



REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL

VOLUMEN 14 NÚMERO 2 – (JULIO - DICIEMBRE DE 2023)

E-ISSN 2145-6453

ISSN 2145-6097



Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 14, Número 2 – (Julio - Diciembre de 2023)

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 Comunicaciones 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 CREA-FCSC 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 Aplicacions Forestals - CREA.
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 Química. Universidad de Antioquia, Colombia.

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

SUSANA RODRÍGUEZ BURITICA
Ecología Espacial. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander 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 Posgraduados, 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>

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, geografía, 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.

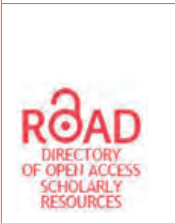
Se autoriza la reproducción y citación del material de la revista, siempre y cuando se indique de manera explícita el nombre de la revista, los autores, el título del artículo, volumen, número y páginas.

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

INDEXACIONES

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.
	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. 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.

	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 AGRICOLA, 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.
	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 u 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 OAISTER, ArchiveGrid y HathiTrust y con más de 25 millones de libros en bibliotecas de todo el mundo.
	Directory of Open Access Journals (DOAJ) lista revistas de acceso libre, científicas y académicas, que cumplan 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.
	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.
	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 cuantitativas (WoS, Scopus), así como la base de datos básica de acceso abierto (DOAJ).
	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).
	Galardón obtenido por RIAA en el año 2018 como una de las revistas colombianas con mayor visibilidad internacional

REVISORES ACADÉMICOS

Volumen 14, Número 2, año 2023.

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.

Amanda Silva, Universidad de los Llanos, Colombia

Andrés González Legarda, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Colombia

Angélica Julieth Garzón Restrepo, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Arturo Acero Pizarro, Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, Colombia

Cesar Ruíz, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia

Claudia Patricia Lenis Valencia, Universidad de Sucre, Colombia

Cristian Torres León, Universidad Autónoma de Coahuila, México

Daniel Díaz, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Daniel Grande, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México

Dennis Castillo Figueroa, Universidad del Rosario, Colombia

Diego Valbuena Vargas, Universidad de Wageningen, Países Bajos

Edgar Valencia Franco, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Elsa Uribe, Universidad de la Serena, Chile

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

Ever del Jesús Flores Santiago, Universidad Autónoma Chapingo-URUSSE, México

Felipe Benavides Martínez, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Felipe Ossio, Escuela de Construcción Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

Francisco Javier Toledo Solís, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México

German Chávez, Universidad de Nariño, Colombia

Harold Andrés Chañag Miramag, Universidad de Nariño, Colombia

Irma Mercante, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

Jorge Ismael Tucuch Haas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - (IN-IFAP), México

Jorge Oliva Hernández, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias - (INIFAP), México

Juan Araiza, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México

Juan Carlos Zambrano Arteaga, Universidad de Nariño, Colombia

Juan Trujillo, Universidad de los Llanos, Colombia

Juliana Herrera, Universidad de Antioquia, Colombia

Larissa Guillén, Instituto de Ecología, A.C., México

Lilina Di Feo, INTA- Instituto de Patología Vegetal (IPAVE), Argentina

Ligia Jaimes, Universidad Autónoma de las Américas, Colombia

Lilina Di Feo, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA, Argentina

Lina Fernanda Pulido Rodríguez, Universidad de Florencia, Italia

Lucas Maximiliano Machín Ferrero, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

María Guadalupe Tenorio Arvide, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Rubén D. Molina, Universidad de Antioquia, Colombia

Salvador Carlos Hernández, CINVESTAV, Saltillo, México

Siby Garcés, Universidad Libre, Colombia

Yasna Segura Sierpe, Universidad de Magallanes, Chile

Zoraya Martínez, Universidad de Córdoba, Colombia

ÍNDICE

Editorial

Director Editorial – Editor in chief: Gerardo Ojeda	10
Coeditora - Coeditor: Margarita Bonilla	

Área Agrícola

1. CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE 73 ACCESIONES DE HABA (<i>Vicia faba</i> L.) COLECTADAS EN NARIÑO	
PHENOTYPICAL CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF 73 BROAD BEANS (<i>Vicia faba</i> L.) ACCESSIONS COLLECTED IN NARIÑO	11
David Álvarez Sánchez, Hernán Maigual Timarán, Claudia Salazar González, Carlos Betancourth García	

2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DEL DURAZNO [<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch] cv. GRAN JARILLO BAJO CONDICIONES DE TRÓPICO ALTO	
INFLUENCE OF TEMPERATURE ON POSTHARVEST QUALITY OF PEACH [<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch] cv. GREAT JARILLO UNDER HIGH TROPICAL CONDITIONS	29
Fabián Amaya Martín, Yuli Alexandra Deaquiz Oyola	

3. DETERMINANTES DE LA POBREZA MULTIDIMENSIONAL EN PRODUCTORES DE UCHUVA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO (COLOMBIA)	
DETERMINING FACTORS OF MULTIDIMENSIONAL POVERTY IN CAPE GOOSE-BERRY PRODUCERS IN THE DEPARTMENT OF NARIÑO (COLOMBIA)	47
Housseman Steven Ramos Zambrano, Lizeth Tatiana Luna Mancilla, Gissela Fernanda Guerrero Diaz, David Rodríguez Puertas, José Manuel Campo Quesada	

4. ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn EN CINCO GENOTIPOS COMERCIALES DE PAPA (<i>Solanum tuberosum</i> L.) EN NARIÑO	
EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn IN FIVE COMMERCIAL GENOTYPES OF POTATO (<i>Solanum tuberosum</i> L.) IN NARIÑO	73
Jessica Descanse Vallejo, Carlos Betancourth García, Claudia Salazar González, Benjamin Sañudo Sotelo	

5. GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE SEMILLAS DE ARVEJA VAR. 'SANTA ISABEL' SOMETIDAS A DIFERENTES DOSIS DE GIBERELINAS	
GERMINATION AND GROWTH OF PEA SEEDS VAR. 'SANTA ISABEL' SUBJECTED TO DIFFERENT DOSES OF GIBBERELLINS	91
Marilcen Jaime Guerrero, Javier G. Álvarez Herrera, Jesús H. Camacho Tamayo	

Área Pecuaria

6. EVALUATION OF THE PRODUCTIVE PERFORMANCE OF COLOMBIAN HAIR SHEEP BASED ON GROWTH TRAITS	
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN OVINOS DE PELO COLOMBIANO A TRAVÉS DE CARACTERES DE CRECIMIENTO	113
Yineth Alexandra Palacios Erazo, Manuel Fernando Ariza Botero, Moris de Jesús Bustamante Yáñez, Oscar David Vergara-Garay, Luz Ángela Álvarez-Franco	

7. INCLUSIÓN DE HARINA DE CANGREJO ROJO AMERICANO (<i>Procambarus clarkii</i>) EN LA ALIMENTACIÓN DE ALEVINOS DE TRUCHA ARCO IRIS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) INCLUSION OF CRAYFISH MEAL (<i>Procambarus clarkii</i>) IN RAINBOW TROUT (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) FINGERLINGS FEEDING Rafael Rosado Puccini, Miguel Ángel Landines Parra, Diego Alberto Rodríguez Avella, Yesid de los Ángeles González Ruíz, Mabel Giovana Pimiento Ortega, Isabella González Gamboa, Yimy Herrera Martínez	131
8. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y LAS REACCIONES METABÓLICAS DE OVINOS DE CEBA ALIMENTADOS CON <i>Brachiaria spp.</i> EN EL TRÓPICO BAJO DE COLOMBIA, AL DARLES SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS EVALUATION OF PRODUCTIVE PERFORMANCE AND METABOLIC REACTIONS OF GRAZING FATTENING SHEEP FED WITH <i>Brachiaria spp.</i> IN THE LOWER TROPICS OF COLOMBIA, AFTER USING NUTRITIONAL SUPPLEMENTS María Ligia Roa Vega, César Augusto Navarro Ortiz	153
9. EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN ALIMENTARIA A BASE DE CASCARILLA DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>) SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA LECHE DE VACAS MESTIZAS ALIMENTADAS CON PASTO EFFECT OF NUTRITIONAL SUPPLEMENTATION BASED ON COCOA HUSK (<i>Theobroma cacao</i>) ON THE PRODUCTION AND COMPOSITIONAL QUALITY OF MILK OF CROSSBRED COWS FED WITH GRASS Jilmart Ortiz Ravelo, Román Maza Ortega, Deilen Sotelo Moreno, Dixon Fabián Flórez Delgado, Dubel Cely Leal	171
Área Ambiental	
10. VARIACIÓN DE LA CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO (CPUE) DE LA PESCA ARTESANAL Y SU SUSTENTABILIDAD EN RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES EN EL PACÍFICO COLOMBIANO CATCH PER UNIT OF EFFORT (CPUE) VARIATION AND SUSTAINABILITY OF ARTISANAL FISHING IN RELATION TO ENVIRONMENTAL VARIABLES IN COLOMBIAN PACIFIC Jairo Alberto González Camilo, Diego Esteban Gamboa García, Guillermo Duque	189
11. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LAS HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSOCIATED WITH HYDROELECTRIC PLANTS IN COLOMBIA Juan Manuel Andrade Navia, Alfredo Olaya Amaya	217
12. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN ACEITES ESENCIALES Y PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES: UNA REVISIÓN DE ASPECTOS METODOLÓGICOS LIFE CYCLE ASSESSMENT IN ESSENTIAL OILS AND AGROINDUSTRIAL PRODUCTS: A REVIEW OF ITS METHODOLOGICAL ASPECTS Nicolás Andrés Mantilla, Julián Ernesto Jaramillo, Juan David Villegas	251
CÓMO CITAR - HOW TO CITE	277
INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES – GUIDE FOR AUTHORS	279



EDITORIAL

Estimados lectores

Una vez más, hemos recibido un gran apoyo de la ustedes, nuestros investigadores. Poder ayudar a la difusión de su investigación es un gran honor para nosotros. Gracias por confiar en la Revista de Investigación Agraria y Ambiental – RIAA, desde las varias áreas de conocimiento que acogemos en este número.

Continuamos desde la revista con nuestra política de acceso abierto, libre y gratuito de todos nuestros artículos y agradecemos profundamente a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, por todo el apoyo recibido. La revista, desde el 2020 a día de hoy, ha incrementado su índice H de 19 a 28, lo que se traduce en un considerable aumento en el número de citaciones. ¡Gracias a todos nuestros lectores!

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 diferentes cultivos como haba, durazno, uchuva y arveja, desde el punto de vista agroecológico y comercial, la influencia de especies invasoras en zonas agrícolas y el control de ácaros. En el área pecuaria, el número presenta artículos sobre ovinos, el cangrejo rojo y la calidad de leche en vacas mestizas. Finalmente, en el área ambiental presentamos artículos la sostenibilidad ambiental de la pesca, el impacto ambiental de las hidroeléctricas y el ciclo de vida de aceites y productos agroindustriales.

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



Fecha recibido: 03/10/2022

Fecha aceptado: 05/12/2022

DOI: 10.22490/21456453.6256



CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE 73 ACCESIONES DE HABA (*Vicia faba* L.) COLECTADAS EN NARIÑO

PHENOTYPICAL CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF 73 BROAD BEANS (*Vicia faba* L.) ACCESSIONS COLLECTED IN NARIÑO

David Álvarez Sánchez ¹
Hernán Maigual Timarán ²
Claudia Salazar González ³
Carlos Betancourth García ⁴

¹ Doctor en Agroecología. Universidad de Nariño, Colombia.
daealvarezsa@udenar.edu.co

² Estudiante de la maestría en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño, Colombia.
timaran@udenar.edu.co

³ Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño, Colombia.
claudiasalazarg@udenar.edu.co

⁴ Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño, Colombia.
cbet70@udenar.edu.co

Citación: Álvarez, D., Maigual, H., Salazar, C. y Betancourth, C. (2023). Caracterización fenotípica y clasificación jerárquica de 73 accesiones de haba (*Vicia faba* L.) colectadas en Nariño. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 11 - 27.
<https://doi.org/10.22490/21456453.6256>

RESUMEN

• **Contextualization:** el cultivo de haba es considerado un componente importante en los sistemas campesinos de clima frío al ofrecer atributos multifuncionales [fuente de proteína, estrategia rotación, opción comercial, otros], por lo cual presenta alto arraigo en la región de Nariño [Colombia].

• **Vacío de conocimiento:** se busca ampliar el conocimiento sobre la diversidad de esta especie para facilitar una estrategia de conservación y el desarrollo de programas de mejora.

• **Propósito:** caracterizar fenotípicamente y clasificar 73 accesiones de haba colectadas en Nariño.

• **Metodología:** se realizó un proceso de colecta de semillas de haba en siete municipios productores de Nariño. Las accesiones fueron sembradas en parcelas de observación y evaluadas mediante 19 descriptores cuantitativos.

Los resultados se analizaron mediante correlación de Pearson y Análisis de Componentes Principales; además, se procedió a realizar una agrupación jerárquica mediante el método de Ward.

• **Resultados y conclusiones:** se evidenció diversidad fenotípica en la colección de trabajo, además se describieron diferentes asociaciones entre descriptores que estuvieron relacionadas con dinámicas de compensación de la especie. En referencia al análisis multivariado, se generaron cuatro grupos con características particulares que pueden explorarse para fines de conservación, detección de materiales con características superiores o para mejora genética del cultivo de haba.

• **Palabras clave:** leguminosas, diversidad fenotípica, morfología vegetal, fenología.

ABSTRACT

• **Contextualization:** bean cultivation is considered an important component in cold climate farming systems because it offers multifunctional attributes [source of protein, rotation strategy, commercial option, etc.], which is why it is so common in the region of Nariño [Colombia].

• **Knowledge gap:** knowledge about the biodiversity of this species must be expanded to facilitate a conservation strategy and the development of improvement programs.

• **Purpose:** to characterize phenotypically and classify 73 broad bean accessions collected in Nariño.

• **Methodology:** different bean seeds were collected in seven producer municipalities of Nariño. The accessions were planted in observation plots and evaluated using 19 quantitative descriptors. The results were analyzed using Pearson's correlation and Principal Component Analysis. In addition, a hierarchical grouping was carried out using Ward's method.

• **Results and conclusions:** phenotypic diversity was evidenced in the collec-

tion. In addition, different associations between descriptors that were related to the species' compensation dynamics were described. In reference to the multivariate analysis, four groups with characteristics were generated and they can be explored for conservation purposes, detection of materials with superior characteristics, or genetic improvement of the broad bean crop.

Keywords: legumes, phenotypic diversity, plant morphology, phenology.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores.

1. INTRODUCCIÓN

El haba [*Vicia faba* L.] es una planta herbácea perteneciente a la familia Fabaceae. Su origen está asociado al Cercano Oriente con restos arqueológicos que datan de 14000 años A.C., por lo que se considera una de las primeras plantas domesticadas (Alghamdi et al., 2017; Asadova, 2019). Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, 2020], durante el año 2020, a nivel mundial se sembraron 2,6 millones de hectáreas con haba, proporcionando un promedio de 5,6 millones de toneladas entre grano fresco y seco. Sin embargo, a pesar de estas cifras, en las últimas dos décadas se ha identificado una tendencia negativa en el mantenimiento de las variedades regionales y presión sobre la reserva genética de la especie (Tadele et al., 2022; Zayed et al. 2022). Por lo que Salazar et al. (2019) resaltan la importancia de los diferentes nichos en donde se salvaguarda la producción de esta leguminosa.

En este sentido, pese a que Colombia registra una participación reducida a nivel mundial, Nariño se destaca por concentrar el 70 % de la cosecha nacional, con un promedio de 423 ha sembradas y una producción de 1730 t (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021). En este departamento, la integración del haba dentro de los sistemas mixtos de agricultura familiar y el continuo intercambio de semilla, por parte de los agricultores, permiten la preservación exitosa de materiales

locales, como lo mencionan Álvarez-Sánchez et al. (2021). Allí, este cultivo es valorado por proveer una fuente de proteína de alto contenido y calidad en la dieta (Asadova, 2019; Khamassi et al., 2021) de personas y animales, por contribuir a la recuperación de suelo y por su valor económico (Álvarez-Sánchez et al., 2021; Zayed et al., 2022).

En consecuencia, por la implicación socioeconómica que representa el haba, junto al potencial para encontrar mayor diversidad genética de esta planta, se ha sugerido realizar procesos de colecta y posterior evaluación mediante descriptores fenotípicos y genéticos (Elshafei et al., 2019; Salazar et al., 2019) con el propósito de iniciar una estrategia sólida de conservación o de desarrollo de un programa de mejora para la especie (Tekalign et al., 2020). Un ejemplo de este tipo de estudios es presentado por Alghamdi et al. (2017) en Arabia Saudita, Salazar et al. (2019) en México, Elshafei et al. (2019) en Egipto, Khamassi et al. (2021) en Tunes y Malek et al. (2021) en Argelia, entre otros, quienes registran en cada caso variabilidad entre materiales colectados. Por lo anterior, este trabajo buscó evaluar la diversidad fenotípica y clasificar de forma jerárquica 73 accesiones de haba colectadas en el departamento de Nariño, con el objeto de generar una aproximación a la diversidad genética de esta especie en la región y establecer posibles agrupaciones sobresalientes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se realizó una colecta de semillas de haba durante los semestres A y B del año 2021 en siete municipios del departamento de Nariño, los cuales se seleccionaron al presentar antecedentes

estadísticos de distribución del cultivo (MADR, 2021). El código empleado para identificar las variedades regionales fue: Alp = Alpargata, Ar = Argentina, Bn = Beso de novia, Bc = Blanca común, Ro = Roja, Rs = Rosada y Sv = Semiverde [Tabla 1].

Tabla 1. Identificación de los materiales de *Vicia faba* depositados en la colección GRISAV.

Municipio	Altitud m.s.n.m.	Temperatura promedio °C	Código
Pasto	2520 – 2870	14,4	Ar-1; Bc-2; Sv-3; Bc-4; Bc-10; Bc-35; Bc-36; Bc-37; Bc-38; Sv-39; Bc-40; Ar-41; Bc-42; Bc-43; Ar-44; Bc-45; Bc-46; Sv-47; Ro-48; Bc-49; Ro-53; Bc-54; Bc-55; Ro-56; Alp-57; Rs-58; Bn-59; Rs-60; Bc-65; Bc-66; Bc-67; Ro-68
Ipiales	2830 – 2980	14,3	Ar-15; Rs-17; Sv-26; Ro-27; Ar-28; Rs-29; Bc-30; Ar-33; Bc-34; Bc-51; Bc-52; Rs-61; Bc-62; Alp-63; Rs-64
Córdoba	2760 – 2860	13,4	Bc-11; Bc-12; Bc-20; Ro-21; Ro-22; Rs-23; Bc-24; Bn-25; Rs-71; Bc-72; Rs-73
Guachucal	3160 – 3188	13,3	Bn-5; Ro-6; Bc-7; Bc-8; Bc-50
Tuquerres	2580 – 3023	11,1	Alp-9; Rs-13; Bc-14; Bc-18; Sv-70; Alp-74
Potosí	2622	12,9	Rs-19; Bc-31; Rs-32
Carlosama	2985	17,6	Bc-16

Fuente: Autores.

Cada variedad contó con un número heterogéneo de accesiones: Alp [4], Ar [6], Bn [3], Bc [35], Ro [8], Rs [12] y Sv [5] para un total de 73 materiales.

Localización

El estudio se realizó en el municipio de Pasto, departamento de Nariño, a una altitud de 2650 m s. n. m, a 1° 10' 14" N y 77° 18' 43" W, con una temperatura media de 13 °C, precipitación anual de 803 mm y humedad relativa del 82 %.

Diseño experimental

En un área de 2460 m² se dispuso cada accesión en una parcela de observación, conformada por tres surcos de 6 m de longitud separados a 1,2 m, donde se sembraron 36 semillas a una distancia de 0,5 m entre sitio. Durante el ensayo se realizó un manejo uniforme del lote [previo análisis de suelo] y el control de arvenses, plagas y enfermedades, siguiendo las recomendaciones técnicas de Horque (2004).

Caracterización fenotípica

Se realizó a partir de 19 descriptores cuantitativos propuestos por el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR, 1985) y Biodiversidad Internacional (Alercia, 2011). El valor promedio de cada descriptor correspondió a la estimación de diez plantas de cada accesión tomadas al azar de la parcela de observación. De acuerdo con la escala BBCH, durante la etapa de floración y madurez del fruto se contabilizó el número de tallos [NT], el número de folíolos [Nfo], los días hasta el 50 % de floración [DF], los nudos florales [NFI], el número de flores [NFr], las vainas por nudo [VN], las vainas por planta [NV],

los días a cosecha en verde [DCv] y los días a cosecha en seco [SCs]. Además, se midió en cm la altura basal (AB), la altura de la planta (AP), el grosor del tallo (GT), el largo del folíolo (L_Fo), el ancho del folíolo (A_Fo), la longitud de la flor (LgFr), el largo de la vaina (LV) y el ancho de la vaina (AV). Finalmente, en la etapa de senescencia, fueron estimados los descriptores de semillas por vaina [SV], largo de semilla [LS en cm] y peso de cien semillas con una humedad del 15 % [P100 en g].

Análisis estadístico

Para cada descriptor se calculó el valor mínimo, el valor máximo, la relación máximo/mínimo y el coeficiente de variación; también se determinó el grado de asociación empleando un análisis de correlación de Pearson. Con aquellos descriptores que presentaron un coeficiente de variación superior al 20 % y cuando no se identificó una asociación alta con otro [$q < 50 \%$]) se desarrolló un Análisis de Componentes Principales [ACP] y clasificación jerárquica, utilizando como medida de disimilitud la distancia cuadrática euclidiana y el método de Ward como algoritmo de ligamiento. Para la validación estadística de los grupos obtenidos en el dendrograma, se midió la diferencia del grupo k con respecto a la media global en términos de desviación estándar, utilizando la prueba de *valor test* (Pardo, 2020). El desarrollo de los procesos estadísticos se realizó con el lenguaje de programación R v. 4. 1. 2, operando las librerías Agricolae y FactoExtra.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este estudio encontró variabilidad asociada a todos los descriptores fenotípicos utilizados, evidenciando potencial para hallar diversidad genética dentro de la colección. Especialmente NT, GT,

NFl, LgFr, VN, NV, P100 y DF presentaron el mayor coeficiente de variación y una diferencia de 2 a 5 veces entre el valor mínimo y el valor máximo en cada característica [Tabla 2].

