará enlazada en el espacio web donde se alojará su artículo y en el caso de la versión impresa se maneja con código QR.

Título y autores

El título no debe exceder 15 palabras. Debe describir el contenido del artículo de manera clara y concisa, evitando el uso de palabras ambiguas, abreviaturas y signos de interrogación y exclamación.

Para cada uno de los autores que aparecen en el encabezado se debe proporcionar: nombre completo, último título académico obtenido o estudios actuales, filiación institucional, ciudad y país, correo electrónico. Omite cargos, grados docentes, nombres de grupo de investigación, reconocimientos, etc.

Resumen

El resumen identifica el objetivo y expone de manera breve la metodología, los resultados y las conclusiones del estudio. No deberá exceder las 250 palabras, tampoco incluir citas bibliográficas o abreviaturas, excepto aquellas que sean ampliamente conocidas. Según sea el idioma original del manuscrito deberá incluirlo en un segundo idioma (inglés y español).

Palabras clave

Se sugiere emplear una lista de cuatro a siete palabras, presentadas en orden alfabético y separadas por punto y coma (;).

No repita palabras que se encuentren en el título. Evite el uso de palabras en plural y frases. Idealmente emplee palabras normalizadas o descriptores del tesoro AGROVOC, UNESCO y que sean aceptadas por bases de datos internacionales.

Resumen gráfico

Es una representación concisa y visual de los principales hallazgos de la investigación. Deberá permitir al lector comprender rápidamente la esencia del artículo e incentivar su lectura.

Será requisito que todos los artículos aceptados incluyan esta imagen.

Tablas y figuras

Las tablas deben explicarse por sí solas y no duplican lo planteado en el texto, sino que lo sustituyen o complementan.

Dentro del texto refiérase a la tabla de la siguiente forma, (Tabla 1). Presente los datos en una tabla real sin líneas y columnas, a espacio sencillo, sin divisiones verticales ni divisiones internas. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI). Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados como notas al pie en cada tabla. En ningún caso se admitirán tablas en formato apaisado.

Un ejemplo de la presentación de una tabla es:

Tabla 1. Ejemplo de la presentación de una tabla

Número de la muestra	Nombre	Apellido	Departamento
M1	Milton	Rodríguez	Cundinamarca
M2	Alberto	Ruiz	Cundinamarca
M3	Ricardo	Cadena	Cundinamarca

Fuente de consulta: adaptado de: XXXXX.

Dentro de la categoría de figuras se incluyen gráficos, imágenes, fotos, y cada una de ellas debe tener su correspondiente leyenda y fuente, en caso de ser de su propia autoría mencionarlo. Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados en la leyenda

de la figura. Las figuras deben ser enviadas en formato .jpg .gif o .png y deben tener la calidad necesaria para su publicación (más de 1024pixeles). Un ejemplo de figura:

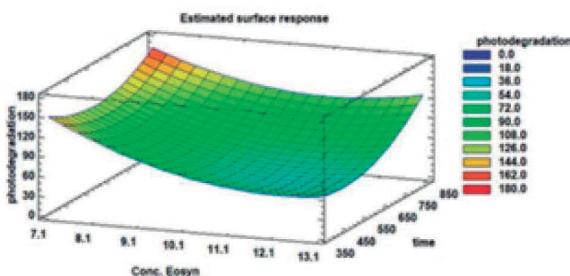


Figura 1. Título de la figura. Leyenda de la figura, el tipo de letra verdana tamaño 9.

Fuente de: xxxxxx

Ecuaciones

Todas las ecuaciones se enumeran al lado de la misma de la forma ecuación 1 citadas en el texto como (ecuación 1). Las ecuaciones se sugieren que se desarrollen en el editor de ecuaciones de Microsoft Word o a través de la aplicación de Mathtype.

Contribución de la autoría

En esta sección se explica cuál fue la contribución de cada autor al artículo. Ejemplo: Primer autor: Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura – borrador original. Segundo autor: Investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura – revisión y edición. Tercer autor: Logística, revisión y edición. Cuarto autor: análisis de datos, revisión y edición. Quinto autor: Adquisición de recursos, administrador del proyecto, supervisión, conceptualización, escritura – revisión y edición.

Agradecimientos

Esta sección se utilizará para hacer un reconocimiento a aquellas personas o instituciones que han hecho contribuciones sustanciales al trabajo o han prestado asistencia en la investigación (técnica, financiera, logística, intelectual, entre otras.). Los agradecimientos deben ir como una sección separada después de la discusión y antes de las referencias. Se incluye aquí, las referencias de los proyectos que hicieron posible el estudio.