Tabla 2. Caracterización fenotípica de 73 accesiones de *Vicia faba*.

Descriptores	Media	CV*	Rango	Max / Min
Número de tallos (NT)	2,80	18,1	1,8 – 4,4	2,44
Altura basal (AB)	7,29	4,0	5,3 – 8,9	1,67
Altura de planta (AP)	129,87	13,7	85,8 – 161,6	1,88
Grosor tallo (GT)	1,25	24,7	0,7 – 2,3	3,52
Número foliolos (Nfo)	5,81	8,0	4,6 – 7,0	1,52
Largo foliolo (L_Fo)	12,42	8,5	9,6 – 15,2	1,59
Ancho foliolo (A_Fo)	6,06	14,9	4,4 – 10,4	2,39
Nudos florales (NFl)	13,24	20,9	8,8 – 19,4	2,20
Número de flores (NFr)	4,42	12,5	3,2 – 6	1,88
Longitud flor (LgFr)	3,46	17,7	1,8 – 4,4	3,94
Vainas por nudo (VN)	2,08	21,7	1,0 – 3,4	3,40
Vainas por planta (NV)	32,46	26,9	11,3 – 56,3	4,98
Largo vaina (LV)	11,93	7,8	9,2 – 14,2	1,54
Ancho vaina (AV)	2,48	13,0	1,9 – 3,6	1,87
Semillas por vaina (SV)	2,52	13,2	1,6 – 3,2	2,00
Largo de semilla (LS)	2,84	8,7	2,5 – 3,4	1,38
Peso cien semillas (P100)	211,08	16,5	148,5 – 350	2,36
Días a floración (DF)	62,08	15,0	53 – 108	2,04
Días cosecha verde (DCv)	176,10	4,0	150 – 194	1,22
Días cosecha seco (SCs)	213,34	4,4	191 – 243	1,27

*CV: Coeficiente de variación; **Fuente:** Autores.

Autores como Tekalign et al. (2020), Malek et al. (2021) y Zayed et al. (2022) respaldan el anterior resultado al indicar que, efectivamente, los siete descriptores mencionados [junto a AP y DCv] hacen parte de las características más sensibles en estudios con *Vicia faba*, registrando cambios entre materiales aun dentro de zonas de colecta relativamente pequeñas.

En Nariño, tres rasgos contrastaron con evaluaciones de caracterización similares en esta especie. El primero fue el bajo número de tallos, ya que los valores de este estudio mostraron un promedio de 2,8, siendo sensiblemente menor al valor registrado por Horque (2004) de 6,5 en una muestra de materiales peruanos y por Salazar et al. (2019) de 6,4 en materiales mexicanos. Sin embargo, a pesar de ser identificado este comportamiento, no se vieron comprometidas características de importancia agronómica como NFI, VN y NV que, en promedio, exhibieron un valor dentro del rango encontrado por los mismos autores (Horque, 2004; Salazar et al., 2019). También se pudo establecer que la AP, con un promedio de 129,8 cm (Tabla 2), superó el valor obtenido en materiales de haba colectados en Argelia con 81,4 cm (Malek et al., 2021), Egipto con 102,7 y 108,5 cm (Elshafei et al., 2019; Zayed et al., 2022), Azerbaiyán con 107,2 cm (Asadova, 2019), Perú con 110,1 cm (Horque, 2004) y Etiopía con 118,36 cm (Tadele et al., 2022).

Bodner et al. (2018) indicaron que, para la altura de planta, el efecto de la interacción genotipoambiente es significa-

tivo, por lo cual, se deberá corroborar el comportamiento de la colección en diferentes localidades. Pero también se sabe que, en el pasado, los agricultores de Nariño utilizaban los tallos secos de esta leguminosa como combustible doméstico, lo cual pudo generar un criterio de selección para el agricultor; esto se notó especialmente en las variedades regionales Alpargata y Blanca común con mayor altura.

Otro comportamiento que llamó la atención estuvo asociado al descriptor P100, el cual presentó un valor promedio de 211,08 g [Tabla 2] que fue superior a los valores referenciados por Horque (2004), Alghamdi et al. (2017), Salazar et al. (2019), Malek et al. (2021), Khamassi et al. (2021) y Zayed et al. (2022), con los que se presenta una diferencia entre 26 a 111,7 g. P100 hace parte de los componentes de rendimiento en haba, por lo cual es considerado un marcador en la selección de materiales productivos (Alharbi & Adhikari, 2020; Zayed et al., 2022). Igualmente es un rasgo valorado a nivel comercial y existe una preferencia diferencial de mercado en relación con este carácter, por lo cual la variabilidad de este es favorable dentro de esta especie (Álvarez-Sánchez et al., 2021; Asadova, 2019).

Los demás descriptores mostraron un comportamiento dentro de las variaciones reportadas para *Vicia faba* en la literatura científica, fortaleciendo la hipótesis de Tekalign et al. (2020) quienes señalan que es posible que, dentro de una región, los agricultores seleccionen a través del tiempo algunos rasgos co-



munes y deseados para el consumo doméstico o el mercado.

Análisis de correlación

En la matriz de correlación [Anexo 1] se pudo establecer que los materiales de mayor altura y número de tallos presentaron una correlación positiva respecto al número de vainas por nudo [AP x VN: $\rho = 0,51$], vainas por planta [NT x NV: $\rho = 0,51$] y peso de cien semillas [AP x P100: $\rho = 0,42$]. Este es un comportamiento similar al notado por Salazar et al. (2019) y Elshafei et al. (2019), quienes indicaron que los resultados obtenidos se deben a la capacidad que tienen este tipo de plantas para establecerse y competir por la luz. Además, Bodner et al. (2018) pudieron determinar que un mayor número de tallos permite la distribución de más puntos de inserción de las vainas, lo que es un componente conexo al rendimiento.

Por otro lado, en la medida que se contabilizó un mayor número de botones florales y número de flores por botón, dos descriptores correlacionados [NFI x NFr: $\rho = 0,40$], la cantidad de vainas por nudo se incrementó [NFr x NV: $\rho = 0,39$] e igualmente el número de semillas por vaina [NFI x SV: $\rho = 0,49$]. Sin embargo, esta última asociación mostró un tamaño de semilla sensiblemente más pequeño, como lo confirmó la correlación SV x P100 con un $\rho = -0,46$ [Anexo 1]. Lo anterior se ha discutido como un mecanismo de compensación en las plantas de *Vicia faba*, que busca disminuir la competencia por recursos

e incrementar la viabilidad de las semillas bajo condiciones naturales (Alharbi & Adhikari, 2020; Asadova, 2019; Bodner et al., 2018). En el Anexo 1 puede observarse que el número de botones florales se correlacionó de forma negativa con los días en floración [NFI x DF: $\rho = -0,45$], días de cosecha en verde [NFI x DCv: $\rho = -0,52$] y días de cosecha en seco [NFI x DCs: $\rho = -0,49$]; este comportamiento no se ha registrado en otras investigaciones y podría servir para identificar materiales precoces en etapas tempranas del cultivo.

Los resultados obtenidos confirman la relación indicada por Alharbi & Adhikari (2020) y Zayed et al. (2022) al establecer que el tamaño de vaina se encuentra inversamente relacionado con la cantidad de vainas producidas por planta, dicho tamaño está determinado por la correlación negativa AV x NV = $-0,56$ y LV x NV = $-0,41$ [Anexo 1]. Conjuntamente, el tamaño de vaina también incidió sobre el tiempo promedio para la cosecha en seco [AV x DCs: $\rho = 0,47$], probablemente al tener un mayor contenido de humedad. Por último, la relación positiva que presentó la altura de inserción de tallos con el número total de tallos [AB x NT: $\rho = 0,98$] y el número de vainas por planta [AB x NV: $\rho = 0,38$] fue contraria a la registrada por Zayed et al. (2022). De acuerdo con las observaciones en terreno, se advierte que aquellos materiales con valores altos en AB tuvieron una mejor arquitectura y mayor separación del follaje del suelo, lo cual incidió sobre la sanidad de la planta.

Los anteriores resultados tienen importantes implicaciones para la mejora de *Vicia faba*, dado que aquellas características [fuertemente correlacionadas] posiblemente estén bajo la influencia de los mismos genes con efectos pleiotrópicos o genes ligados (Asadova, 2019; Bodner et al., 2018; Tekalign et al., 2020), lo que indicaría que la selección basada en el fenotipo podría ser eficaz para la mejora de caracteres específicos (El-Abssi et al., 2019; Zayed et al., 2022).

Análisis de componentes principales y agrupamiento jerárquico

El resultado del análisis multivariado, presentado en la Tabla 3, consideró los primeros tres componentes principales [CP] al presentar un valor propio superior a 1,0 y retener el 76,1 % de la varianza total. Conjuntamente, cada CP se analizó a partir de los autovectores con puntajes superiores a 30 %, los cuales revelan la correlación existente entre las variables originales y la variable sintética (Pardo, 2020).

Tabla 3. Contribución de los descriptores a la conformación de los Componentes Principales.

Descriptor	CP1	CP2	CP3
Número de tallos (NT)	-5,90	16,89	41,89
Altura de planta (AP)	-15,70	57,37	0,06
Área foliar (Afo)	-14,88	36,39	-5,94
Número inflorescencias (NFI)	-58,54	-8,70	-1,71
Número de vainas (NV)	-14,51	0,17	57,94
Vainas por nudo (VN)	-8,77	-16,01	30,07
Largo de vaina (LV)	-16,50	8,85	-39,94
Semillas por vaina (SV)	-23,71	-3,26	-35,71
Peso de cien semillas (P100)	6,31	52,27	-5,61
Días cosecha en verde (DCv)	40,83	7,71	0,29
Valor propio	<i>2,04</i>	<i>1,23</i>	<i>1,11</i>
Varianza	<i>0,39</i>	<i>0,20</i>	<i>0,17</i>
Varianza acumulada	<i>0,39</i>	<i>0,59</i>	<i>0,76</i>

Fuente: Autores

El primer CP mostró una contribución positiva de DCv, asociada con la fenología de los materiales, así como una contribución negativa de NF1. El segundo CP relacionó AP, AFo y P100, que son características vinculadas al porte de los materiales, y, finalmente, el tercer CP representó los componentes de rendimiento sugeridos para *Vicia faba* por Elshafei et al. (2019) y Zayed et al. (2022), con la contribución de los descriptores NT, NV, VN, LV y SV [Tabla

3]. El análisis de clasificación confirmó la existencia de diversidad fenotípica en la colección y permitió diferenciar tres grupos, a un valor de corte de 0,58, como se observa en la Figura 1. Estas agrupaciones [conformadas por el análisis multivariado para Khamassi et al. (2021) y Tadele et al. (2022)] además de representar el patrón de diversidad de los materiales, brindan información útil sobre el potencial de selección al interior de la colección.

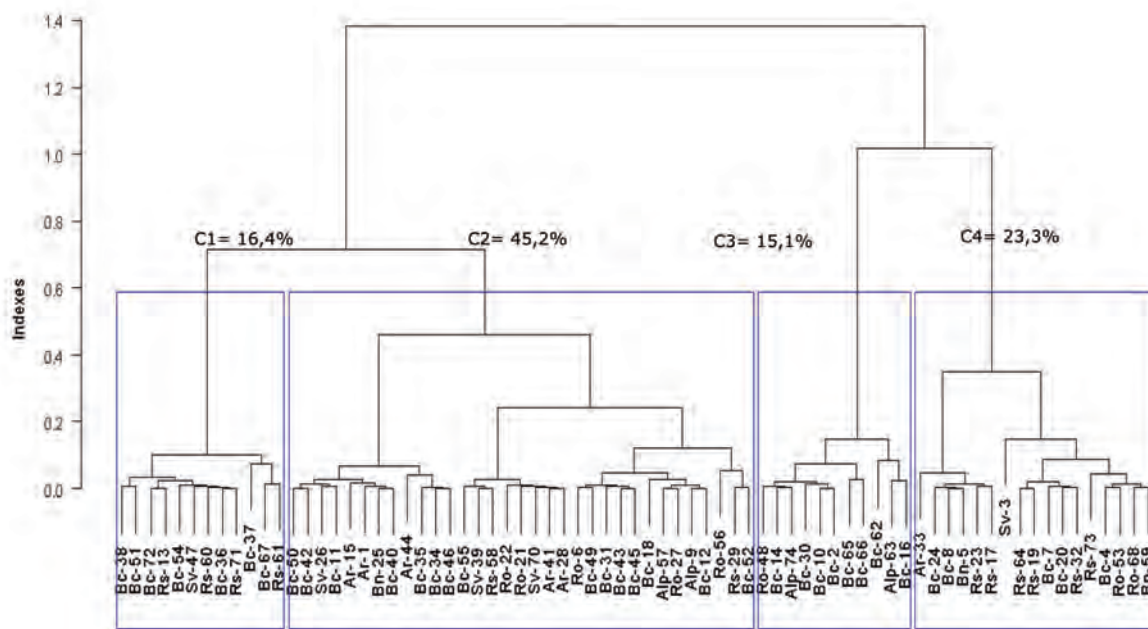


Figura 1. Dendrograma de la clasificación fenotípica de 73 accesiones de *Vicia faba*.

Fuente: Autores.

La clasificación no fue capaz de explicar los grupos conformados sobre la base del punto de colecta de las accesiones como ha sido reportado en otros estudios, por ejemplo, en Elshafei et al. (2019) y Zayed et al. (2022). Posible-

mente porque la variación agroclimática y edáfica es baja en el interior de la región geográfica abordada en Nariño, sumado a la semejanza en las prácticas de manejo por parte de los agricultores en los siete municipios abordados.

Con referencia al grupo 1, el porte de planta fue intermedio con un AP de $139,7 \pm 10$ cm, junto a un número alto de NT ($3,50 \pm 0,5$) y VN ($2,41 \pm 0,3$), que dio como resultado un elevado número

de vainas, con un promedio de NV del $40,63 \pm 0,3$, lo que sugiere la posibilidad de seleccionar este grupo por rendimiento [Tabla 4].

Tabla 4. Descripción de grupos formados en la colección

Descriptor	Valor-Test	Promedio grupo	Promedio global
Grupo 1 (n=12)			
NT	6,31**	3,50	2,80
NV	3,87**	40,63	32,46
VN	2,20*	2,41	2,08
AP (cm)	-2,51*	139,7	176,1
P100 (g)	-2,87*	205,72	211,12
Grupo 2 (n= 33)			
NFI	6,08**	16,21	13,32
L_Fo (cm)	3,40**	14,85	12,42
SV	-2,33**	2,03	2,52
NV	-2,07*	24,08	32,46
Grupo 3 (n= 11)			
P100 (g)	4,91**	246,7	211,12
DCv (días)	2,69**	191,5	176,1
NFI	-2,43**	11,82	13,33
NT	-2,73*	2,51	2,82
NV	-3,18*	26,30	32,46
SV	-3,42*	2,00	2,52
Grupo 4 (n=17)			
NT	-2,54**	2,62	2,82
LV	-3,06*	11,34	11,93
P100 (g)	-3,09*	185,6	211,08
L_Fo (cm)	-3,66*	10,41	12,42
AP (cm)	-5,38*	109,2	131,5

NT: Número de tallos, AP: Altura de planta, AFo: Ancho foliolo, NFI: Nudos florales, VN: Vainas por nudo, NV: Vainas por planta, LV: Largo vaina, SV: Semillas por vaina, P100: Peso cien semillas, DCv: Días cosecha verde; Fuente: Autores.

Si bien en cultivos de haba se ha identificado una variación del rendimiento debido a los métodos de cultivo y de las condiciones ambientales, la carga genética de la población es fundamental para expresar el potencial productivo (Malek et al., 2021; Zayed et al., 2022). Por ello, la identificación de los materiales que reúnan algunos o todos los indicadores de rendimiento anteriores podría mejorar el cultivo de haba (Bodner et al., 2018).

los materiales del grupo 1 exhibieron un conveniente tamaño de semilla [con un valor promedio en P100 de $205,72 \pm 21$ g] como se muestra en la Tabla 4, asociado a semillas medianas y grandes, que tienen alta aceptación comercial en la región (Álvarez-Sánchez et al., 2021). El 59 % de los materiales de esta primera agrupación correspondió a la variedad regional Blanca común, siendo esta la de mayor área cultivada en Nariño según el MADR (2021), por lo cual se podría pensar en una selección empírica realizada por los agricultores. También fue importante identificar materiales superiores de las variedades Rosada y Semiverde, las cuales tienen demanda para preparaciones tradicionales de la región.

Por otra parte, el grupo 2 [con 33 accesiones] fue el más diverso y numeroso, con representantes de todas las variedades regionales [Tabla 4 y Figura 1]. Comparativamente, estas plantas presentaron un porte medio con folíolos de $14,8 \pm 0,5$ cm de longitud que fueron ligeramente más grandes en comparación al promedio global, por lo cual exhibieron un follaje abultado, lo

que dificultó el manejo agronómico en campo. En estos materiales sobresalió también el número de nudos florales con un promedio de 15 ± 3 , que se encuentra dentro de los reportes más altos para esta especie (Alharbi & Adhikari, 2020; Horque, 2004; Salazar et al., 2019; Zayed et al., 2022). Sin embargo, esta característica influyó negativamente sobre el número total de vainas por planta, contabilizándose en este grupo un valor promedio de $24,08 \pm 3$, lo que representa una disminución del 21,6 % con relación al promedio global [Tabla 4]. La anterior observación podría ser explicada por los niveles de aborto floral que tiene algunas accesiones de *Vicia faba*, con variaciones entre genotipos del 25 al 35 %, como lo ha indicado Bodner et al. (2018) y Salazar et al. (2019). Se suma a esto el hecho de que este grupo presentó uno de los reportes más bajos en el número de semillas por vaina, con $2,03 \pm 0,2$, por lo cual muestra bajo interés agronómico [Tabla 4].

El grupo 3 se diferenció por el tamaño de la semilla con un valor de P100 de $246,7 \pm 38$ g que no solo es el más alto en la colección [Tabla 4]), sino que es mayor al registrado en grupos de habas africanos de 126,7 g (Khamassi et al., 2021), americanos de 141,6 – 185,5 g (Horque, 2004; Salazar et al., 2019) y europeos de 129,9 – 181,17 g (Bodner et al., 2018; Malek et al., 2021). Estas once accesiones también mostraron el periodo de cosecha en verde más prolongado, con un promedio de DCv de $191,5 \pm 4$ días [Tabla 4], por lo cual se catalogaron como tardías de acuerdo con la clasificación de Horque (2004), con un

incremento de hasta de 42 días respecto al material más precoz de la colección. Además, ratificando la compensación entre descriptores encontrada en este estudio, el grupo 3 presentó el menor valor en NT ($2,5 \pm 0,4$), NFI ($11,8 \pm 1,7$), NV ($26,3 \pm 9,2$) y SV ($2 \pm 0,2$).

Finalmente, en el grupo 4 se encontraron las accesiones con menor porte de planta, al mostrar valores por debajo del promedio de la colección en NT ($2,62 \pm 0,5$), L_Fo ($10,41 \pm 0,5$ cm) y AP ($109,2 \pm 13$ cm). Igualmente, las vainas y semillas tuvieron un tamaño pequeño con valores de LV de $11,34 \pm 1$ cm y P100 de $185,6 \pm 20$ g (Figura 1 y Tabla 4). Se destacan accesiones como Ar-33, Ro-68, Ro-19 y Bc-20, que presentaron un comportamiento agronómico adecuado con una carga entre 45,2 - 51,3 vainas por planta, cumpliendo con las características valoradas por Asadova (2019) quien sugiere que los materiales modernos de haba deben ser paulatinamente adaptados a un menor requerimiento de área de cultivo. Sin embargo, el tamaño de semilla es un limitante desde el punto de vista comercial y de preferencia, que deberá analizarse.

Como se ha evidenciado a lo largo de este estudio, los materiales de haba

colectados en Nariño representan una fuente importante de diversidad de esta planta y pueden utilizarse dentro de estrategias de conservación de la especie, convirtiéndose en recursos altamente valiosos. Además, se debe considerar que estos materiales corresponden a la semilla tradicionalmente utilizadas por los agricultores, por lo cual se presume que las variedades recolectadas tienen una adecuada adaptación a las condiciones climáticas, de manejo y uso tradicional en esta región.

A la hora de elegir materiales con características superiores [o para mejora genética] se sugiere considerar los grupos 1 y 3 como acervo de partida, dado que estos demostraron la integración de rasgos agronómicamente positivos y ajustados a las necesidades del mercado local. A futuro también se deberá plantear una evaluación, en diferentes localidades, que permita identificar la relación que tienen las accesiones de habas frente a distintos efectos ambientales, así como respaldar los resultados fenotípicos con el uso de marcadores moleculares para ganar precisión en la evaluación de la diversidad genética de la planta, como lo proponen Elshafei et al. (2019) y Malek et al. (2021).



4. CONCLUSIONES

Las variedades regionales de haba colectadas en Nariño albergan niveles notables de diversidad fenotípica, especialmente en los descriptores NT, GT, NF, LgFr, VN, VP, P100 y DF. El análisis de componentes principales y agrupamiento jerárquico permitió conformar cuatro grupos con características particulares que pueden explorarse para fines de conservación, detección de materiales con características superio-

res o de mejora genética del cultivo de haba. Dentro de la colección, los grupos 1 y 3 exhibieron rasgos potencialmente valiosos para incentivar la producción de haba. El grupo 1, al presentar una adecuada relación entre componentes de rendimiento, podría permitir la selección de accesiones de alta productividad; mientras que el grupo 3 mostró un destacado tamaño y peso de semilla.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: conceptualización y desarrollo de la investigación. **Segundo autor:** desarrollo de la investigación. **Tercer autor:** desarrollo de la investigación. **Cuarto autor:** conceptualización y desarrollo de la investigación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al programa de Formación del talento humano de alto nivel para el fortalecimiento de necesidades estratégicas de CTel del departamento de Nariño y a la Fundación Ceiba.

LITERATURA CITADA

Alercia, A. (2011). *Key characterization and evaluation descriptors: Methodologies for the assessment of 22 Crops*. Bioversity International.

Alghamdi, S., Al-Faifi, S. A., Migdadi, H. M., Al-Rowaily, S. L. El-Harty, E.

E. & Farooq, M. (2017). Genetic diversity and field performance of Mung Bean, Faba Bean and Lentil Genotypes in the Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Agriculture*

- and Biology*, 19(4), 689–696. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0336>
- Alharbi, N. H. & Adhikari, K. N. (2020). Factors of yield determination in Faba Bean (*Vicia faba*). *Crop and Pasture Science*, 71(4), 305–21. <https://doi.org/10.1071/CP19103>
- Álvarez-Sánchez, D., Salazar-González, C., Sañudo-Sotelo, B. y Betancourth-García, C. (2021). Evaluación fenotípica de semillas de haba (*Vicia Faba* L.) colectadas en Nariño-Colombia. *U. D. C. A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2), 1–30. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1874>
- Asadova, A. (2019). Problems and prospects of the selection of bean (*Vicia faba* L.) in Azerbaijan. *Agricultural Science Digest*, 39(4), 291–295. <http://doi.org/10.18805/ag.d-163>
- Bodner, G., Kronberga, A., Lepse, L., Olle, M., Vågen, I. M., Rabante, L., Fernández, J. A., Ntatsi, G., Balliu, A. & Rewald, B. (2018). Trait identification of faba bean ideotypes for northern European environments. *European Journal of Agronomy*, 96, 1–12. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2018.02.008>
- El-Abssi, M., Rabi, H. A., Awaad, H. A. & Qabil, N. (2019). Performance and gene action for earliness, yield and chocolate spot disease of faba bean. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 46(6), 1825–1834. <http://doi.org/10.21608/zjar.2019.51882>
- Elshafei, A. A. M., Amer, M. A. E., Elanany, M. A. M. & Elhameed, A. G. A. (2019). Evaluation of the genetic variability of faba bean (*Vicia Faba* L.) genotypes using agronomic traits and molecular markers. *Bulletin of the National Research Centre*. 43(106), 1–10. <http://doi.org/10.1186/s42269-019-0145-3>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *Cultivo de haba (1990-2020)*. <https://onx.la/65d96>
- Pardo, C. (2020). *Estadística descriptiva multivariada*. Universidad Nacional de Colombia.
- Horque, R. (2004). *Cultivo del haba*. INIA.
- Khamassi, K., Babay, E., Rouissi, M., Dakhlaoui, A., Ayed, R. B. & Hanana, M. (2021). Genetic variability of Tunisian faba bean (*Vicia Faba* L.) based on seeds' morphophysiological properties as assessed by statistical analysis. *Journal of Food Quality*, 2021(1), 110. <http://doi.org/10.1155/2021/9493607>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). *Participación departamental en la producción y en el área cosechada de haba*.
- Malek, N., Miyassa, M., Khamassi, K., Lupini, A., Rouaissi, M. & Hanifi, L. (2021). Agromorphological and molecular variability among Algerian faba bean (*Vicia Faba* L.) accessions. *Agronomy*, 11(8), 3–14. <http://doi.org/10.3390/agronomy11081456>



- Salazar, M., Pérez, D., González, A. y Vázquez, L. (2019). Variabilidad fenotípica en colectas de haba provenientes del Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(3), 713–727. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1758>
- Tadele, M., Mohammed, W. & Jarso, M. (2022). Genetic diversity of elite faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes based on agronomic traits and soil acidity stress indices. *American Journal of Bioscience and Bioengineering*. 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.11648/j.bio.20221001.11>
- Tekalign, A., Derera, J. & Sibiya, J. (2020). Phenotypic diversity among faba bean (*Vicia Faba* L.) landraces from the Ethiopian highlands. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences*. 30(1), 17–34.
- Zayed, E. M., Ghareeb, Z. E. & Saad, K. I. (2022). Genetic diversity and Principal Component Analysis (PCA) of faba bean landraces based on yield-traits and protein SDS-Page. *Journal of Global Agriculture and Ecology*. 13(4), 1–16.

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: 04/10/2022

Fecha de aceptado: 22/02/2023

DOI: 10.22490/21456453.6262



**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE
LA CALIDAD POSCOSECHA DEL DURAZNO
[*Prunus persica* (L.) Batsch] CV. GRAN JARILLO
BAJO CONDICIONES DE TRÓPICO ALTO**

**INFLUENCE OF TEMPERATURE ON
POSTHARVEST QUALITY OF PEACH
[*Prunus persica* (L.) Batsch] CV. GREAT
JARILLO UNDER HIGH TROPICAL CONDITIONS**

¹Fabián Amaya-Martín. Mag. en Fisiología Vegetal, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja-Colombia. jose.amaya04@uptc.edu.co

²Yuli Alexandra Deaquiz-Oyola. Mag. en Fisiología Vegetal, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja-Colombia. ydeaquiz@jdc.edu.co

Citación: Amaya-Martín, F. y Deaquiz-Oyola, Y. (2023). Influencia de la temperatura sobre la calidad poscosecha del durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo bajo condiciones de trópico alto. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 29 - 46. <https://doi.org/10.22490/21456453.6262>

RESUMEN

Contextualización: el durazno es un producto altamente perecedero, debido a su patrón respiratorio de tipo climatérico y su alta producción de etileno, lo que conlleva a un acelerado deterioro de su calidad organoléptica [luego de su recolección] y a una rápida senescencia. Actualmente, existen diversas técnicas que se aplican con el fin de retardar los cambios que suceden tras el proceso de maduración poscosecha como la refrigeración, la cual es una de las herramientas mayormente usadas para prolongar la calidad de los frutos altamente oxidables y aumentar su durabilidad.

Vacío de conocimiento: el desconocimiento de las características expresadas por los frutos de durazno en su maduración, específicamente de la variedad Gran Jarillo, y la falta de estudios sobre esta cuestión [bajo las condiciones del trópico alto] limitan a los productores de esta fruta para tomar decisiones informadas respecto a técnicas de almacenamiento que eviten pérdidas de la producción luego de la cosecha.

Propósito: este estudio tuvo como objetivo dilucidar el efecto de diferentes temperaturas en los parámetros de calidad de los frutos de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo después de su almacenamiento.

Metodología: se realizaron varios tratamientos. En el primer tratamiento [T1], los frutos se almacenaron a temperatura ambiente [17 °C]; en el segundo tratamiento, los duraznos [testigo]

estuvieron a temperatura ambiente con una cubierta de biopolímeros [17 °C más cera]; y en el último tratamiento [T3], los duraznos se mantuvieron a una temperatura de refrigeración de 2 °C durante 22 días. Los resultados obtenidos se analizaron con un diseño completamente al azar, realizando 4 repeticiones los días 0, 7, 14 y 22.

Resultados y conclusiones: Los duraznos a los que se les aplicó el último tratamiento [T3] y estuvieron a una temperatura de 2 °C mantuvieron una mayor firmeza y una menor tasa respiratoria, menor porcentaje de pérdida de peso, menor concentración de sólidos solubles titulables [SST], una menor relación de madurez [SST/ATT] y mayor concentración de ácidos totales titulables [ATT]; por su parte, el índice de color [IC] de la epidermis aumentó durante la maduración, en los tres tratamientos, mayormente en T1. Para el caso de la durabilidad en el tiempo, los duraznos sometidos a T3 se mantuvieron en buen estado hasta el día 22, mientras que los otros, sometidos a los demás tratamientos, a los 14 días perdieron su calidad organoléptica. Todos los datos mencionados permitieron concluir que los frutos almacenados a temperatura baja retardaron su proceso de maduración, en comparación a los almacenados a temperatura ambiente.

Palabras clave: calidad organoléptica, procesos de maduración, refrigeración, tasa respiratoria



ABSTRACT

Contextualization: the peach is a highly perishable product, due to its climacteric-type respiratory pattern and high ethylene production, leading to an accelerated deterioration of its organoleptic quality [after being collected] and a rapid senescence. Currently, various techniques are applied to delay the changes that occur after the ripening process like refrigeration, which is one of the most used tools to prolong the quality of highly oxidizable fruits and increase their durability.

Knowledge gap: the lack of knowledge about the characteristics expressed during the ripening of peach fruits, specifically of the variety Gran Jarillo, and the lack of related studies [under the conditions of the high tropics] restrict producers from taking informed decisions regarding storage techniques that avoid production losses after harvest.

Purpose: to elucidate the effect of different temperatures on the quality parameters of peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo after its storage.

Methodology: several treatments were applied. During the first treatment, the fruits were stored at ambient temperature [17 °C]; in the second treatment,

the peaches [control] were at ambient temperature with a cover of biopolymers [17 °C plus wax]; and in the last treatment, fruits were at a low temperature [2 °C] for 22 days. The results were analyzed with a completely randomized design and four repetitions were performed on days 0, 7, 14 and 22.

Results and conclusions: peaches under the last treatment [T3] and a low temperature [2 °C] maintained a higher firmness and a lower respiratory rate, a lower percentage of weight loss, a lower concentration of titratable soluble solids [TSS], a lower maturity ratio [SST/ATT], and a higher concentration of total titratable acids [ATT]; also, the color index [CI] of the epidermis was increased during maturation in the three treatments, mainly in T1. In the case of durability over time, the peaches under T3 were in good conditions until day 22, while the others lost their organoleptic quality at 14 days. All this data lead us to conclude that the fruits stored at low temperatures delayed their ripening process, compared to those stored at room temperature.

Keywords: organoleptic quality, maturation processes, refrigeration, respiratory rate.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores.

1. INTRODUCCIÓN

El durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] es un fruto de tipo caducifolio, perteneciente al género *Prunus* (Africano et al., 2016). Los duraznos son altamente cultivados, tanto en el hemisferio sur como en el hemisferio norte (Cancino et al., 2019), y su producción es de gran importancia en el ámbito nacional e internacional por su alta rentabilidad (Puentes, 2006). En Colombia, Boyacá ocupa el primer lugar en la producción de caducifolios con un aproximado de 3 000 ha plantadas, siendo el cultivo de durazno el principal (González et al., 2020) y el municipio con mayor participación en la producción de duraznos es Sotaquirá; Jenesano, Nuevo Colón, Cómbita y Tuta (son municipios productores en menor medida (Meléndez et al., 2018). Las variedades de durazno predominantes en el departamento de Boyacá son dorado, diamante rubidoux y rey negro; mientras que en otros departamentos productores, como Norte de Santander y Santander, predominan los cultivares Jarillo y Gran Jarillo (Cancino et al., 2018).

Los duraznos presentan una respiración con un patrón de tipo climatérico, en el que el etileno es responsable de que se desencadenen los procesos fisiológicos asociados a la maduración de los frutos y la senescencia (Balaguera-López et al., 2014). Dentro de los factores fisicoquímicos y organolépticos afectados por el alto patrón respiratorio se encuentran: el cambio de color de la pulpa y la epidermis, la concentración de sólidos solubles totales, la disminución en la acidez total titulable y la pérdida de firmeza; este último factor es de especial relevancia para determinar estándares de cosecha, de calidad de los frutos y un factor de importancia a la hora de la selección del fruto por parte del consumidor final (Africano et al., 2015).

Para minimizar las pérdidas poscosecha del durazno, es necesario entender los procesos asociados a la síntesis de etileno durante la maduración y generar estrategias que permitan disminuir los efectos asociados a este fenómeno (Marriño-González et al., 2019). Dentro de los



factores agroecológicos que limitan la producción de duraznos se encuentran: el cambio climático, la estacionalidad de las cosechas, el proceso de recolección y la evaluación del estado de maduración de la cosecha. Las pérdidas asociadas a estos factores pueden estar cercanas al 30 % de los frutos frescos (Saavedra et al., 2020). En general, la calidad de los frutos de durazno se mantiene de 6 a 9 días, dependiendo del cultivo, el momento de cosecha y el manejo poscosecha, pero hoy se busca ahondar esfuerzos en mejorar la conservación después de la cosecha y que los productores sean eficientes en el aprovechamiento de recursos (Cabrera et al., 2018).

Una de las principales alternativas para retardar la maduración y prolongar la vida poscosecha de los frutos de durazno es el almacenamiento con refrigeración, que influye de forma directa en el mantenimiento de la calidad organoléptica de los frutos (Graterol et al., 2012). Con el uso de bajas temperaturas de almacenamiento se ha comprobado que se puede incrementar la vida poscosecha y mantener la calidad nutricional de los productos, ya que se ralentizan los procesos metabólicos como la actividad enzimática, la respiración y la producción de etileno; así mismo, se conserva por un periodo de tiempo más prolongado la concentración de antioxidantes, que desde el punto de vista nutricional favorece la dieta humana (Molano-Díaz et al., 2022).

Otra alternativa utilizada para la conservación de los frutos son los recubrimientos comestibles elaborados a partir de extractos vegetales y cáscaras de frutos, entre los que se destaca el uso de biopolímeros como polisacáridos y proteínas. Estos materiales han sido ampliamente utilizados para generar películas protectoras alrededor de frutas y verduras, gracias a su capacidad de reducir la respiración y la pérdida de peso en estas; además, pueden ser útiles para la producción de envases activos y biodegradables de bajo costo (Fernández et al., 2018; Torres-León et al., 2018). Las características físicas y mecánicas de los recubrimientos están directamente relacionados con su formulación y uso final, ya que también pueden servir como una barrera de intercambio de gases que genere protección contra la luz, radiación ultravioleta [RUV] y pérdida de color (Solano-Doblado et al., 2018).

Teniendo en cuenta, entonces, el interés por la conservación de las frutas en poscosecha, y específicamente del durazno, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes temperaturas sobre los parámetros de calidad de los frutos de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo después de su almacenamiento. Se usó el método del recubrimiento como tratamiento de control para comparar la efectividad de los tratamientos con temperatura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en la ciudad de Tunja. Como material vegetal se utilizaron frutos de durazno [*Prunus persica* [L.] Batsch] cv. Gran Jariño, recolectados de un cultivo comercial ubicado en la vereda las Peñas del municipio de Ramiriquí [Boyacá, Colombia] [coordenadas geográficas Latitud: 5,417, Longitud: -73,333 5° 25' 1" Norte, 73° 19' 59" Oeste] en estado de madurez fisiológica. Se seleccionaron frutos con tamaño y color homogéneos, sin evidencia de daños producidos por plagas y/o enfermedades o daños mecánicos, y se lavaron y desinfectaron para retirar impurezas traídas de campo

Posteriormente, se eligieron 40 frutos al azar y se dividieron aleatoriamente en tres grupos, para la caracterización durante el periodo poscosecha, utilizando un diseño experimental completamente al azar. Los frutos del tratamiento 1 [testigo] y el tratamiento 2 se mantuvieron en bandejas de polietileno expandido a temperatura ambiente, los frutos del tratamiento 3 se almacenaron en una nevera refrigerante [Tabla 1]. Al tratamiento 2 se le realizó un recubrimiento con un biopolímero elaborado comercialmente, a partir extractos de *aliáceas* [ajo y cebolla], a una dosis de 5 cc L⁻¹; cada tratamiento contó con cuatro repeticiones.

Tabla 1. Temperatura y humedad relativa de los tratamientos poscosecha de los frutos de durazno cv Gran Jariño.

Tratamiento	Condiciones
T1	T= 17±2 °C, HR= 75±5 %
T2	T= 17±2 °C, HR= 75±5 % + recubrimiento de biopolímero
T3	T= 2±2 °C, HR= 95±5 %

Fuente: Autores.

Los frutos seleccionados fueron evaluados cada siete días, por 22 días. Los parámetros fisicoquímicos medidos para cada tratamiento fueron:

Tasa respiratoria

Se calculó siguiendo la metodología utilizada por Hernández et al. (2007), usando una cámara hermética de dos

litros en la que se ubicó un sensor infrarrojo [conectado a una LabQuest] que registró la concentración de CO₂ durante el tratamiento.

Porcentaje de pérdida de peso [%PP]

Se evaluó a partir de la Ecuación 1, teniendo como base el peso fresco de los



frutos [medido con una balanza ADAM modelo PGW2502E] con una aproximación de 0,001 g.

Pi: peso inicial de un fruto, Pf: peso obtenido por fecha de muestreo.

$$\% PP = \frac{(Pi - Pf)}{Pi} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Índice de color [IC]

Se calculó promediando el valor de tres mediciones ecuatoriales por cada fruto, con un colorímetro portátil Konica Minolta CR 10 plus, determinando los parámetros del sistema CIELAB "L", "a" y "b". L*; a* y b*. Se calculó a partir de la Ecuación 2.

$$IC = \frac{(1000 * a)}{(L * b)} \quad \text{Ecuación 2}$$

"L" indica la luminosidad, 0 es negro y 100 blanco; valores de "a" <0 indican tendencia hacia el verde y >0 hacia el rojo; "b" tiene el mismo rango, pero valores <0 indican tendencia hacia el azul y >0 hacia el amarillo.

Firmeza del fruto [N]

Se determinó mediante la utilización de un penetrómetro digital [PSE PCE-

FM-00] con aproximación 0,05 N con ayuda de un émbolo de 4 mm.

Sólidos solubles totales [SST]

Se cuantificaron a través de la medición de °Bx, con un refractómetro digital marca Hanna HI 96801 de rango 0 a 85 % [con precisión 0,1 °Bx], usando el jugo de los frutos de cada una de las repeticiones, tal como lo describe De Freitas (2007).

Acidez total titulable [ATT]

Se obtuvo siguiendo la metodología de la AOAC (1995). Para los cálculos se utilizó la Ecuación 3, reportada por González et al. (2021), y la relación de madurez [RM] por medio de la relación SST/ATT.

$$\%ATT = \frac{(A*B*C)}{D} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

A: Es el volumen de NaOH gastado, B: La normalidad del NaOH [0,097], C: Es el peso equivalente expresado en g del ácido predominante en el fruto [ácido cítrico 0,064 g meq⁻¹], D: La masa en gramos de la muestra utilizada [± 1 g].

Las características fisicoquímicas presentadas por los frutos al iniciar el experimento se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de los frutos de durazno cv. Gran jarillo al primer día del experimento (n=12, $\pm$ desviación estándar). N (newtons), g (gramos), SST (Sólidos solubles totales), ATT (Acidez total titulable)

Parámetro	Valor
Firmeza (N)	39,35 $\pm$ 1,43
Peso (g)	144,46 $\pm$ 3,29
Índice de color	4,78 $\pm$ 0,25
Relación de madurez (SST/ATT)	12,64 $\pm$ 0,34

Fuente: Autores.

Análisis estadísticos

A los datos obtenidos se les realizó pruebas de supuestos de normalidad [Prueba Shapiro Wilk], homocedasticidad [Prueba Bartlett] e independencia [Prueba Durbin Watson]. Posteriormente, se realizó la prueba paramétri-

ca de análisis de varianza y, para establecer el mejor tratamiento, se realizó la prueba de comparación múltiple de promedios de Tukey, usando un nivel de significancia de 0,05 para todas las pruebas estadísticas. Se usó como software estadístico R versión 4.2.1 y su interfase R-Studio, versión 1.3-5 del 2021.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa respiratoria

Los frutos de durazno cv Gran Jarillo mostraron una tendencia respiratoria baja en los primeros ocho días de almacenamiento y un aumento de ésta hasta los 14 días; en ese momento, los frutos que estaban a temperatura ambiente perdieron su vida útil. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento de 17 °C [25,4 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹], el tratamiento con un biopolímero [20,6 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹] y el tratamiento a 2 °C [17,3 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹]. Los duraznos tratados con este úl-

timo método alcanzaron una vida útil de 22 días [Figura 1].

Parra-Coronado et al. (2008) indican que el climaterio tiene una relación directa con la temperatura de almacenamiento de los frutos, de modo que si hay menor temperatura se inhiben los procesos respiratorios y viceversa. De acuerdo con González (2019), los frutos de durazno, variedad Fantasía, conservados entre 0 y 5 °C tienen una actividad respiratoria con un valor medio de 14,9 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, lo que se asemeja con lo encontrado en el tratamiento a bajas temperaturas

del cv Gran Jarillo. Sin embargo, Pérez (2013) reporta que, para cinco variedades de durazno evaluadas, la tasa respiratoria a 20 °C ± 2 oscila entre 61,2 y 74,5 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹; dichos resultados

son inferiores a los que se obtuvieron en este estudio, debido posiblemente a diferencias en la temperatura de almacenamiento y las características genéticas de cada cultivar.