Literatura citada

Deberán incluirse todas aquellas fuentes o autores que fueron citados en el cuerpo del documento. Nunca deberá referenciarse un autor que no haya sido citado y viceversa. Tenga en cuenta que no se admitirán artículos sin referencias. Un 60% de las citas debe provenir de investigaciones publicadas en los últimos 10 años.

Esta lista se organiza en orden alfabético y sin enumerar, y cada una debe tener sangría francesa. Para la referenciación de números o volúmenes de alguna publicación usar números arábigos y no romanos.

Forma básica:

Apellido, A.A., Apellido, B.B., y Apellido, C. C. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen (número), pp-pp.

Solo utilice fuentes electrónicas que correspondan a publicaciones con respaldo institucional, cuyo contenido no pueda ser modificado o eliminado en el futuro. No utilice información proveniente de páginas comerciales o sitios de opinión.

El formato de la literatura citada debe seguir la normas APA, en cuanto a citación de artículos científicos, libros, capítulos de libro, páginas Web, tesis de doctorado, maestría y pregrado, informes, reportes, etc.

Anexos

Si tiene figuras que ocupen una página completa (dos cuartillas) o información adicional relevante del estudio, pero que por su extensión no es posible situarla en el texto principal, le recomendamos que lo coloque como anexo al documento (Anexo 1, Anexo 2, etc.). Esta figura quedará enlazada en el espacio web donde se alojará su artículo y en el caso de la versión impresa se maneja con código QR.

*** Se sugiere que los autores usen la plantilla diseñada para los artículos presentados a la revista:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about/submissions> ***

GUIDE FOR AUTHORS

The Journal of Agrarian and Environmental Research (RIAA) is an official publication of the School of Agricultural, Livestock and Environment Sciences (ECAPMA) of the National Open and Distance University (UNAD), destined to publish articles resulting from the original investigations in the agrarian and environmental area and related areas of knowledge in animal production, agriculture and sustainable use of natural resources. As examples of related areas, mention, among others, Ethics, Ecology, Sociology, Geography, History, Law and Economics, when dealing with perspectives of development, styles of agriculture, agrarian history, development sustainable, of environmental ethics, of agrarian and environmental policy, environmental, forestry and agrarian legislation or of significant and innovative contributions with a systemic, interdisciplinary and / or transdisciplinary vision.

The mission of RIAA is to promote communication and collaboration between national and international researchers through the dissemination and transfer of knowledge related to agricultural sciences and the environment, to strengthen the generation of new knowledge. The subjects in which RIAA publishes its research products are:

1. Agroecology and sustainable production models
2. Animal physiology and nutrition
3. Ethology and animal welfare
4. Land use and management
5. Principles and strategies of environmental management
6. Rural development, Education and Social projection
7. Biotechnology and alternative energies
8. Agroforestry systems, agroforestry, agrobiodiversity
9. Clean technologies
10. Integral management of solid waste
11. Environmental Modeling and risk management
12. Climate change
13. Diagnosis and pollution control
14. Animal and environmental ethics
15. Alternative processes for water treatment.

Article arbitration process

The editor receives the postulated manuscripts for publication and reviews that are oriented to the RIAA themes and in accordance with the publication rules. After this, the originals pass to the Editorial Committee for the appointment of external peers. All originals are submitted to arbitration in the double-blind modality, at least two pairs, which must be academics, specialists or ad hoc arbitrators. According to the opinion of the peers (which is recorded in the format for evaluation concept), the authors are requested or not to make major or minor modifications and the adaptation of the originals to the editorial policy of the journal.

In the event that a document presents a favorable and unfavorable concept, it will be sent to a third evaluator whose opinion will be final, with the Editorial Committee in charge of resolving any dispute that may arise with respect to the evaluations, and it is the instance that decides which articles will be published, the decisions of the Editorial Committee are unappealable.

The orthographic corrections in the text are made directly by the editorial Committee of the journal, without consulting the authors, also has the autonomy to review the document and compare it with anti-plagiarism software in order to ensure the originality of the manuscript, after this process, the committee will issue observations that the author must comply with prior to the peer evaluation.

However, a final version prior to printing and / or publication on the RIAA website will be sent to the authors for approval. It is considered that the final version is accepted if the author does not respond in the estimated times.

The reception of a manuscript does not oblige the publication thereof. The revision of the manuscripts will be done respecting

the right of the authors to the confidentiality regarding the information, results and creative effort. Likewise, the right to confidentiality of reviewers and editors will be respected.

Remission of the manuscript

As part of the submission process, authors are required to verify that their submission meets all the elements shown below. Authors who do not comply with these guidelines will be returned to the authors.