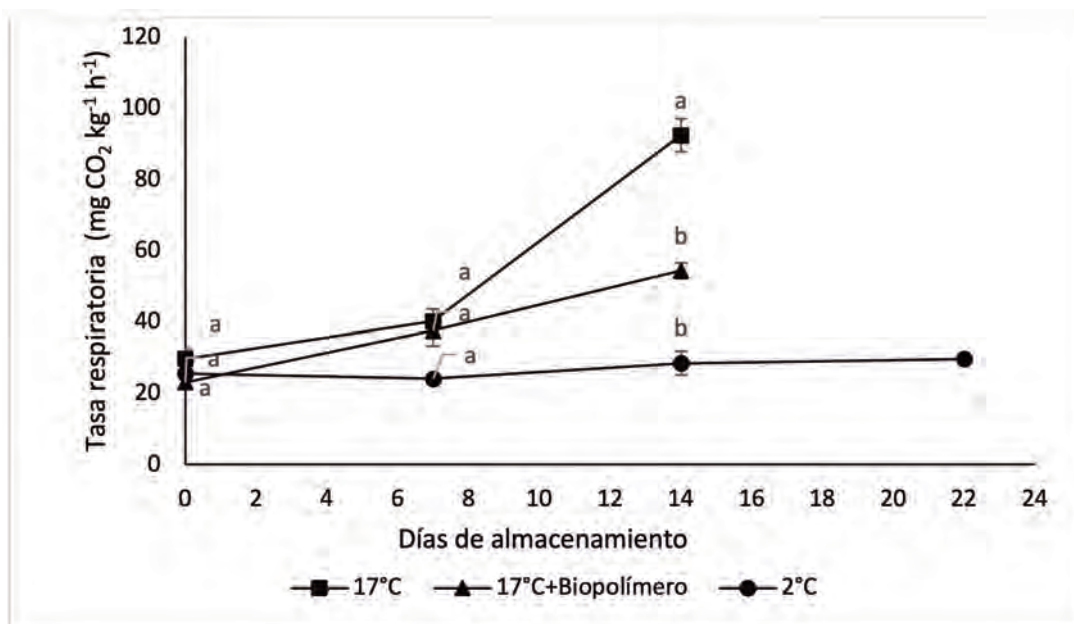


Figura 1. Comportamiento de la tasa respiratoria (mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) durante la poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo, almacenados a diferentes temperaturas. Los valores corresponden al promedio (n=4). Las barras verticales indican el error estándar. Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas [según la prueba de Tukey, p < 0,05]. **Fuente:** autores.

Pérdida de peso

El porcentaje de pérdida de peso mostró una tendencia lineal ascendente marcada en el tratamiento a 17 °C [39,1 %], con relación al tratamiento del biopolímero [28,6 %] y a los frutos almacenados a 2 °C [9,7 %] en el día 14, encontrando diferencias estadísticas significativas entre los 3 tratamientos, ya que en este día se perdió la calidad organoléptica de los duraznos tratados a temperatura ambiente [Figura 2]; al día 22 el tratamiento a 2 °C presentó

una pérdida de peso de 14.74 %. Seibert et al. (2009) encontraron que la pérdida de peso de los frutos del cv “NOS 21” [almacenados a bajas temperaturas] fue de 4 % y, a temperaturas ambiente, la pérdida de peso fue de 24,7 % a los 17 días de almacenamiento; estos resultados se asemejan a los obtenidos en la evaluación del cv Gran Jarillo.

Cabrera et al. (2018) indicaron que la pérdida de peso en los frutos de duraznos se da debido a la transpiración y es influenciada por la humedad relati-

va del ambiente en el que se almacena. La disminución de peso de entre el 5 y el 8 % en frutos de durazno ocasionan

arrugamientos fácilmente apreciables a simple vista, lo que genera la pérdida de calidad (Victoria, 2012).

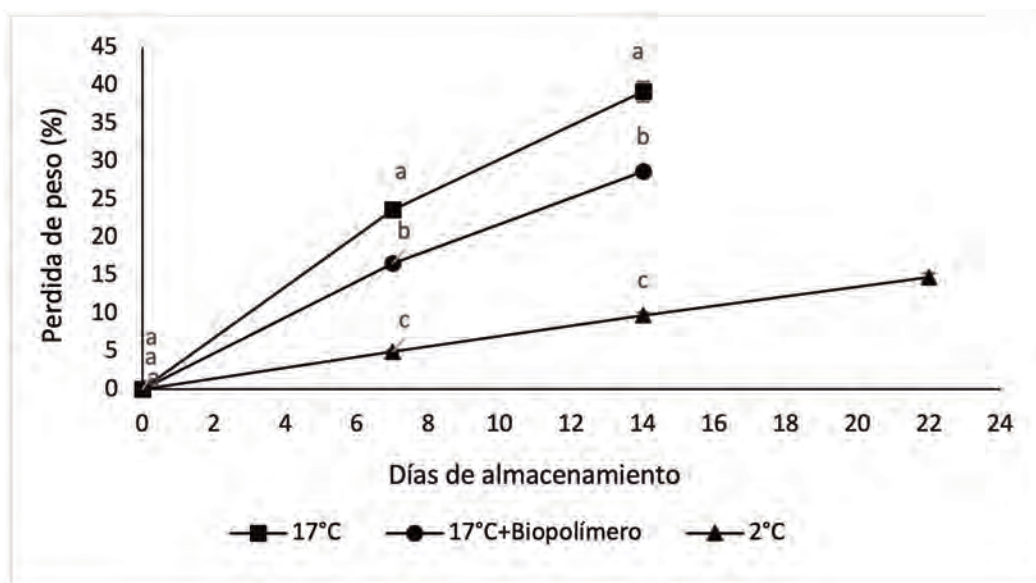


Figura 2. Comportamiento de la pérdida de peso (%) durante la poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo, almacenados a diferentes temperaturas. Los valores corresponden al promedio ($n=4$). Las barras verticales indican el error estándar. Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas [según la prueba de Tukey, $p < 0,05$]. **Fuente:** autores.

Firmeza

La firmeza, a lo largo de los días del ensayo, fue decreciente para los frutos de los 3 tratamientos. En el día 14, los duraznos sometidos al tratamiento de 17 °C presentaron un valor de 26,6 N, seguidos aquellos bajo el tratamiento de biopolímero [28,6 N], mientras que los frutos con el tratamiento a 2 °C reportaron un valor de 31,4 N, lo cual denota una mayor firmeza; sin embargo, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos [Figura 3]. Los resultados obtenidos se asemejan a otros estudios realizados para cultiva-

res de durazno. Seibert et al. (2006) indicaron que la firmeza ecuatorial de la pulpa de la variedad Sweet September se mantuvo constante en el almacenamiento, sin diferencias estadísticas significativas durante todo el periodo de evaluación.

Mariño-González et al. (2019) encontraron que los frutos de durazno cv Dorado muestran una constante reducción de la firmeza durante el almacenamiento y pierden su calidad organoléptica a los 16 días; estos valores se asemejan a los resultados del ensayo en el que, a los 14 días, la calidad de consumo se había

perdido. Medina et al. (2017) indicaron que la resistencia al ablandamiento se le atribuye a la estabilidad de las membranas ocasionada [en parte] por la formación de pectatos de calcio, los cuales le confieren la rigidez a la pared celular de los frutos. A propósito, Martínez-González et al. (2017) indicaron que en los procesos de ablandamiento

y pérdida de firmeza están implicadas diferentes enzimas tales como: poligalacturonasa, pectinmetilesterasa, β -galactosidasa, xiloglucano endotransglucosilasa y expansinas. Estas enzimas trabajan de manera interdependiente y su acción está asociada a la modificación de la pared celular en los procesos de maduración.

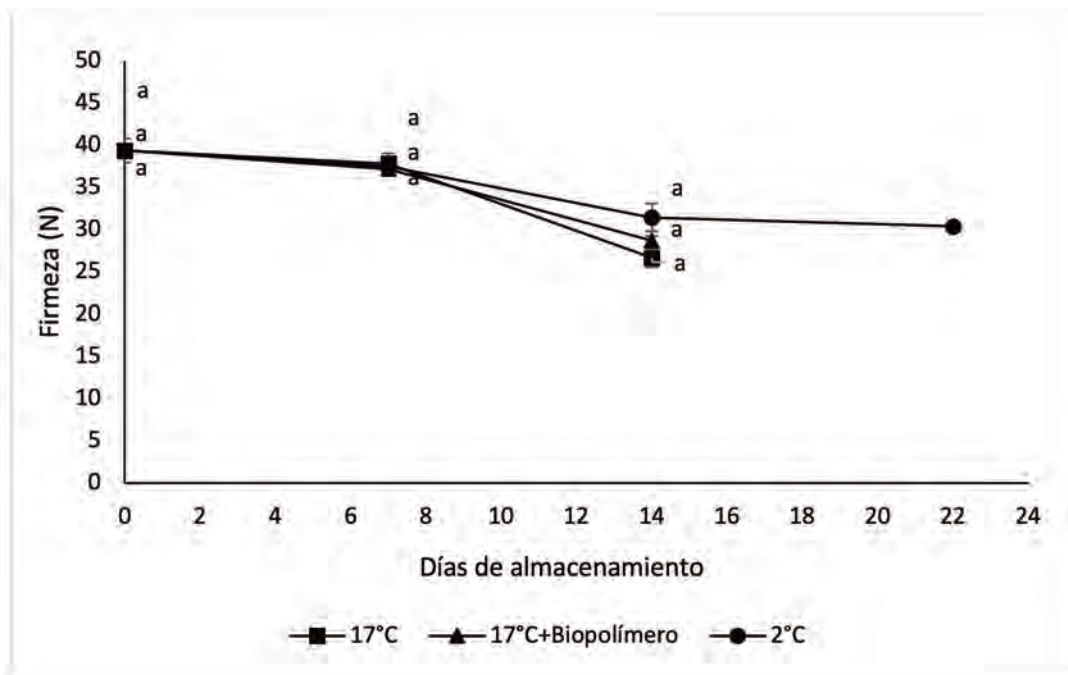


Figura 3. Comportamiento de la firmeza (N) durante la poscosecha del fruto de durazno [*Prunus pérsica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo, almacenados a diferentes temperaturas. Los valores corresponden al promedio (n=4). Las barras verticales indican el error estándar. Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas [según la prueba de Tukey, $p < 0,05$]. **Fuente:** autores.

Índice de color [IC]

El índice de color [en la zona ecuatorial externa del fruto] aumentó levemente durante su maduración, sin diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos [Figura 4]; este aumento indica cambios de color de la epidermis: de

tonalidades verdes a rojas y amarillas (Africano et al., 2016). Martínez-González et al. (2017) indicaron que entre los pigmentos encargados de dar la coloración a los frutos están los carotenoides y las antocianinas, además del etileno que actúa en la regulación de los genes de biosíntesis de antocianinas; en

ese sentido, cambios en la temperatura juegan un papel importante, ya que ambientes con temperaturas bajas favorecen la acumulación de antocianinas y, por ende, propician los cambios de color. Mariño-González et al. (2019) encontraron resultados similares en el cv dorado, en el que observaron que el ín-

dice de color de la cutícula aumentó con el tiempo de almacenamiento. Budde et al. (2000) encontraron que, para el cv de melocotón Dixiland, los tratamientos de calor provocaron un aumento en el cambio de color de los frutos, lo que se asocia a la degradación de clorofilas.

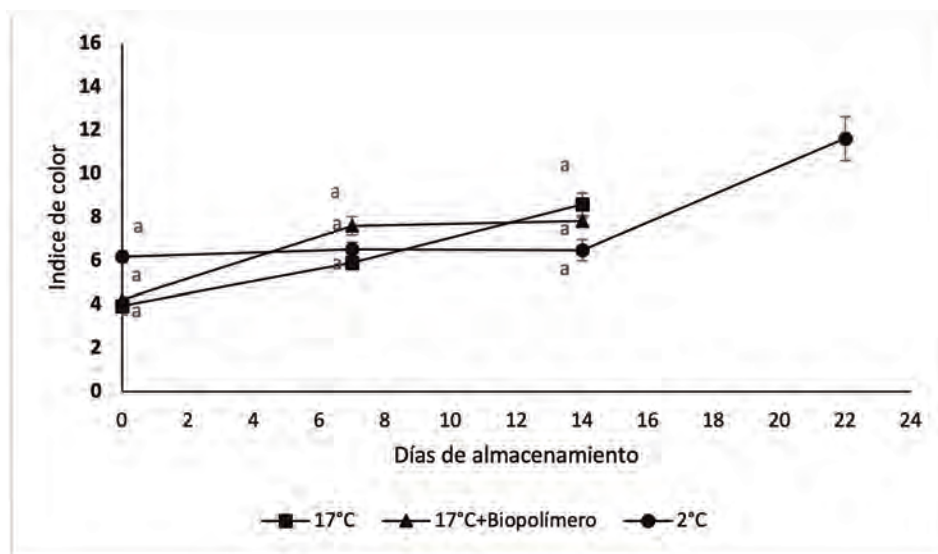


Figura 4. Comportamiento del índice de color durante la poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo, almacenados a diferentes temperaturas. Los valores corresponden al promedio (n=4). Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas [según la prueba de Tukey, $p < 0,05$]. **Fuente:** autores.

Sólidos solubles totales [SST]

Los sólidos solubles totales aumentaron, a medida que transcurrió el tiempo del ensayo, debido a la hidrólisis de los almidones y polisacáridos de la pared celular en azúcares solubles, favoreciendo el sabor dulce en los frutos y la pérdida de acidez de éstos (Africano et al., 2016). Las frutas del tratamiento a 17 °C expresaron el mayor aumento de °Bx [16,06], seguidas de aquellas bajo el

tratamiento con biopolímero [14,05] y en menor medida las que tuvieron tratamiento a 2 °C [12,2], al día 14, presentando diferencias estadísticas significativas [Figura 5A]. Resultados similares encontró García (2006), en frutos de durazno almacenados a diferentes temperaturas, quien demostró que, a altas temperaturas, la concentración de sólidos solubles era mayor que en los frutos almacenados a bajas temperaturas.

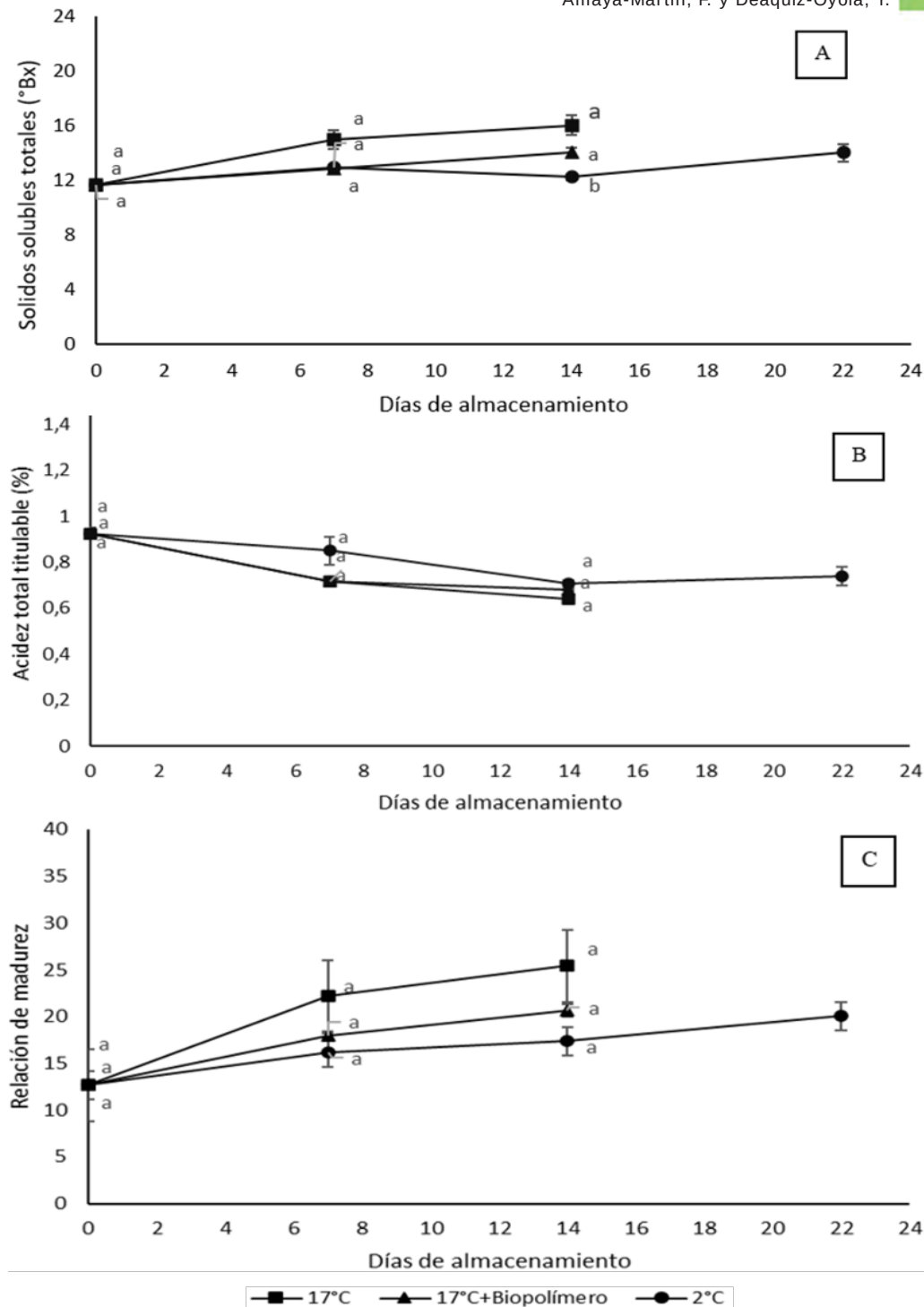


Figura 5. Comportamiento de los Sólidos Solubles Totales(A), Acidez Total Titulable (B) y Relación de madurez (C), durante la poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo, almacenados a diferentes temperaturas. Los valores corresponden al promedio (n=4). Las barras verticales indican el error estándar Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas [según la prueba de Tukey, $p < 0,05$].
Fuente: autores.

Acidez total titulable [ATT]

La ATT disminuyó durante el almacenamiento para las frutas en los tres tratamientos, al día 14 del periodo poscosecha no hubo diferencias estadísticas

significativas para ninguna de las frutas tratadas. El porcentaje más bajo de ácidos totales titulables lo obtuvieron las frutas en el tratamiento a 17 °C [0,63 %], seguidas de aquellas frutas con el tratamiento de biopolímero [0,67 %] y el

tratamiento a 2°C [0,7 %] [Figura 5B]; al día 22, las frutas bajo el último tratamiento presentaron un valor de 0,73 %. Resultados similares encontraron Cabrera et al. (2018), pues dilucidaron que los frutos almacenados por 3 semanas a temperatura ambiente tuvieron una disminución en la acidez de 0,94 % a 0,51 %. Pérez (2013) encontró que, para cuatro cultivares de durazno almacenados a temperatura ambiente [20 °C $\pm$ 2], la ATT osciló entre 0,87 % y 1,03 %.

Relación de madurez

La relación de madurez aumentó, durante el tiempo de almacenamiento, para los frutos en los tres tratamientos. La menor relación de madurez la obtuvieron los frutos almacenados a

temperatura de 2 °C [de 12,6 a 17,3]), en contraste, los frutos almacenados a temperatura de 17 °C tuvieron la mayor relación de madurez [12,6 a 25,4]; no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos [Figura 5C]. A propósito, Pérez (2013) encontró que, para frutos almacenados por cuatro semanas a temperatura ambiente, la relación SST/ATT tuvo una media de entre 12,1 y 14,7 en 4 variedades de durazno. Velázquez et al. (2022) encontraron que, para los frutos de *Physalis peruviana* L., se incrementó el índice de madurez en todas las temperaturas de almacenamiento evaluadas [4 °C, 12 °C, y 20 °C], pero en el tratamiento a menor temperatura este incremento fue menor, de forma similar a lo observado en el cv. Gran Jarillo.

4. CONCLUSIONES

Los frutos de durazno cv. Gran Jarillo, producidos en condiciones del trópico alto, presentan un comportamiento poscosecha de tipo climatérico, en el que se expresan marcados aumentos en la tasa respiratoria después de alcanzar su madurez fisiológica. Durante el proceso de maduración, los frutos presentan variaciones en el color de la epidermis, pérdida de peso, disminución de la firmeza y de la acidez total titulable, y un incremento en la concentración de sólidos solubles totales y en la relación de madurez.

Los frutos almacenados a temperatura ambiente, con y sin recubrimiento de biopolímeros, tienen una vida útil poscosecha de 14 días, después de este tiempo pierden su potencial de consumo; en contraste con el almacenamiento de los frutos a temperaturas de 2 °C, que permite aumentar la vida poscosecha de los frutos hasta por 7 días más que los almacenados a temperatura ambiente. Los recubrimientos con biopolímeros a los frutos no aumentan su vida útil y su efecto no es significativo a temperatura ambiente.



CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Jose Fabian Amaya Martin: evaluación de laboratorio, análisis de datos, conceptualización y escritura del borrador original.

Yuli Deaquiz-Oyola: metodología, evaluación de laboratorio, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC] por permitir los espacios para la realización de esta investigación, al grupo de investigación GIP-SO de la facultad de ciencias agropecuarias y a todos los colegas que pusieron su grano de arena en la consecución de los resultados.

LITERATURA CITADA

- Africano, K. L., Almanza-Merchán, P. J. y Balaguera-López, H. E. (2015). Fisiología y bioquímica de la maduración del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch]. Una Revisión. *Revista Colombiana de ciencias hortícolas*, 9(1) 161-172. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3754>
- Africano, K. L., Almanza-Merchán, P. J., Criollo, H., Herrera, A. y Balaguera-López, H. E. (2016). Caracterización poscosecha del fruto de durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Dorado producido bajo condiciones de trópico alto. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 10(2), 232-240. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5212>
- AOAC. (1995). Official methods of analysis 16th Ed. Association of official analytical chemists. Washington DC, USA.
- Balaguera-López, H., Salamanca-Gutiérrez, F., García, J. y Herrera-Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 8(2), 302-313. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3222>
- Budde, C. O., Blanco, M. P. & Altube, H. A. (2000). Fruit firmness, ground color and ethylene evolution in two cultivars of peach (*Prunus persica* L. Batsch). *AgriScientia*, 17, 69-72. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/2633>
- Cabrera, D., Vásquez, G., Jiménez, J. y Mendoza, J. (2018). Efectos del alma-

- cenamiento a medio ambiente en la calidad del durazno (*Prunus persica* L.). *Big Bang Faustiniiano*, 7(2), 11-16. <https://doi.org/10.51431/bbf.v7i2.411>
- Cancino, S. E., Cancino, G. O. y Quevedo, E. (2018). Modelo explicativo de la rentabilidad económica del cultivo de durazno en la provincia de Pamplona, Colombia. *Económicas CUC*, 39(2), 63-76. <http://dx.doi.org/10.17981/econcuc.39.2.2018.04>
- Cancino, S. E., Cancino, G. O. y Quevedo, E. (2019). Factores determinantes de la rentabilidad económica del cultivo de durazno en la Provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia. *Espacios*, 40(13), 18. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n13/a19v40n13p18.pdf>
- De Freitas, T., Sautter, C., Silveira, A. C. y Brackmann, A. (2007). Evaluación del efecto de la aplicación de 1-mcp y la conservación en atmósfera controlada sobre la calidad poscosecha de duraznos en dos estados de madurez. *Agrociencia*, 11(1), 67-72. <http://www.acuedi.org/doc/5756/evaluacin-del-efecto-de-la-aplicacin-de-1-mcp-y-la-conservacin-en-atmosfera-controlada-sobre-la-calidad-poscosecha-de-duraznos-en-dos-estados-de-madurez.html>
- Fernández, R., Barriobero, J., Pérez, M. y Ghidelli, C. (2018). Incorporación de un extracto proteico de microalgas en un recubrimiento comestible para la conservación de la pera cv. [Conferencia]. *Frutas y hortalizas. Innovaciones en pre y postcosecha*.
- García, A. D. (2006). Caracterización física y química de duraznos (*Prunus persica* (L.) Batsch) y efectividad de la refrigeración comercial en frutos acondicionados. *Bioagro*, 18(2), 115-121. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85718206>
- González, A., Granados, A., Ramírez, R., Rúa, E. y Higuera, A. (2020). Sistemas de irrigación por bombeo para cultivos de durazno en el municipio de Sotaquirá departamento de Boyacá. *Ingenio Magno*, 11(1), 75-87. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2050>
- González, V. D. (2019). *Potencial de almacenamiento y susceptibilidad al daño por frío en frutos de nectarinas y durazno* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibrí. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29885>
- González, C., Pulido, V., Pantoja, D. y Portilla, F. (2021). Efecto de un recubrimiento comestible comercial sobre las características fisicoquímicas de frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.) bajo condiciones de almacenamiento. *Información tecnológica*, 32(3), 69-78. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000300069>
- Graterol, K. Y., Pérez, M. y Zambrano, J. E. (2012). Efecto de diferentes temperaturas de almacenamiento sobre la calidad física en dos cultivares de durazno (*Prunus persica* L.). *Academia*,



- 13(31). 79-93. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39870>
- Hernández, M. S., Barrera, J. A., Fernández-Trujillo, J. P., Carrillo, M. P. y Bardales, X. L. (2007). *Manual de manejo de cosecha y postcosecha de frutos de arazá (Eugenia stipitata Mc Vaught) en la amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de investigación científica SINCHI.
- Mariño-González, L. A., Buitrago, C. M., Balaguera, H. E. & Martínez-Quintero, E. (2019). Effect of 1-methylcyclopropene and ethylene on the physiology of peach fruits (*Prunus persica* L.) cv. Dorado during storage. *Revista Colombiana de ciencias hortícolas*, 13(1), 46-54. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.8543>
- Martínez-González, M. E., Balois, R., Alia-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. y López-Guzmán, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Medina, O. A., Rincón, A. y Rubiano, V. (2017). Comportamiento poscosecha de frutos de ciruela (*Prunus salicina* Lindl.) en estado madurez comercial con tres dosis de CaCl₂. *Revista de la asociación colombiana de ciencia y tecnología de alimentos*, 25(41), 3-14. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/445>
- Meléndez, I., Quijano, A. y Yáñez, L. F. (2018). Daño genotóxico inducido por extractos de durazno, *Prunus persica* cultivados en Cácora Norte de Santander. *Ciencia en Desarrollo*, 9(2), 47-55. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/8706
- Molano-Díaz, J. M., Reyes-Medina, A. J. y Álvarez-Herrera, J. G. (2022). El 1-metilciclopropeno y la temperatura de almacenamiento en la poscosecha de lulo (*Solanum quitoense* Lam). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 20(2), 60-75. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1815>
- Parra-Coronado, A., Hernández, J. y Camacho-Tamayo, J. (2008). Estudio fisiológico poscosecha y evaluación de la calidad de la ciruela variedad Horvin (*Prunus domestica* L.) bajo tres condiciones de almacenamiento refrigerado. *Ingeniería e investigación*, 28(1), 99-104. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/28883>
- Pérez, E. (2013). Evaluación de la maduración y calidad del fruto de cinco nuevos cultivares de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) de bajo requerimiento de frío [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. Colpos Digital. <http://hdl.handle.net/10521/1954>
- Puentes, G. A. (2006). Sistema de producción de frutales caducifolios en el departamento de Boyacá. *Equidad y Desarrollo*, 1(5), 39-46. <https://doi.org/10.19052/ed.344>

- Saavedra, G., Borrás, L. y Cala, D. (2020). Ensilaje liquido de residuos de durazno (*Prunus pérsica* L) como alternativa para la alimentación animal. *Ciencia en Desarrollo*, 11(1), 33-42. <https://doi.org/10.19053/01217488.v11.n1.2020.8960>
- Seibert, E., González, S., Luchsinger, L., Orellana, A. y Bender, R. J. (2006). Efecto del almacenaje refrigerado sobre la calidad y el desarrollo de daños por frío en duraznos 'Sweet September'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7 (2), 131-141. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81370209.pdf>
- Seibert, E., González, S., Orellana, A., Luchsinger, L. y Bender, R. J. (2009). Calidad postcosecha y daños por frío en duraznos 'NOS 21'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 10(1), 51-60. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81315095008.pdf>
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L. y Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21(2), 30-42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Torres-León, C., Vicente, A. A., Flores-López, M. L., Rojas, R., Serna-Cock, L., Alvarez-Pérez, O. B. & Aguilar, C. N. (2018). Edible Films and Coatings Based on Mango (Var. Ataulfo) by-Products to Improve Gas Transfer Rate of Peach. *LWT: Food, Science and Technology*, 97, 624-631. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057>.
- Velázquez, F. F., Rafael-Delgado, D. A. y Ramírez-Tixe, E. E. (2022). Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento en los parámetros físico-químicos y de color de frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana*). *Agropecuaria Science and Biotechnology*, 2(1), 29-38. <http://dx.doi.org/10.25127/riagrop.20221.782>
- Victoria, M. G. (2012). Construcción y evaluación de un prototipo para estudiar en poscosecha, la aplicación de esfuerzos dinámicos en durazno [Tesis de maestría, Colegio de posgrados] Archivo digital. http://colposdigital.colpos.mx:8080/js-pui/bitstream/10521/783/1/Victoria_Escamilla_MG_MC_Fruticultura_2012.pdf

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: 10/10/2022

Fecha de aceptado: 14/03/2023

DOI: 10.22490/21456453.6304



DETERMINANTES DE LA POBREZA MULTIDIMENSIONAL EN PRODUCTORES DE UCHUVA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO (COLOMBIA)

DETERMINING FACTORS OF MULTIDIMENSIONAL POVERTY IN CAPE GOOSEBERRY PRODUCERS IN THE DEPARTMENT OF NARIÑO (COLOMBIA)

Housseman Steven Ramos-Zambrano. hramos@agrosavia.co
Magíster en Finanzas, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
[Agrosavia]. Obonuco, Colombia.

Lizeth Tatiana Luna-Mancilla. lluna@agrosavia.co
Magíster en Desarrollo Económico (C), Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria [Agrosavia]. Obonuco, Colombia.

Gissela Fernanda Guerrero-Diaz. gfguerrero@agrosavia.co
Especialista en Gerencia De Proyectos, Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria [Agrosavia]. Obonuco, Colombia.

David Rodríguez-Puertas. dpuertas@agrosavia.co
Magíster en Ciencias Agrarias, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
[Agrosavia]. Obonuco, Colombia.

Jose Manuel Campo-Quesada. jcampoq@agrosavia.co
Magíster en Agroforestería Tropical (C), Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria [Agrosavia]. Obonuco, Colombia.

Citación: Ramos-Zambrano, H., Luna-Mancilla, L., Guerrero-Diaz, G., Rodríguez-Puertas, D. y Campo-Quesada, J. (2023). Determinantes de la pobreza multidimensional en productores de uchuva del departamento de Nariño (Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 47 - 71.
<https://doi.org/10.22490/21456453.6304>

RESUMEN

Contextualización: Colombia es el principal productor y exportador de uchuva [*Physalis peruviana* L.] en el mundo y Nariño es el cuarto departamento productor en orden de importancia. Este cultivo se ha convertido en una fuente significativa de ingresos para pequeños productores que basan su economía en la agricultura a pequeña escala, caracterizada por contar con mano de obra familiar. El presente estudio se desarrolló en las zonas sur [Exprovincia de Obando] y norte [municipio de San Pablo] del departamento, considerados como nichos productivos de la uchuva.

Vacío de la investigación: a nivel nacional los estudios de pobreza rural han sido escasos, a pesar de su importancia en la definición de políticas públicas para la mejora en la calidad de vida de los pobladores; más aún si se tienen en cuenta las zonas rurales dispersas en donde se producen una amplia variedad de productos agropecuarios, incluidos los denominados sistemas productivos promisorios como el caso de la uchuva.

Propósito de estudio: analizar las condiciones socioeconómicas y los determinantes de pobreza que inciden en la calidad de vida de los productores de uchuva del departamento de Nariño.

Metodología: se diseñó una encuesta de caracterización técnica y socioeco-

nómica, aplicada entre 2019 y 2020, a 133 productores de uchuva. A partir de la información obtenida, se estimaron indicadores de pobreza por NBI [Necesidades Básicas Insatisfechas], IPM [Índice de Pobreza Multidimensional] y sus determinantes, a partir de un modelo econométrico *Logit*.

Resultados y conclusiones: se identificó la existencia de un 50,4 % de hogares en pobreza por NBI y 34,54% por IPM. Además, 4,6 veces de probabilidad de ser pobre cuando predomina la dependencia económica [medida económica que recae sobre la porción de la población productiva de un hogar]; 2,08 veces menos si existe mayor nivel educacional y 1,31 veces menos al tener mayor área en la finca. Finalmente, se evidenció la importancia de formular políticas diferenciales entre las zonas urbanas y rurales orientadas a la reducción de la pobreza, en particular a través del acceso a la educación y a procesos de fortalecimiento de capacidades técnicas, y también garantizando servicios básicos de calidad, formalización del empleo y distribución equitativa de la tierra.

Palabras Claves: indicadores socioeconómicos, modelo económico, calidad de vida, población rural.



ABSTRACT

Contextualization: Colombia is the main producer and exporter of cape gooseberry [*Physalis peruviana* L.] in the world and Nariño is the fourth most important producer department. This crop has become a significant source of income for small producers who base their economy on small-scale agriculture, characterized by family labor. This study was conducted in the southern [former province of Obando] and northern [municipality of San Pablo] areas of the department, considered productive niches for cape gooseberry.

Knowledge gap: At the national level, studies on rural poverty have been scarce despite their importance for the definition of public policies to improve the quality of life of the population, especially considering dispersed rural areas where a wide variety of agricultural products are produced, including the so-called promising production systems such as cape gooseberry.

Purpose of the study: Analyze the socioeconomic conditions and the determinants of poverty that affect the quality of life of cape gooseberry producers in the department of Nariño.

Methodology: A technical and socioeconomic characterization survey was

designed and applied, between 2019 and 2020, to 133 cape gooseberry producers. Based on the information obtained, poverty indicators by UBN [Unsatisfied Basic Needs], MPI [Multidimensional Poverty Index] and their determinants were estimated, using a Logit econometric model.

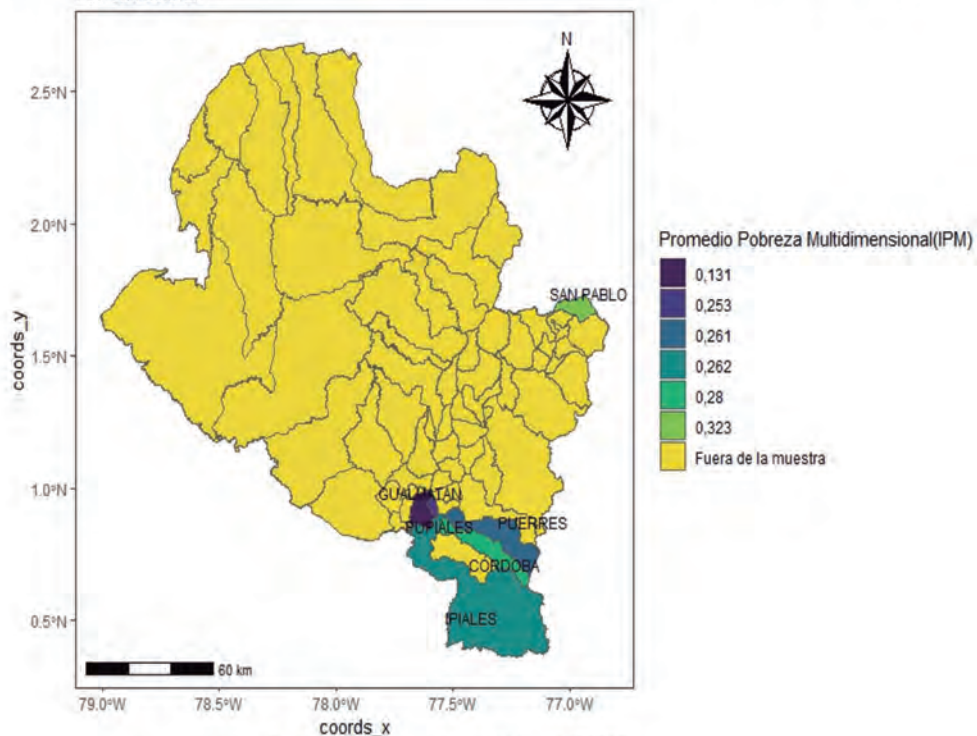
Results and conclusions: The existence of 50.4% of family units in poverty were identified by UBN and 34.54% by MPI. Besides, there is a probability of 4.6 times of being poor when economic dependence predominates [economic burden that relies on the productive population of a household]; 2.08 times less when there is a higher level of education and 1.31 times less when there is more land in the farm. Finally, it was identified the importance of formulating differentiated policies between urban and rural areas aimed at poverty reduction, particularly through access to education and technical capacity building processes, and guaranteeing quality basic services, formalization of employment and equitable land distribution.

Keywords: socioeconomic indicators, economic model, quality of life, rural population.

RESUMEN GRÁFICO

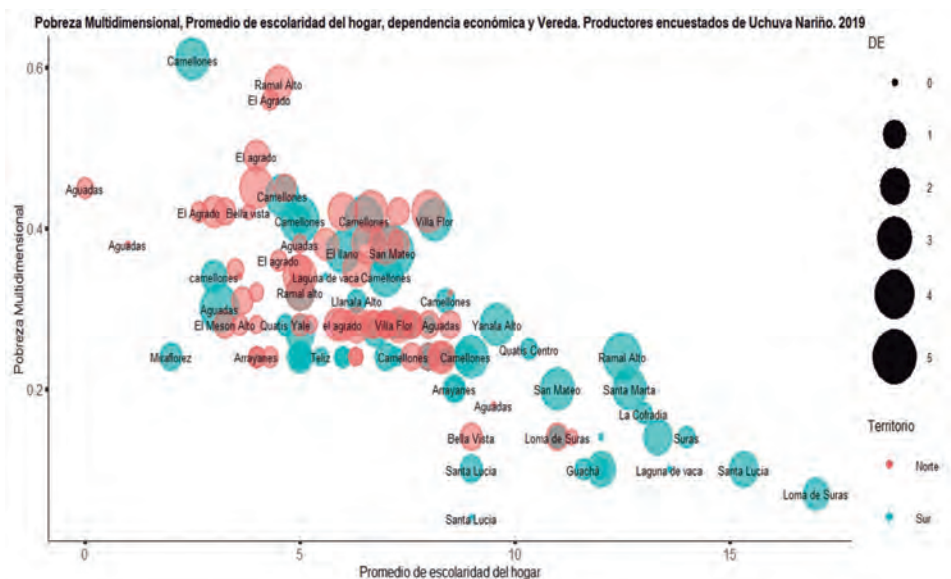
Ranking de Pobreza Multidimensional de los municipios de productores de Uchuva encuestados en Nariño, 2019

Por: Los autores



Fuente: Encuesta a productores de Uchuva -AGROSAVIA

Fuente: Autores.



DE: Dependencia económica. Fuente: Autores



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de Colombia, la pobreza ha sido una de las principales barreras significativas para mantener la calidad de vida de las comunidades rurales, debido a problemas que incluyen la distribución desigual de la tierra, inequidad de ingresos, las disparidades regionales y la división urbano-rural (Chacón, et al., 2021). Estos y otros factores han contribuido al rezago social del campesinado colombiano, como resultado de dinámicas estructurales a nivel económico, político, social e incluso cultural (López, 2019).

Algunas estadísticas que demuestran lo descrito se presentan para los años 2019 y 2020, en los que el índice de pobreza multidimensional [IPM] en Colombia pasó de 17,5% a 18,1%. Por su parte, el IPM rural disperso aumentó del 34,5% a 37,1%. Este incremento es atribuido a la coyuntura económica por COVID-19, que implicó menores ingresos para los productores y desmejoras en sus condiciones de vida (Mejía, 2021). Se resalta que, en las zonas rurales, estas cifras superan en forma significativa las presentadas en los indicadores nacionales y urbanos.

En ese sentido, a pesar de su importancia, en Colombia las investigaciones de pobreza rural han sido limitadas a análisis generales del contexto nacional, entre algunos de ellos los de Núñez y Ramírez (2002), Ramírez y Rodríguez, (2002) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2015a), entre otros.

Estos estudios han demostrado en sus estimaciones que la tasa de mayor incidencia de la pobreza o tasa de recuento ha presentado una mayor afectación en las zonas dispersas, dada la ausencia de servicios públicos y acceso a infraestructura y educación, lo que hace que los niveles de calidad de vida de las personas se vean comprometidos.

No obstante, los estudios de pobreza rural en relación con sistemas productivos agropecuarios [como el caso de la uchuva] aún siguen siendo escasos, a pesar de su importancia económica en diversas regiones del país como Boyacá, Cundinamarca, Antioquía, Nariño, entre otros. En Colombia, por ejemplo, la producción de uchuva representa una fuente importante de ingresos para pequeños productores debido a su potencial comercial en el mercado internacional de Europa y Estados Unidos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura], 2020), lo que le ha permitido convertirse en el primer exportador a nivel mundial (Ruiz, et al., 2018). En Nariño, el sistema productivo en mención es desarrollado bajo una estructura de agricultura familiar que encuentra en su accionar una alternativa económica relevante al ser una especie altamente productiva.

Bajo ese contexto, vale la pena mencionar que las estimaciones de pobreza han motivado el empleo de diversas metodologías para el diseño de políticas públicas más eficientes, considerando

la influencia de estas en los medios de vida de los pobladores. Ante ello, autores como Sen (2000), Sánchez et al. (2020) y Boltvinik (2009) argumentan la necesidad de medir la pobreza no solo desde el enfoque monetario, sino involucrando métodos integrales que contemplen las privaciones de los medios de vida necesarios para desempeñarse en una sociedad y las cuales no pueden suplirse solo con el ingreso. Lo anterior aunado a la necesidad de generar conocimiento para el diseño de políticas de desarrollo rural que permitan tomar mejores decisiones en importantes sistemas productivos, como el caso de la uchuva, fueron los factores que impulsaron la elaboración del presente artículo. Los principa-

les objetivos de la investigación fueron: i) analizar las condiciones socioeconómicas de 133 productores del departamento de Nariño y ii) definir los niveles y determinantes de pobreza que inciden en la calidad de vida de los productores de uchuva. Para ello, se presentan las mediciones y análisis de indicadores multidimensionales, como el NBI y el IPM, de uso común a nivel internacional y recomendados por la CEPAL, pero ajustados al caso particular de los productores de uchuva de Nariño; además de una estimación econométrica sobre el impacto de algunas variables en la determinación de la pobreza y, finalmente, conclusiones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La investigación se desarrolló en municipios productores de uchuva del departamento de Nariño, ubicados entre los 2373 y los 3066 m s. n. m., en la zona sur y norte; la zona sur está integrada por los municipios de Ipiales, Pupiales, Puerres, Gualmatán y Córdoba, y la zona norte conformada por el municipio de San Pablo [Figura 1]. Estos municipios son los más relevantes con relación al área de siembra y las unidades productoras de uchuva (Unidad de Planeación Rural Agropecuario, 2019; Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño, 2018).



A. Ubicación de Colombia en América del Sur; B. Ubicación del departamento de Nariño en Colombia

Figura 1. Distribución espacial de encuestas aplicadas a hogares productores de uchuva en el departamento de Nariño, 2019. **Fuente:** autores.

2.2. Recolección de información

Se diseñó una encuesta con 228 preguntas [subdividida en seis secciones], aplicada a 133 productores de uchuva del departamento de Nariño [Figura 2] identificados a partir de un muestreo de tipo no probabilístico, bajo la técnica

ca “bola de nieve” (Ortega et al., 2017). El instrumento recolectó la siguiente información: i) identificación general y condiciones de vida, ii) componente social, iii) productividad y manejo agrícola, iv) transformación y comercialización, v) componente económico y vi) componente asociativo.