Initial checklist:

1. The manuscript is unpublished, it has not been previously published, nor is it being simultaneously submitted to another publication.
2. It complies with the guidelines established in the Instructions for Authors.
3. The template designed for the presentation of manuscripts is used. publication of the article.
5. SUGGEST 5 POSSIBLE EVALUATORS with their respective name, affiliation and email. Add the data in the box called "Comments for the EDITOR". If you wish, you can mention the possible evaluators with whom you have a conflict of interest and who do not want you to review your manuscript.
6. references written according to APA style.
7. Use thesauri for the construction of keywords.

Free Access policy

RIAA provides free public access to all its content to promote a greater global exchange of knowledge and encourage the reading and citation of published originals. RIAA does not tolerate any form of plagiarism (total, partial or conceptual). In case of identifying any plagiarism, in addition to informing the author of the withdrawal of the article, it will seek to warn the plagiarized authors. RIAA accepts the provisions of the plagiarism policy of the National Open and Distance University (UNAD).

Frequency

RIAA is a biannual publication (January-June and July-December).

Language

Submitted manuscripts may be written in Spanish or English.

Postulation of manuscripts

The RIAA has several types of articles:

- Research Articles
- Review articles

Research articles are associated with the dissemination of research products in the strict sense. This manuscript format should have: introduction, materials and methods results and discussion, conclusions, acknowledgments and cited Literature.

On the other hand, **the review article** is the systematization, analysis and balance of the research on a problem and aims to account for their conceptual, methodological and epistemological references, in addition to the advances and trends of the field investigated. It is characterized by presenting a careful analytical review of at least 50 bibliographical references. 60% of the cited literature must come from research published in the last 4 years. The structure that must have is: introduction, approach of the subject, bibliographic recovery (in the form of tables, pictograms, conceptual maps among others.), Discussion of the findings, conclusions, acknowledgments and literature cited.

Finally, the **working papers** are versions prior to the publication of academic articles, book chapters, reviews, which are of priority to disclose. This type of document complies with the same parameters: introduction, materials and methods, preliminary results and discussion, conclusions, acknowledgments and Literature cited.

General format of the document

Document in Word format Letter paper size (21.5 x 27.9 cm); margins 3 cm upper, 2.5 cm left, 3 cm lower and 2 cm right, to a column.

Font Verdana, size 10.
Interlinear space of 1.5.

It is recommended that the extension of manuscripts postulated for publication does not exceed 4000 words (including tables, figures and literature cited); 6000 words for review articles.

If you have figures that occupy a complete page (two pages), we recommend that you place it as an annex to the document. This figure will be linked in the web space where your article will be housed and in the case of the printed version, it will be handled with a QR code.

Titles and authors

The title must not exceed 15 words. You must describe the content of the article clearly and concisely, avoiding the use of ambiguous words, abbreviations and question marks and exclamation marks.

For each of the authors that appear in the header, you must provide: full name, last academic degree obtained or current studies, institutional affiliation, city and country, email. Omit charges, teaching degrees, research group names, recognitions, etc.

Tables and figures

The tables must be explained by themselves and do not duplicate what is stated in the text, but replace or complement it.

Within the text refer to the table as follows: (Table 1). Present the data in a real table without lines and columns, in single space, without vertical divisions or internal divisions. International System (SI) units must be used. Abbreviations and acronyms should be explained as footnotes in each table. In no case will tables be allowed in landscape format. An example of the presentation of a table is:

Table 1. Example of the presentation of a table

Number of the sample	Name	Surname	Providence
M1	Milton	Rodríguez	Cundinamarca
M2	Alberto	Ruiz	Cundinamarca
M3	Ricardo	Cadena	Cundinamarca

Source: XXXXXXXXX.

Within the category of figures include graphics, images, photos, and each one of them must have its corresponding legend and source, in case it is of its own authorship to mention it. The abbreviations and acronyms must be explained in the legend of the figure. The figures must be sent in .jpg .gif or .png format and must have the necessary quality for publication (more than 1024pixels).

Equations

All the equations are listed next to it in the equation form 1 cited in the text as (equation 1). The equations are suggested to be developed in the Microsoft Word equation editor or through the Mathtype application.

References and bibliographical citations

All those sources or authors that were cited in the body of the document should be included. An author who has not been cited must never be referenced and vice versa. Keep in mind that articles without references will not be accepted. 60% of citations must come from research published in the last 10 years.

This list is organized in alphabetical order and without enumeration, and each one must have French indentation. For the reference of numbers or volumes of some publication, use Arabic and non-Roman numerals.

Basic form:

Surname, A.A., Surname, B.B., and Surname, C. C. (Year). Article title. Name of the journal, volume (number), # #-# #.

Only use electronic sources that correspond to publications with institutional support, whose content can not be modified or eliminated in the future. Do not use information from commercial pages or opinion sites.