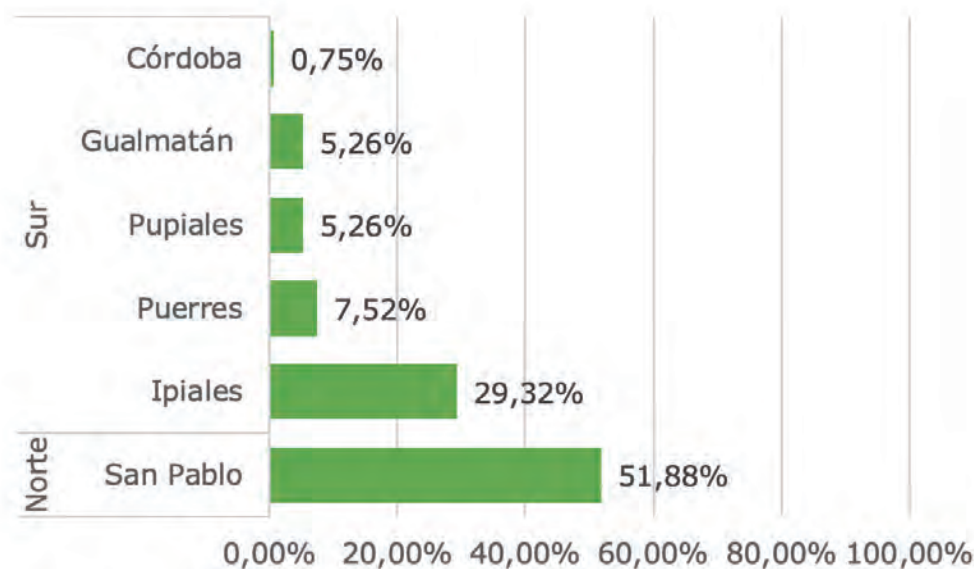


Figura 2. Distribución por zona de encuestas realizadas a productores de uchuva en el departamento de Nariño, 2019. **Fuente:** autores.

2.3. Medición de la pobreza

Para el caso de estudio se realizó la medición del IPM y NBI como medidas complementarias al análisis de la pobreza, pues ambas abordan el problema desde ópticas multidimensionales que van más allá de las medidas monetarias; permitiendo obtener así una comprensión más completa e integral de la pobreza, así como identificar áreas prioritarias de intervención. Cada indicador posee sus propias ventajas y

limitaciones, pero su estudio conjunto permite a los responsables de las políticas públicas desarrollar estrategias con enfoque integral para abordar la pobreza de manera efectiva, aun cuando cada método arroje resultados diferentes dependiendo de la metodología, el contexto y la información disponible.

El análisis de pobreza contempló la estimación del índice de pobreza multidimensional [IPM] (Lora y Prada, 2016; Departamento Administrativo Nacio-

nal de Estadística [DANE], 2018; Alkire & Foster, 2011). En ese sentido, se contemplaron trece de las quince variables descritas por Lora & Prada (2016) y el DANE (2018) con la exclusión de las siguientes: barrera de acceso a servicios para el cuidado de la primera infancia y barrera de acceso a servicio de salud, debido a que la encuesta no formuló

preguntas sobre estos aspectos [Tabla 1]. En este estudio se considera que un hogar está en condición de pobreza si cuenta con privaciones en al menos tres de las variables incluidas en el análisis, siempre que la sumatoria de los pesos ponderados fuera igual o superior al valor K [29 % del total de privaciones].

Tabla 1. Criterios para determinar la pobreza multidimensional en productores de Uchuva en el departamento de Nariño, 2019

Dimensión y ponderación	Variable	Ponderación por variable
Condiciones educativas del hogar (0,2)	Analfabetismo	0,10
	Bajo logro educativo	0,10
Condiciones de la niñez y juventud (0,2)	Inasistencia escolar	0,067
	Rezago escolar	0,067
	Trabajo infantil	0,07
Trabajo (0,2)	Dependencia económica*	0,10
	Trabajo informal	0,10
Salud (0,2)	Sin aseguramiento a salud	0,20
Condiciones de la vivienda y acceso a servicios públicos domiciliarios (0,2)	Sin acceso a fuentes de agua mejorada	0,04
	Inadecuada eliminación de excretas	0,04
	Material inadecuado de pisos	0,04
	Material inadecuado de paredes exteriores	0,04
	Hacinamiento crítico	0,04

*Para los datos nacionales y departamentales, el DANE calcula el desempleo de larga duración como una privación de la dimensión «trabajo». En reemplazo, esta investigación calculó el índice de dependencia económica [representado en la relación entre las personas que no realizan aportes económicos al hogar, frente a los que sí lo hacen] $DE = \frac{\text{Inactivos} + \text{Desempleados} + \text{Menores de 14 años}}{\text{Empleados} + \text{Independientes}}$. **Fuente:** autores.

Con el propósito de establecer comparaciones con los indicadores a nivel departamental y nacional, a partir de la clasificación de hogares entre pobres o no pobres [según el valor K], se calculó la tasa de incidencia simple o de recuento $H = q/n$, en la que q es el número de individuos que pertenecen a los

hogares que padecen privaciones en, por lo menos, K dimensiones; es decir, aquellos considerados como pobres, y n es la población total (Angulo et al., 2011). Por su parte, para conocer la severidad del problema, se estimó la tasa de incidencia ajustada correspondiente a $M_0 = A * H$, en la que “H” será la tasa

de incidencia y “A” el promedio de la proporción de las privaciones que tienen las personas que son consideradas como pobres multidimensionales (Lora y Prada, 2016). El análisis de NBI involucró los criterios de vivienda inadecuada, vivienda sin servicios básicos, alta dependencia económica, hacinamiento y ausentismo escolar [Tabla 2].

Este indicador oscilará entre cero para peores condiciones y cien para mejores condiciones, categorizando como pobres aquellos hogares que cuentan con al menos una necesidad insatisfecha, y en condición de miseria aquellos hogares que presentan dos o más necesidades insatisfechas (Feres y Mancero, 2001).

Tabla 2. Criterios para determinar la pobreza, según NBI, en productores de Uchuva en el departamento de Nariño, 2019

Necesidades Básicas	Dimensiones	Variables Censales
Acceso a vivienda	Calidad de la vivienda	Materiales de construcción utilizados en piso, paredes y techo
	Hacinamiento	i) Número de personas en el hogar ii) Número de cuartos de la vivienda
Acceso a servicios sanitarios	Disponibilidad de agua potable	Acceso a servicio de acueducto
	Tipo de sistema de eliminación de excretas	Acceso a servicio de alcantarillado
Acceso a educación	Asistencia de los niños en edad escolar a un establecimiento educativo	Promedio de escolaridad del hogar
Capacidad económica	Probabilidad de insuficiencia de ingresos del hogar	i) Dependencia Económica ii) Dependencia Demográfica

Fuente: autores a partir de Feres y Mancero (2001).

2.4. Modelo de regresión logística [Logit]

El análisis econométrico se estimó de un modelo probabilístico de regresión logística binomial [Logit] [ecuación 1], basado en el método de máxima verosimilitud [ecuación 2], realizado en el programa estadístico SPSS, versión 25 [fabricado por IBM Corp.]. La variable dependiente dicotómica fue el IPM, en función de regresoras como depen-

dencia económica, promedio de escolaridad del hogar, escolaridad del jefe de hogar y área de finca; las variables seleccionadas fueron estimadas y seleccionadas de las metodologías de pobreza NBI e IPM. Por otra parte, la estimación de la probabilidad de la categoría “no pobre” se interpretó de las tasas de *odds ratios* de las variables significativas. La bondad de ajuste, por su parte, se validó con la razón de verosimilitud y R^2 de Nagelkerke.



$$P(Y = 1|DE_i, PEH_i, JH_i, AF_i) = \alpha_0 + \beta_1 DE_i - \beta_2 PEH_i - \beta_3 EJH_{3i} - \beta_4 AF_i + \mu_i$$

$$P(Y = 1|DE_i, PEH_i, JH_i, AF_i) = \frac{e^{(\alpha_0 + \beta_1 DE_i - \beta_2 PEH_i - \beta_3 EJH_{3i} - \beta_4 AF_i)}}{1 + e^{(\alpha_0 + \beta_1 DE_i - \beta_2 PEH_i - \beta_3 EJH_{3i} - \beta_4 AF_i)}} \quad [1]$$

$P(Y = 1|DE_i, PEH_i, JH_i, AF_i)$: Probabilidad de ser pobre (0: No pobre; 1: Pobre)

α_0 : Parámetro autónomo

DE_i : Variable dicotómica de dependencia económica (0: No dependencia; 1: Dependencia)

PEH_i : Variable continua de promedio de escolaridad del hogar

EJH_i : Variable continua de escolaridad del jefe de hogar

AF_i : Variable continua de área de la finca

μ_i : Término de error

e: Número de Euler correspondiente a 2,71828 aproximadamente

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: Parámetros de impacto que mide la incidencia sobre cada una

$$Max_{\beta} l(y|X) = Max_{\beta} \left(\prod_{i=1}^n \ln [\Lambda \beta^T X_i^T] \right) \quad [2]$$

ln: logaritmo natural

$l(y|X)$: logaritmo función de verosimilitud.

A nivel general, el modelo se validó a partir de la prueba de calibración de Hosmer & Lemeshow (Fagerland & Hosmer, 2017), en la que el valor crítico de referencia $[p]$ debe superar el 5 % para determinar su bondad de ajuste, además de la significancia de las variables seleccionadas $[p < 0,05]$. La exclusión [en el modelo] de variables como etnia, zona, edad del jefe de hogar, sexo

del jefe de hogar, número de miembros del hogar, ingresos brutos, créditos, ahorro, pertenencia a grupos asociativos, diversificación de cultivos, tecnificación y condiciones adecuadas del hogar se realizó dada su baja representatividad estadística $[p > 0,05]$. Adicional a lo descrito se tuvo en cuenta el nivel predictivo, el cual debe superar el 75 %, de acuerdo con el corte de especificidad



y sensibilidad propuesto por Costa et al. (2012). La capacidad discriminante de la regresión logística se evaluó con la probabilidad de la estadística ROC [Característica operativa del receptor, por sus siglas en inglés] con un valor que oscila entre cero [discriminación imperfecta] y uno [discriminación perfecta]. Finalmente, para evitar errores en los coeficientes y estimaciones sobrevaloradas en los *odds ratios*, a causa de problemas de multicolinealidad, se analizó cada variable para estimar un promedio de la *Variance Inflation Factor* [VIF] y tolerancia [1/VIF]. Es decir, se considera la existencia de un modelo problemático cuando el VIF es mayor que diez y la tolerancia mayor a uno.

2.5. Medición de distribución de equidad en área de finca

Teniendo en cuenta que la posesión de tierra ha constituido, en el sector rural de Colombia, un factor importante en la decisión de políticas agropecuarias para la mitigación de la pobreza al constituirse en un factor de productividad y de generación de ingresos, se analizó con la adecuación del IG [índice de Gini] respecto a la disponibilidad del área de la finca de cada productor. El índice cuantificó el nivel de inequidad de la distribución de tierra en la población; un valor igual a cero indicará el máximo de equidad, mientras que valores cercanos a uno señalan mayor desigualdad (Cárdenas, 2007) (ecuación 3).

$$IG = 1 - \Sigma[(Y_{i-1} - Y_i) * (N_i - N_{i-1})] \quad [3]$$

IG: Índice de Gini

Y_i: Proporción acumulada de la variable área de la finca hasta el grupo i

N_i: Proporción acumulada de la población hasta el grupo i.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Índice de necesidades básicas insatisfechas [NBI].

El 50,4 % [n = 67] de los hogares se clasificaron con NBI; de los cuales, 89,6% se encontraron en pobreza y 10,4 % en

miseria. 60 de las familias encuestadas se afectaron con la carencia de una sola necesidad, principalmente debido a la ausencia de servicios públicos básicos [acueducto y alcantarillado] [Tabla 2].

Tabla 2. Categorización del NBI para los hogares de productores de uchuva en el departamento de Nariño, 2019

Categorización	Total de hogares	%
HOGARES CON NBI	67	100 %
Hogares en pobreza	60	89,6 %
Hogares en miseria	7	10,4 %
HOGARES CON UN SOLO INDICADOR	60	89,6 %
Hogares en vivienda inadecuada	5	7,5 %
H. en viviendas sin servicios básicos	50	74,6 %
H. con hacinamiento	3	4,5 %
H. con alta dependencia económica	1	1,5 %
H. con ausentismo escolar	1	1,5 %
HOGARES CON DOS INDICADORES	8	9,0 %
Hogares sin servicios básicos-Ausentismo escolar	1	1,5 %
H. sin servicios básicos-Hacinamiento	2	3,0 %
H. sin servicios básicos-Vivienda inadecuada	3	4,5 %
HOGARES CON TRES INDICADORES	1	1,4 %
Ausentismo escolar -Servicios inadecuados- Vivienda inadecuada	1	1,4 %

Fuente: autores.

Estos resultados muestran una marcada diferencia con los presentados en un estudio del 2018 por el DANE (2021a) dado que, para el 2018, el NBI nacional exhibió un 14,28 % de hogares bajo esta situación; de los cuales, 3,80 % se encontraron en miseria. La zona rural dispersa presentó, por su parte, un 30,48 % de hogares con NBI, en el que se identificó al 10,64 % de ellos en condiciones de miseria. Por otra parte, la alta concentración de hogares productores de uchuva sin acceso a servicios básicos reafirma lo planteado por Ass-

mus (2017), porque, según el autor, la imposibilidad de acceder a servicios de calidad como el agua potable de acueducto y otros servicios básicos aumenta los niveles de pobreza y, al mismo tiempo, impide la superación de esta.

3.2. Índice de pobreza multidimensional [IPM].

Para el caso de estudio [Figura 3] se identificó que el 34,54 % de hogares encuestados son pobres, en referencia a un valor K del 0,29 [$K = 3,81 / 13$].

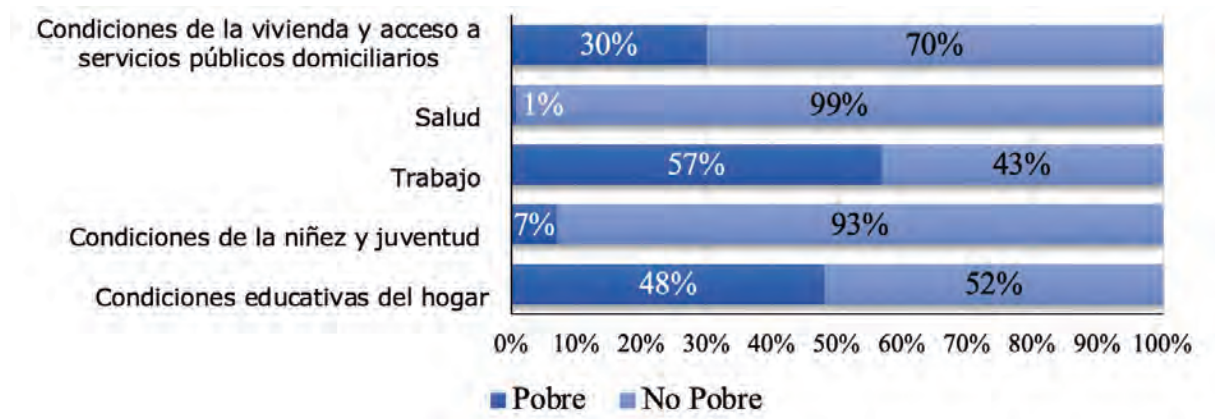


Figura 3. Participación porcentual de hogares encuestados con privaciones por dimensión para población pobre y no pobre, 2019. **Fuente:** autores.

El análisis indicó que los porcentajes de privaciones mantienen proporciones similares a las cifras oficiales de Colombia y Nariño [centro poblado y rural disperso], donde la dimensión de trabajo y condiciones educativas del hogar son las de mayores privaciones. Lo anterior se explica por la informalidad del

empleo y el bajo nivel educativo entre los miembros del hogar mayores de 15 años. Así mismo, la inadecuada eliminación de excretas también representó un alto porcentaje de carencia; sin embargo, solo se presentó para los hogares productores de uchuva [Tabla 3].

Tabla 3. Porcentaje de privaciones por variables en los hogares rurales a nivel nacional, departamental y sectorial, 2019.

Dimensión	Variable	Nacional CPRDN* 2019	Nariño CPRDD* 2019	Productores de Uchuva 2019
Condiciones educativas del hogar	Analfabetismo	20,5	17,3	14,3
	Bajo logro Educativo	77,6	85,4	82,0
Condiciones de la niñez y juventud	Inasistencia escolar	4,6	3,5	6,0
	Rezago escolar	30,9	30,4	13,5
	Trabajo infantil	3,4	6,1	1,5
Trabajo	Dependencia Económica	11,0	8,3	15,0
	Trabajo informal	90,6	97,9	98,5
Salud	Sin Aseguramiento a salud	9,5	5,9	0,8

Condiciones de la vivienda y acceso a servicios públicos domiciliarios	Sin acceso a fuentes de agua mejoradas	41,2	30,1	43,6
	Inadecuada eliminación de excretas	23,7	15,4	85,0
	Material inadecuado de pisos	21,4	12,7	7,5
	Material inadecuado de paredes exteriores	2,6	0,1	9,8
	Hacinamiento Crítico	7,5	6,2	3,8

***CPRDN:** Centro poblado rural disperso nacional. **CPRDD:** Centro poblado rural disperso departamental. **Fuente:** autores a partir de DANE (2018) y encuesta a productores de uchuva.

Ahora bien, la coincidencia en los altos niveles de privación de los hogares rurales a nivel nacional y departamental, y de aquellos que participan del sistema productivo de la uchuva, en el empleo informal y bajo nivel educativo, revelan un problema estructural explicado en especial por un sesgo urbano, el cual hace referencia a la centralización de políticas y recursos hacia las urbes (López, 2019). A nivel de Latinoamérica la informalidad es una característica muy común y está determinada principalmente por el ciclo económico y la estructura del empleo de la economía de cada país; también está directamente afectada por los períodos de crecimiento económico y recesión. Sin embargo, esto no es tan notorio en las zonas rurales, excepto cuando se presentan migraciones de los agricultores a sectores más proformales (Tornarolli et al., 2014). Al respecto, Otero-Cortés (2019) señala que las tasas de informalidad rural son altas, en comparación a las urbanas, además de que hay baja cobertura pensional, lo que genera inadecuada calidad en empleos e inestabilidad laboral.

Por su parte, Tornarolli et al. (2014) reporta que Colombia es un país con un nivel intermedio de informalidad laboral, donde oficios como labores domésticas, trabajadores independientes, jornaleros y trabajos familiares sin remuneración son considerados como oficios informales. Según lo analizado en este estudio, la dinámica del sistema productivo de uchuva se desarrolla bajo un sistema de informalidad laboral, reflejada en la ausencia de pagos a seguridad social, y con trabajos remunerados al día, bajo un sistema de pago por jornal. Es importante recalcar la necesidad de formalizar el trabajo rural y generar escenarios de mayor estabilidad laboral, con marcos legales de protección social, de esta manera se podría impactar positivamente el bienestar de la población relacionada con el cultivo en el departamento de Nariño.

Por otra parte, el DNP (2015b) indicó que los instrumentos de protección social no contemplan las particularidades de los territorios, por lo cual se registran en la zona rural vulnerabilidad y afectación en los ingresos de los productores. En la educación, las brechas

son latentes, con problemáticas como la cobertura y altas tasas de deserción, lo que ha motivado la baja dinámica social, económica y cultural (Ministerio de Educación Nacional, 2018). Lo anterior demanda retos en la actualidad, pues la situación por Covid-19, y las medidas del Gobierno para contener los contagios, ocasionó un incremento en la pobreza multidimensional para el año 2020. Las privaciones con mayor retroceso en el CPRDN fueron la inasistencia escolar con un incremento del 25,5 % y el desempleo de larga duración, que pasó de 11 % a 13,1 %. Para la zona rural de Nariño, la variable inasistencia escolar llegó a 3,5 %. En menor medida, se encontraron desmejoras en estas variables: inadecuada eliminación de excretas, acceso restringido a fuentes

de agua mejoradas y barreras de acceso a servicios de salud (DANE, 2021b).

Autores como López (2019), refieren que la pobreza en el sector rural colombiano es atribuida a sesgos de inequidad en la distribución de recursos, falta de equidad de género, y convergencia de políticas hacia las urbes, que han limitado el desarrollo rural e incrementado las brechas sociales. Al realizar una comparación entre las zonas de estudio, norte y sur de Nariño, la primera presentó un IPM de 32,15 % y la segunda, de 24,61 %. De acuerdo con el número de privaciones se reflejaron diferencias: la mayor proporción de carencias, entre tres y cinco, se encuentran en el norte; mientras que, en el sur, la mayoría de los hogares tuvieron dos y cuatro privaciones [Figura 4].

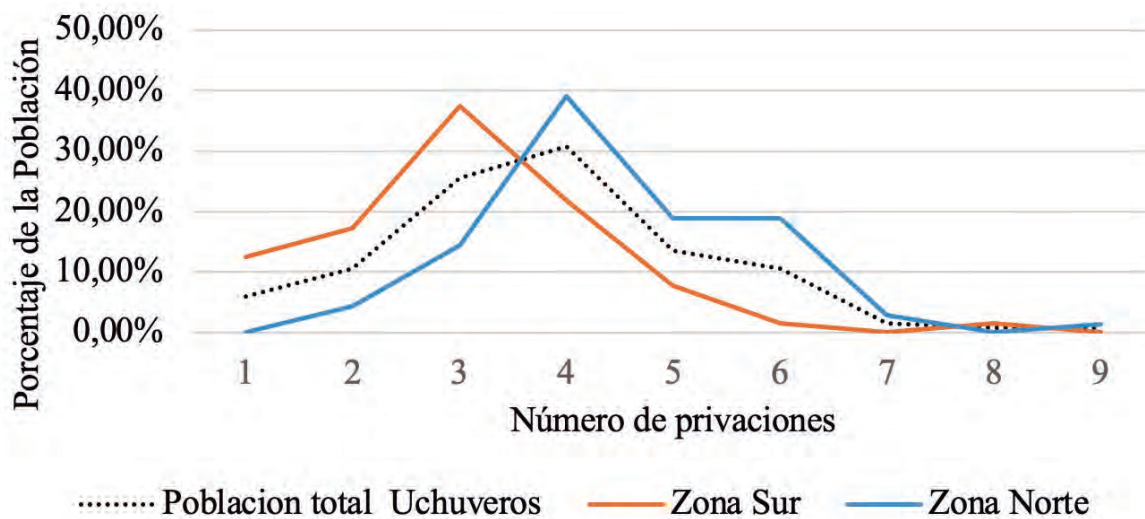


Figura 4. Distribución porcentual de las privaciones de los hogares encuestados, 2019.

Fuente: autores.

Ahora bien, la tasa de incidencia de la pobreza multidimensional para las personas que viven en hogares dedicados a la producción de uchuva correspondió al 36,22 %; 9,32 puntos porcentuales por encima del IPM departamental para CPRDD del mismo año [26,9 %] y 1,72 unidades porcentuales por encima del IPM nacional para CPRDN [34,5 %]. En el año 2020, los niveles de pobreza en Nariño y Colombia se agudizaron, especialmente en el área rural, con mediciones de IPM de 36,8 % y 37,1 %, respectivamente. La tasa de incidencia ajustada, para el caso de estudio, fue de 39,41 %, indicando que los miembros de los hogares pobres experimentan privaciones simultáneas, siendo esta una muestra de la severidad del problema.

3.3. Análisis de los determinantes de la pobreza.

La variación del IPM para los encuestados es explicada en un 59,7 % [R^2 de Nagelkerke] por cambios en la dependencia económica, promedio de escolaridad del hogar, escolaridad del jefe de hogar y área de la finca, con una adecuada bon-

dad de ajuste de acuerdo con la prueba de Hosmer & Lemeshow [chi-cuadrado: 11,046, gl:8, $p > 0,05$ [0,199]].

A nivel predictivo, el modelo de regresión logística indica que hay un 85,7 % de probabilidad de acierto en el resultado de la variable dependiente con aceptación del modelo, debido a que su valor fue superior al 75 % de referencia, respecto al punto de corte entre la especificidad y sensibilidad (Costa et al., 2012); así mismo, la estadística ROC exhibe una mejora significativa en la predicción de las categorías de la variable dependiente (ROC: 0,807). Por su parte, la prueba VIF promedio y la tolerancia indica la no existencia de multicolinealidad. Desde el análisis de los *odd ratios* se concluyó la existencia de 4,6 veces de probabilidad de ser pobre cuando predomina la dependencia económica en el hogar; 2,08 veces menos de probabilidad al tener mayor nivel de educación en el hogar; 1,3 veces menos de probabilidad si el jefe de hogar presenta mayor educación y 1,31 veces menos de probabilidad al tener una mayor área en la finca [Tabla 5].

Tabla 5. Estimación del modelo Logit en la explicación de pobreza multidimensional para productores de uchuva del departamento de Nariño, 2019

Variables independientes	Variable dependiente	Odd ratios	Intervalo de confianza (95 %)	
	(IPM)		Inferior	Superior
DE	1,529*** (0,355)	4,612	2,301	9,243
PEH	-0,734*** (0,171)	0,48	0,606	0,957

EJH	-0,262* (0,128)	0,769	0,598	0,990
AF	-0,272* (0,117)	0,762	0,343	0,670
Constante	3,713*** (1,005)	40,964		
Observaciones	133			
Prueba ómnibus [p-value]	Chi2 (gl:4) = 75,781 0,000			
R² de Nagelkerke	0,597			
Hosmer y Lemeshow [p-value]	Chi2 (gl:8) = 11,046 0,199			
Pronóstico ^a	85%			
VIF promedio	2,249			
Tolerancia promedio (1/VIF)	0,45			

a Valor de corte: 0,45

*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001

DE: Dependencia económica, **PEH:** Nivel de educacional promedio del hogar, **EJH:** Escolaridad del jefe de hogar, **AF:** Área de finca. **Fuente:** autores.

3.4. La educación en la mitigación de la pobreza.

De lo anterior se resalta la importancia de la educación en la mitigación de la pobreza [Figura 5], como el caso de la zona sur del departamento de Nariño cuyos mayores promedios educacionales, al nivel de hogar, han permitido generar una relación inversa con las condiciones de pobreza. Esto se ha evi-

denciado en los municipios de Córdoba, Puerres y Gualmatán, si se analiza desde el índice de NBI (Figura 5A), y Puerres e Ipiales si se contempla a través del IPM (Figura 5B). Lo contrario se presenta en la zona norte del territorio, donde el porcentaje de menores niveles educacionales alcanzados por los habitantes ocasiona una mayor dificultad para la reducción de la pobreza.

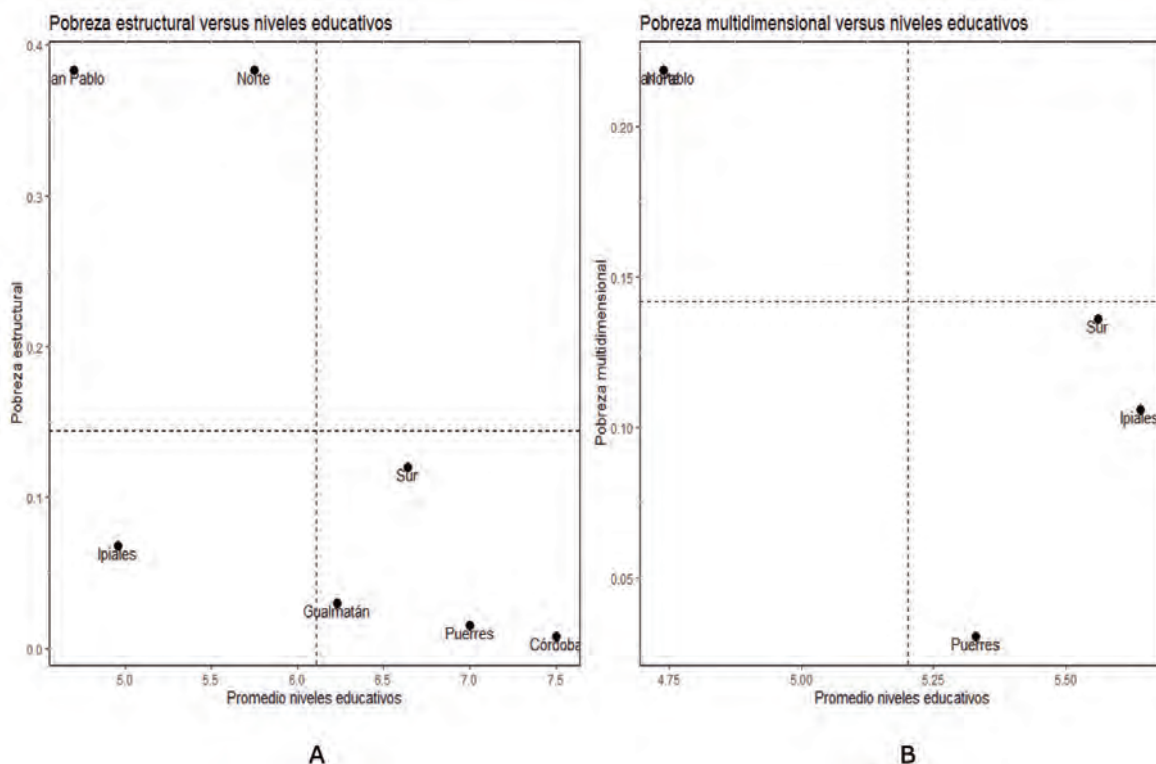


Figura 5. Mapa perceptual de la relación entre educación y pobreza estructural (Figura 5A) y educación y pobreza multidimensional (Figura 5B) en los productores de uchuva del departamento de Nariño, 2019. **Fuente:** autores.

Este comportamiento lo ratifican autores como Segura y Torres (2020) al afirmar que la probabilidad de no ser pobre en el sector rural de Colombia es menor si sus habitantes presentan mayor educación, lo que se mantiene desde la década de los cincuenta (Ramírez y Rodríguez, 2002). Vale la pena mencionar que las políticas de desarrollo rural se han orientado en brindar oportunidades gratuitas a los pobladores [en términos de formación formal y no formal de capital humano] con universidades, establecimientos públicos de orden nacional como el Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA] gremios, centros de investigación, entre otros; con el pro-

pósito de contribuir a una mayor productividad y capacidad de generación de ingresos que les permita mejorar sus condiciones de vida. Este enfoque se ha enmarcado en dar cumplimiento a los objetivos de desarrollo sostenible, tal como lo han descrito estos autores: Redondo et al. (2020); Campuzano et al. (2010) y Bazdresch (2001).

No obstante, a pesar de la cobertura educativa en el sector rural, la calidad se ha visto comprometida, al omitir las necesidades y heterogeneidad de los territorios (Burbano, 2013). En ese sentido, el desarrollo de las regiones rurales debe estar acompañado de cambios estructurales en políticas sociales y econó-



micas para reducir las brechas entre lo urbano y lo rural (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE], 2016). Por tanto, combatir la pobreza implica una comprensión integral de las condiciones de desigualdad que involucre dinámicas macroeconómicas favorables, dado que la educación por sí sola no es suficiente si no se cuenta con un mercado laboral que logre absorber la fuerza de trabajo calificada existente (Aguado et al., 2006).

Para el caso específico del cultivo de uchuva en el departamento de Nariño, Rodríguez et al. (2021) reportan que el 54,1 % de hogares productores en las zonas de estudio se caracterizan por tener poco tiempo de experiencia en el cultivo, bajo nivel de tecnificación, ausencia de asistencia técnica y de certificaciones comerciales tipo predio exportador ICA y Globalgap, carencia en infraestructura de riego y pocas alternativas comerciales para venta de la fruta. Estas carencias de tipo técnico y comercial han generado la reducción de la rentabilidad del cultivo debido a bajos rendimientos, altos costos de producción y estrategias técnicas ineficientes, disminuyendo la competitividad y sostenibilidad del cultivo en esta población. Por lo tanto, y para corregir estas falencias, es necesario desarrollar procesos de fortalecimiento de capacidades técnicas, organizativas y comerciales; además de un acompañamiento técnico continuo que permita acceder a procesos de certificación con miras al ingreso a mercados especializados, los cuales tienden a ser más estables y rentables.

3.5. Equidad en el acceso al activo tierra.

El IG con un valor de 0,49 reveló inequidad en la tenencia de tierra en los hogares productores de uchuva; por subregión, la zona norte presentó mayor desigualdad [IG: 0,53] respecto a la región sur [0,45]. Estas condiciones rurales son marcadas a lo largo de todo el territorio Colombiano [IG: 0,87], en especial en el departamento de Nariño [IG: 0,86]), donde la distribución de la tierra ha estado caracterizada por problemas ambientales y sociales con conflictos históricos aún sin resolver, entre estos las ineficientes reformas agrarias, la agudización del conflicto armado, etc., que se aseveran cuando las instituciones encargadas de asistir dichas demandas carecen de eficiencia para atenderlos (Machado, 2017).

Aunque el IG de los hogares productores de uchuva es inferior a la media nacional y departamental, no se podría concluir que hay mejores condiciones en la tenencia de la tierra; por el contrario, las familias dedicadas a la producción de uchuva presentan un limitado acceso a su principal medio de sustento. Se encontró que la media de tenencia de la tierra es de 1,7 ha, pero de familias que no poseen tierra propia para desarrollar su actividad agropecuaria [11,2 %], dependiendo del arriendo de lotes para desarrollar su producción. Una vez agrupados todos los hogares encuestados de acuerdo con la cantidad de tierra que poseen, se encontró que 46,6% poseen menos de 1 ha, seguido por el 27,7 % que po-

seen hasta 3 ha, el 2,3 % tiene hasta 5 ha y el 5,7 % más de 5 ha.

3.6. Dependencia económica.

Los hogares productores de uchuva determinados como pobres registraron un mayor nivel de dependencia económica, con un promedio de 1,66 miembros dependientes por hogar. Esta si-

tuación es similar a la identificada en los estudios de Alfaro et al. (2020) y Torres et al. (2017), en los que se indica que a mayor dependencia, la probabilidad de ser pobre aumenta; esto es debido a la carga económica sobre la porción productiva del hogar, lo que reduce los recursos en la satisfacción de las necesidades básicas.

4. CONCLUSIONES

Comprender la pobreza requiere analizar los contextos de los territorios desde una visión multidimensional, diferente a los enfoques monetarios tradicionales, dado que permite contemplar la diversidad de factores socioeconómicos limitantes a los cuales se ven expuestos los pobladores. Analizar este tipo de escenarios es crucial para la definición de políticas idóneas en la mitigación de brechas sociales que, a lo largo de la historia de Colombia, se han marcado en el sector urbano y rural; en especial en sistemas de agricultura familiar, como el caso de uchuva.

El contraste de los indicadores IPM y NBI para los hogares productores de uchuva, en relación con las cifras oficiales a nivel departamental y nacional, demostró mayores niveles de pobreza para el grupo poblacional analizado, especialmente en la zona norte de Nariño. De los hogares encuestados para el año 2019, el 50,4 % se clasificaron con NBI, observándose una brecha respecto a la zona rural dispersa a nivel nacional, sumado a una problemática en el acce-

so a servicios básicos, lo cual aumenta el riesgo de los productores a convivir con focos de contaminación y precarias condiciones de vida. Por su parte, el 34,54 % de los hogares se encontraron en situación de pobreza de acuerdo con el IPM, la informalidad del empleo y el bajo logro educativo fueron las que reportaron mayor incidencia. Desde la estimación *Logit*, variables como la dependencia económica, acceso al activo tierra y educación deben tenerse en cuenta para la definición de políticas de desarrollo rural. Así mismo, se resalta la importancia de contar con políticas que contemplen el acceso a educación de calidad, implementación de infraestructura para optimizar el acceso a servicios básicos, alternativas dignas para la población que no se encuentra económicamente activa [población mayor], formalización del empleo y distribución equitativa de la tierra. Dichas acciones deberán contemplar las diferencias entre zona urbana y rural, con el ánimo de reducir las brechas.



Finalmente, frente a las condiciones de pobreza presentes en la zona rural del departamento de Nariño, el sistema productivo de uchuva se destaca como una opción rentable para productores

que obtienen sus ingresos de la agricultura familiar, dada su alta productividad, su potencial comercial en mercados internacionales y la oportunidad para establecer procesos asociativos.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original, revisión y edición. **Segundo autor:** investigación, análisis de datos, escritura, borrador original, contexto de la problemática, revisión y edición. **Tercer**

autor: investigación, análisis de datos, escritura, borrador original, contexto de la problemática, revisión y edición. **Cuarto autor:** investigación, escritura, borrador original, revisión y edición. **Quinto autor:** investigación, escritura, borrador original, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo es derivado del proyecto de investigación “Fase 1, Ajuste de un modelo agronómico productivo de las variedades mejoradas de uchuva Andina y Dorada en zonas productoras de Colombia” con ID 1000642, desarrollado por la Corporación Colombiana

de Investigación agropecuaria [AGRO-SAVIA]. Los autores agradecen a los Investigadores Luis Felipe Rincón, Carlos Andrés Benavides y Pedro Rodríguez por su gestión y administración del proyecto.

LITERATURA CITADA

Aguado, L. F., Girón, L. E. y Salazar, F. (2006). Relación entre pobreza y educación urbanas en el Valle del Cauca. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, 7(4), 29-56. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-47062006000200003

Alfaro, A., Restrepo, L. y López, A. (2020). Experiencia de medición del índice de Necesidades Básicas Insatisfechas en barrios en proceso de invasión en Aguachica, Cesar. *Revista Facultad De Ciencias Económicas: Investigación Y Reflexión*, 28(2), 109-119. <https://doi.org/10.18359/rfce.4913>

- Alkire, S. & Foster, J. (2011). Counting and multidimensional poverty measurement. *Journal of Public Economics*, 95(7-8), 476-487. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2010.11.006>
- Angulo, R. C., Díaz, Y. y Pardo, R. (2011). Índice de Pobreza Multidimensional para Colombia [IPM-Colombia] 1997-2010. *Archivos de Economía*, 382, 1-56. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/382.pdf>
- Assmus, G. (2017). Acceso al agua, pobreza y desarrollo en Colombia. *Revista de La Universidad de La Salle*, 72, 27-46. <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls/vol2017/iss72/3/>
- Bazdresch, M. (2001). Educación y pobreza: una relación conflictiva. En A. Ziccardi. (Ed.). *Pobreza, desigualdad social y ciudadanía: los límites de las políticas sociales en América Latina* (65-81). Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/20101029064158/6ziccardi.pdf>
- Boltvinik, J. (2009). Peter Townsend y el rumbo de la investigación sobre pobreza en Gran Bretaña. *Mundo siglo XXI*, 19, 45-62. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/7184/1/REXTN-MS19-06-Boltvinik.pdf>
- Burbano, N. (2013). Educación para el progreso del estudiante del sector rural en Nariño. *Entramado*, 9(1), 158-170. <https://www.redalyc.org/pdf/2654/265428385010.pdf>
- Campuzano, S., Turriago, A. & Cortés, G. (2010). Breaking the chains: Strategies to overcome poverty in Colombia. *Nova*, 8(13). <https://doi.org/10.22490/24629448.434>
- Cárdenas, M. (2007). *Introducción a la economía colombiana*. Alfaomega.
- Costa, T., Boj, E. y Fortiana, J. (2012). Bondad de ajuste y elección del punto de corte en regresión logística basada en distancias. Aplicación al problema de credit scoring. *Anales del instituto de actuarios españoles*, 18, 19-40. https://actuarios.org/wp-content/uploads/2017/02/anales2012_2.pdf
- Chacón, C., Mattei, L. F. y Ramírez, M. N. (2021). Ruralidades en América Latina: una mirada multidimensional de la pobreza a partir del análisis de componentes principales. *Revista Visión Contable*, 23(1), 133-155. <https://doi.org/10.24142/rvc.n23a6>
- Departamento Administrativo Nacional de estadística [DANE]. (2018). *Nota metodológica de la medida de pobreza multidimensional municipal con información censal*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2018/informacion-censal/nota-metodologia-censal-pobreza-municipal-2018.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de estadística [DANE]. (2021a). *Indicadores de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), a nivel de centro poblado – Censo nacional de población y vivienda 2018*. <https://www.dane.gov.co/>



- [files/censo2018/informacion-tecnica/CNPV-2018-NBI-CENTROS-POBLADOS.xlsx](#)
- Departamento Administrativo Nacional de estadística [DANE]. (2021b). Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) – *Encuesta Nacional de Calidad de Vida*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2020/anexo_nal_pobreza_multidimensional_20.xls
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2015a). *Diagnóstico Económico del Campo Colombiano*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal%20y%20pesca/Diagn%C3%B3stico%20Econ%C3%B3mico%20del%20Campo%20Colombiano.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2015b). *La Protección Social de la Población Rural*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal%20y%20pesca/La%20protecci%C3%B3n%20social%20de%20la%20poblacion%20rural.pdf>
- Fagerland, M. W. & Hosmer, D. (2017). How to test for goodness of fit in ordinal logistic regression model. *The Stata Journal*, 17(3), 668-686. <https://doi.org/10.1177/1536867X1701700308>
- Feres, J. C. y Mancero, X. (2001). *Enfoques para la medición de la pobreza: Breve revisión de la literatura*. Comisión Económica para América Latina. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/4740>
- IBM. (2020). *IBM SPSS Statistics* 27. <https://www.ibm.com/support/pages/node/3006603>
- López, L. V. (2019). Pobreza y subdesarrollo rural en Colombia. Análisis desde la Teoría del Sesgo Urbano. *Estudios Políticos*, 54, 59–81. <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n54a04>
- Lora, E. y Prada, S., (2016). Indicadores de desigualdad, pobreza y desarrollo humano. *Técnicas de medición económica: metodología y aplicaciones en Colombia* (5ª ed.). Universidad Icesi. http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/80745/113/lora_prada_indicadores_desigualdad_2016.pdf
- Machado, A. (2017). *El problema de la tierra*. Penguin Random House.
- Mejía, L. (2021). ¿Qué pasó con la pobreza monetaria rural en 2020? *Tendencia económica*, 216. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/4123/TE_No_216_2021_En%201%C3%ADnea.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural [Minagricultura]. (2020). *Cadena de la Uchuva*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20UCHUVA.pdf>
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural [Minagricultura]. (2019). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA*. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/>

- Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA-2019-20/uejq-wxrr
- Ministerio de Educación Nacional. (2018). *Plan especial de educación rural: hacia el desarrollo rural y la construcción de paz*. https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-385568_recurso_1.pdf
- Núñez, J. y Ramírez, J., (2002). *Determinantes de la pobreza en Colombia. Años recientes*. . Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4789/1/S029701es.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]. (2016). *Revisión de políticas nacionales de educación: la educación en Colombia*. Imprenta Nacional.
- Ortega, R., Sonego, M., Pulido, J., González, A., Jiménez-Mejías, E. y Sordo, L. (2017). Métodos indirectos para la estimación de poblaciones ocultas. *Revista española de salud pública*. 91, 1-9. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17049838040>
- Otero-Cortés, A. (2019). *El mercado laboral rural en Colombia, 2010-2019*. Banco de la Republica. https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9762/DT-SERU_281.pdf?sequence=11&isAllowed=y
- Ramírez, C. y Rodríguez, J. (2002). Pobreza en Colombia: tipos de medición y evolución de políticas entre los años 1950 y 2000. *Estudios gerenciales*, 85(4), 81-109. <https://www.redalyc.org/pdf/212/21208504.pdf>
- Redondo, M., Duque, C. C., Díaz, C. A. & Rodríguez, L. J. (2020). Reduction of inequalities in Colombia according to Sustainable Development Goal 10. *Revista Espacios*, 41(45), 25-36. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n45p03>
- Rodríguez, D., Luna, L. T., Campo, J. M., Guerrero, G. F., Meneses, D. H., Ramos, H. S. y Rincón, L. F. (2021). Tipología de productores de uchuva en el departamento de Nariño, Colombia. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(7), 1313-1318. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2766>
- Ruiz, L. M., Castellanos, C. L. y Villamizar, C. J. (2018). El cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agroecosistemas*, 6(1), 46-53. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/163/198>
- Sánchez, A., Ruiz, J. y Barrera, M. A. (2020). La transformación del concepto de pobreza: un desafío para las ciencias sociales. *Intersticios sociales*. 19(2). 39-65. <https://doi.org/10.55555/IS.19.255>
- Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño. (2018). Consolidado agropecuario Nariño 2018.
- Segura, J. y Torres, H. (2020). Educación rural e inclusión social en Colombia. Reflexiones desde la matriz neoliberal. *Plumilla Educativa*, 25(1), 71-97. <https://doi.org/10.30554/pe.13831.2020>



Sen, A. (2000). *Desarrollo y libertad*. EPlañeta

Tornarolli, L., Battistón, D., Gasparini, L. & Gluzmann, P. (2014). *Exploring trends in labor informality in Latin America*. Universidad Nacional de La Plata. <https://www.econstor.eu/handle/10419/127667>

Torres, E., Jiménez, M. y Luzardo, M. (2017). Determinantes de la pobreza en Venezuela y Colombia: Estudio comparativo 2010-2014. *Semestre económico*, 40(43). 81-110. <https://doi.org/10.22395/seec.v20n43a4>

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 recibido: 26/10/2022

Fecha aceptado: 08/02/2023

DOI: 10.22490/21456453.6353



ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE *Rhizoctonia solani* Kühn EN CINCO GENOTIPOS COMERCIALES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN NARIÑO

EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF *Rhizoctonia solani* Kühn IN FIVE COMMERCIAL GENOTYPES OF POTATO (*Solanum tuberosum* L.) IN NARIÑO

¹ Jessica Descanse Vallejo (jesicandrea12@gmail.com).

Ingeniera agrónoma. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación GRISAV. San Juan de Pasto, Colombia.

² Carlos Betancourth García (cbet70@udenar.edu.co).

Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación GRISAV. San Juan de Pasto, Colombia.

³ Claudia Salazar González (claudiasalazarg@udenar.edu.co).

Doctora en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación GRISAV. San Juan de Pasto, Colombia.

⁴ Benjamin Sañudo Sotelo (benjaminsañudo@yahoo.es).

Ingeniero agrónomo. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación GRISAV. San Juan de Pasto, Colombia.

Citación: Descanse, J., Betancourth, C., Salazar, C. y Sañudo, B. (2023). Estudio epidemiológico de *Rhizoctonia solani* Kühn en cinco genotipos comerciales de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Nariño. Revista de Investigación Agraria y Ambiental 14(2), 73 - 89. <https://doi.org/10.22490/21456453.6353>

RESUMEN

Contextualización: el cultivo de la papa, en Nariño, presenta un número significativo de genotipos comerciales, pero diversos problemas fitosanitarios [como el fitopatógeno *R. solani* Kühn], afectan su producción y rendimiento.

Vacío de conocimiento: no existe información relacionada, en el departamento de Nariño, sobre el ataque de este fitopatógeno a diferentes genotipos de la papa.

Propósito: esta investigación tuvo como objetivo determinar los daños ocasionados por la costra negra (*R. solani* Kühn) en cinco variedades comerciales de papa en el departamento de Nariño.

Metodología: en tres municipios productores de papa del departamento de Nariño [Ipiales, Pasto y Túquerres], mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar [con cuatro repeticiones y cinco tratamientos], se evaluaron las

siguientes variables en genotipos de papa afectados por *R. solani*: incidencia en emergencia y brotación, incidencia en cosecha y rendimiento comercial. Finalmente, se realizó un análisis de varianza, mediante pruebas de comparación de Tukey.

Resultados y Conclusiones: en la localidad de Túquerres se obtuvo el mayor porcentaje de incidencia en emergencia y brotación [36,04%], con diferencias estadísticas, frente a las localidades de Pasto [30,70%] e Ipiales [31,98 %]. Para la variable de incidencia en cosecha, el genotipo Roja Huila [en Túquerres] fue el más afectado, alcanzando un porcentaje de incidencia de 19.94 %. Finalmente, en la evaluación del Rendimiento comercial, el genotipo Superior [en Pasto] presentó el mejor comportamiento, con un promedio de 22,37 t/ha.

Palabras claves: variedades de papa, patógeno, productividad, susceptibilidad.

SUMMARY

Context: the potato crop in Nariño, presents a significant number of commercial varieties, but diverse phytosanitary problems like the pathogen *R. solani* Kühn, affect its production and yield.

Knowledge gap: there is no information in the department of Nariño, about

the attack of this phytopathogen to different potato genotypes.

Purpose: the objective of this research was to determine the damage caused by black scurf [*R. solani* Kühn] on five commercial potato varieties in the department of Nariño.

Methodology: in three potato producing municipalities of the department of Nariño [Ipiales, Pasto and Túquerres], using a Randomized Complete Block Design [with four replications and five treatments] were evaluated these variables: incidence on emergence and sprouting, incidence on harvest, and Commercial yield. Finally, it was carried out analysis of variance, using Tukey's comparison tests.

Results and Conclusions: in the locality of Túquerres, the highest percentage of incidence in emergence and sprouting

was obtained [36,04%], with statistical differences comparison to the localities of Pasto [30,70%] and Ipiales [31,98%]. For the harvest incidence variable, the Roja Huila genotype [in Túquerres] was the most affected, reaching an incidence percentage of 19,94%. Finally, in the evaluation of commercial Yield, the Superior genotype [in Pasto] presented the best performance, with an average of 22,37 t/ha.

Key words: potato varieties, pathogen, productivity, susceptibility.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores

1. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, la papa es considerada fundamental en seguridad alimentaria (Esfahani, 2020) y en Colombia es de los cultivos de mayor importancia. Para el año 2021 se sembraron 120190 hectáreas con un rendimiento comercial de 20,93 t/ha (Federación nacional de productores de papa [Fedepapa] y Fondo Nacional de Fomento de la papa [FNFP, 2021] generando aproximadamente, 264000 empleos y beneficiando a más de 100 000 familias (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura], 2019). En el departamento de Nariño, el cultivo de la papa es de los más importantes, ya que constituye una fuente primordial en la alimentación e ingresos de las familias campesinas (Gobernación de Nariño, 2019).

Algunos factores como la baja tecnificación del cultivo de la papa y el uso de semillas no certificadas hacen que los problemas fitosanitarios se incrementen (Fedepapa, 2019). Debido a los altos costos para obtener semillas certificadas, el productor realiza su propia selección; pero [al tener poco conocimiento] utiliza semilla afectada por *R. solani* Kühn, generando daños en la calidad de cosecha, baja rentabilidad y poca competitividad. La baja sanidad de las semillas de papa se da debido a la acumulación de patógenos o plagas en la semilla, en ciclos sucesivos de propagación vegetativa (Andrade Piedra et al., 2015). Actualmente, la producción del cultivo de papa se ve fuertemente afec-

tada por el ataque de la costra negra de la papa, una enfermedad causada por el hongo *R. solani* Kühn, ocasionando pérdidas del 20% y 40% en todo el mundo (Srivastava et al., 2016). Este patógeno, causa múltiples síntomas, como ulceraciones en la base del tallo, muerte de brotes, áreas necróticas extensas en raíces y estolones, ennegrecimientos corticales de las raíces y costras en los tubérculos (Betancourth et al., 2020).

Los daños ocasionados por la costra negra [en variedades comerciales de papa en Nariño], han llevado a que el agricultor para su control, haga uso de fungicidas químicos con el mismo principio activo, generando resultados infructuosos en el control de este patógeno (Betancourth et al., 2020). Algunos estudios señalan que realizar tratamiento químico antes de la plantación protege los brotes emergentes y tallos, pero los resultados son variables sobre los tubérculos hijos (Acuña y Araya, 2017).

Por lo anterior, esta investigación se centró en identificar los daños ocasionados por el hongo *R. solani* Kühn evaluando las siguientes variables: incidencia en emergencia y brotación, incidencia en cosecha y rendimiento comercial. La identificación de *R. solani* Kühn y sus daños en genotipos comerciales de papa, así como la reacción de resistencia o tolerancia a este fitopatógeno, permitirá identificar los genotipos comerciales con mayor potencial frente al ataque de este fitopatógeno.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en fincas productoras de papa de tres municipios del departamento de Nariño, con registros históricos de alta incidencia de

la enfermedad Rizoctoniasis [Costra negra de la papa] durante el segundo semestre agrícola del año 2020 [Tabla 1].

Tabla 1. Condiciones climáticas de las localidades donde se desarrollaron los ensayos para la evaluación del ataque de *R. solani* Kühn.

Municipio	Altura [m s. n. m]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]
Pasto	2710	13,1	81
Túquerres	2843	11,7	84
Ipiales	2945	11,5	82

Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2020).

Material Vegetal

Se sembraron cinco genotipos comerciales: Diacol Capiro, ICA Única, Superior, Pastusa Suprema y Roja Huila, procedentes de semillas seleccionadas por agricultores de la zona sur del departamento de Nariño [Tabla 2].

Tabla 2. Características agronómicas de genotipos comerciales de papa (*S. tuberosum* L.) en Nariño.

Genotipos	Características agronómicas
Diacol Capiro	Adaptación [1800 a 3200 m. de altitud], maduración relativamente semitardía [165 días a 2 600 m de altitud]. El rendimiento en Nariño es de 32,08 t/ha en condiciones óptimas de cultivo (Fedepapa y FNFP, 2019).
ICA Única	Adaptación [2000 a 3500 m. de altitud], maduración relativamente semitardía [165 días a 2 600 m de altitud]. El rendimiento en condiciones óptimas de cultivo, a nivel nacional, es superior a las 40 t/ha (Ñutzes, 2011).

Superior	Adaptación [2500 a 3200 m. de altitud], maduración relativamente tardía [165 días a 2 600 m de altitud]. El rendimiento en Nariño, teniendo condiciones óptimas de cultivo, es de 32,10 t/ha (Fedepapa y FNFP, 2019).
Pastusa Suprema	Adaptación [2500 a 3200 m. de altitud], maduración relativamente tardía [165 días a 2 600 m de altitud]. El rendimiento nacional, en condiciones óptimas de cultivo, es superior a 45 t/ha (Segura et al., (2006); Núñez et al., (2009).
Roja Huila	Adaptación [2400 a 3200 m de altitud], maduración relativamente tardía [165 días a 2600 m de altitud]. El rendimiento en condiciones óptimas de cultivo es superior a 40 t/ha.

Fuente: autores

Área y Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar [BCA], con cinco tratamientos [cinco genotipos comerciales] y cuatro repeticiones. El ensayo se realizó en un área total de 442 m², cada unidad experimental tenía 3,2 m. de largo por 4,8 m. de ancho [correspondiente a un área de 15,36 m²], había cuatro surcos y cada uno de ellos tenía 10 plantas ubicadas a 0,40 m de distancia entre ellas, con separación por calles de cada parcela de 1 m.

Variables de Respuesta

Incidencia de *R. solani* Kühn en Emergencia y Brotación

Esta variable se evaluó [en los dos surcos centrales de cada parcela experimental] a los 30 días después de la siembra, teniendo en cuenta los sitios con brotación tardía, quemazón y muerte de

brotes. Para evidenciar la presencia de *R. solani* Kühn, en los tejidos afectados se tomaron muestras de material infectado y se aislaron en PDA [medio de cultivo] siguiendo el protocolo de Carling & Leiner (1986). Para determinar el porcentaje de esta variable se aplicó la siguiente fórmula:

Incidencia en emergencia y brotación = (Número de individuos afectados/ Total de individuos) * 100.

Incidencia de *R. solani* Kühn en Cosecha

Al momento de la cosecha, se determinó la incidencia en tubérculos mediante la presencia de deformación de tubérculos sobre el total de la producción. Para determinar el porcentaje de esta variable se aplicó la siguiente fórmula:

Incidencia en cosecha = (Número de individuos afectados por deformación de tubérculos/ Total de individuos) * 100.



Rendimiento Comercial

En el momento de la cosecha se tomaron los surcos centrales de cada parcela y se realizó la colecta de tubérculos de cada planta para hacer la evaluación de acuerdo con cuatro categorías que se establecieron por la Resolución 3 168 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2015), la cual cataloga los diámetros para la especie *S. tuberosum* L. spp *andigena* así:

Diámetro grande: entre 71-90 mm.

Diámetro mediano: entre 51-70 mm.

Diámetro pequeño: entre 11-20 mm.

A continuación, se clasificaron los tubérculos en grandes, medianos, pequeños y deformes para hacer el conteo y

pesaje de cada categoría. El rendimiento comercial se calculó sumando el peso de los tubérculos grandes con el peso de los tubérculos medianos por planta y se expresó como t/ha.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos, en cada una de las variables evaluadas, se sometieron a un análisis de Varianza [ANOVA] realizando Pruebas de Comparación Múltiple [Tukey], de acuerdo con un análisis combinado de localidades y tratamientos, basándose en el diseño de bloques al azar de forma manual. La transformación de los datos en porcentaje [%] se determinó mediante la fórmula $\text{Arcoseno } \sqrt{\text{Dato \%} / 100}$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia de *R. solani* Kühn. en Emergencia y Brotación



Fuente: Autores

Figura 1. Identificación de lesiones en tallos.

La incidencia en emergencia y brotación se evidenció con la presencia de lesiones de color castaño rojizo, quemazón y muerte de brotes basales en los tallos [Figura 1]. El análisis de varianza, para incidencia en emergencia y brotación [Tabla 3], indicó que existieron diferencias estadísticas entre la localidad y el genotipo; sin embargo, la interacción entre localidad y genotipo [Localidad*Genotipo] no presentó diferencias estadísticas.

Tabla 3. Análisis de varianza para la incidencia en emergencia y brotación de *R. solani* Kühn en genotipos comerciales de papa en Nariño.

FV	GL	Cuadrados medios Incidencia	F calculado	F Tabla
Modelo	23	67,84 *	3,89	
Localidad(a)	2	155,61 *	14,23	3,26
Genotipo(b)	4	269,08 *	15,42	2,63
Localidad * Genotipo (a) * (b)	8	9,31 ^{ns}	0,53	2,21
Error	36	17,44		

(*) indica diferencias estadísticas.

ns indica que no existieron diferencias estadísticas.

Fuente: autores

En la tabla 4, Túquerres obtuvo el mayor porcentaje de incidencia de *R. solani* Kühn. En Emergencia y Brotación [36,04 %], con diferencias estadísticas frente a los municipios de Pasto [30,70 %] e Ipiales [31,98 %]. Esto probablemente, se debe a la facultad de dispersión de *R. solani* Kühn, a las condiciones fisicoquímicas de los suelos y a la variabilidad climática presente en las zonas (Betancourth et al., 2021).

Los daños más graves, ocasionados por *R. solani* Kühn, se producen con una humedad relativa alta [superior al 80 %]. El hongo ataca en cualquier momento el desarrollo del cultivo (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017), especialmente a los brotes y tallos subterráneos, retrasando o impidiendo la emergencia del cultivo (Mantecón, 2015). Túquerres se caracterizó por presentar la humedad relativa más alta con un porcentaje del 84 % aproxi-

madamente (IDEAM, 2020), diferente de Pasto [81 %] e Ipiales [82 %]; dichas condiciones de humedad en Túquerres generaron un óptimo desarrollo de este patógeno y favorecieron el ataque de *R. solani* Kühn en estados de emergencia y brotación del cultivo de papa.

R. solani Kühn, tiene la capacidad de formar esclerocios que son estructuras de resistencia con capacidad de perpetuarse año tras año, mediante la plantación de tubérculos infectados (Mantecón, 2015), estos esclerocios presentan resistencia a condiciones ambientales extremas, debido a la presencia de melanina en las paredes (Desvani et al., 2018) y una vez establecidos en el suelo, se convierten en una fuente continua de infección para las plantas (Tsror, 2010). *R. solani* Kühn, se disemina rápidamente [mediante la preparación y movimiento del suelo, y el uso de semilla infectada] gracias a los esclerocios

y puede dispersarse a larga distancia, llegando a contaminar zonas libres de este patógeno (Tsrer, 2010).

Los genotipos con el mejor comportamiento fueron: Pastusa Suprema [27,93 %], Superior [30,60 %] y Diacol Capiro [30,07 %] respecto a ICA Única [38,45 %] y Roja Huila [37,47 %], con diferencias estadísticas [Tabla 3]. La alta incidencia en brotación permitió evidenciar la existencia de *R. solani* Kühn en todos los genotipos evaluados, así como que esta variable se determina, en gran parte, por la susceptibilidad de los genotipos y de las condiciones ambientales.

Los estudios realizados por Chavarro (2011) identificaron que la presencia o ausencia de los síntomas de la Rizoctoniasis en los materiales evaluados, depende de la tolerancia y del comportamiento agronómico del cultivo. Esto se debe al importante papel de la variabilidad genética entre genotipos, presentándose como una de las mejores alternativas para la mejora de materiales en campo (Ritter et al., 2010) y el control de enfermedades (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2018).

Tabla 4. Comparación de porcentajes de incidencia de *R. solani* Kühn, en emergencia y brotación en los genotipos comerciales de papa en Nariño.

	Tratamientos (b)					
Localidades (a)	Superior	Diacol Capiro	Pastusa Suprema	Roja Huila	ICA Única	Promedio (a)
Pasto	26,48	28,14	24,93	36,97	36,99	30,70 b
Túquerres	35,48	33,17	32,41	39,22	39,94	36,04 a
Ipiales	29,85	28,91	26,47	36,24	38,44	31,98 b
Promedio (b)	30,60 b	30,07 b	27,93 b	37,47 a	38,45 a	
Tukey (a) 0,005 = 2,91 Tukey (b) 0,005 = 4,85						

Fuente: autores

Incidencia de *R. solani* Kühn en cosecha



Fuente: autores

Figura 2. Deformación (Malformación) de tubérculos de plantas, genotipo Roja Huila.

El análisis de varianza [Tabla 5] indicó que existieron diferencias estadísticas entre la localidad, el genotipo y la interacción entre localidad y el genotipo [Localidad*Genotipo].

Tabla 5. Análisis de varianza de la incidencia de *R. solani* Kühn [malformación de tubérculos] durante la cosecha de genotipos comerciales de papa de Nariño.

FV	GL	Cuadrados medios incidencia en cosecha	F calculado	F tabla
Modelo	23	24,94	3,26	
Localidad	2	107,40 *	14,51	3,26
Genotipo	4	24,34 *	0,97	2,63
Localidad*Genotipo	8	24,35 *	3,18	2,21
Error	36	7,65	3,18	

(*) indica diferencias estadísticas.

ns indica que no existieron diferencias estadísticas.

Fuente: autores

De acuerdo con la interacción entre localidad y genotipo, en el municipio de Pasto, el genotipo Diacol Capiro [14,98 %] tuvo el mayor porcentaje de incidencia en cosecha; diferente al genotipo ICA Única, el cual presentó el menor

porcentaje [9,23 %] de malformación de tubérculos. En Túquerres, el mayor porcentaje de Incidencia en cosecha fue para el genotipo Roja Huila [19,94 %], con diferencias estadísticas frente a Pastusa Suprema [13,17 %]. Finalmente, en Ipiales no se evidenciaron diferencias estadísticas entre los genotipos.

R. solani Kühn, causó síntomas de malformación en la gran mayoría de tubérculos [Figura 2]; esto se debe a que el patógeno estimula la producción de una toxina con efecto sobre el crecimiento de la planta (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2018). Asimismo, el efecto de *R. solani* Kühn, en la calidad de los tubérculos es altamente significativa, en relación con las plantas sanas, pudiendo ocasionar cosechas con 80 % de tubérculos pequeños y deformes y sólo un 20 % de tamaño regular (García et al., 2002).

De acuerdo con observaciones realizadas por Betancourth et al. (2020), *R. solani* Kühn es un patógeno que afecta el cultivo de la papa de forma indirecta, mediante la malformación de tubérculos. Este daño genera pérdidas significativas en el rendimiento comercial, debido a que las plantas infectadas tienden a producir una gran cantidad de tubérculos con deformaciones, protuberancias y particiones (Acuña, 2019). Hay que indicar que dicho patógeno no afecta únicamente a los cultivos de Colombia, ya que los estudios realizados por Pozo (2013) indican que *R. solani* Kühn, se encuentra produciendo daños cuantitativos y cualitativos en cultivos de papa en el Ecuador, donde catalogan la deformación de tubérculos como un perjuicio que genera severas pérdidas económicas a los productores de este tubérculo.

Tabla 6. Comparación de porcentajes sobre la incidencia de *R. solani* Kühn en la cosecha de genotipos comerciales de papa en Nariño.

Tratamientos (b)					
Localidades (a)	Superior	Diacol Capiro	Pastusa Suprema	Roja Huila	ICA Única
Pasto	11,78 ab	14,98 a	14,12 ab	14,49 ab	9,23 b
Túquerres	17,43 ab	16,31 ab	13,17 b	19,94 a	15,03ab
Ipiales	14,45 a	7,9 a	12,79 a	12,81 a	11,93 a

Tukey (a*b) 0,005 = 5,53

Fuente: autores



Rendimiento Comercial

El análisis de varianza [Tabla 7] indicó que existieron diferencias estadísticas

entre la localidad, el genotipo y la interacción entre localidad y genotipo [localidad*genotipo].

Tabla 7. Análisis de varianza para el rendimiento comercial de los genotipos comerciales de papa en Nariño.

FV	GL	Cuadrados medios de rendimiento	F calculado	F tabla
Modelo	23	94,73 *	12,05	
Localidad	2	601,62 *	76,90	3,26
Genotipo	4	95,67 *	12,17	2,63
Localidad*Genotipo	8	65,30 *	8,31	2,21
Error	36	7,86		

(*) indica diferencias estadísticas.

ns indica que no existieron diferencias estadísticas.

Fuente: autores

Al analizar la interacción [Tabla 8], el municipio de Pasto presentó diferencias estadísticas en el comportamiento de los genotipos, Superior [22,37 t/ha] y Diacol Capiro [20,12 t/ha] superaron estadísticamente a Roja Huila [14,92 t/ha], Pastusa Suprema [11,28 t/ha] e ICA Única [4,28 t/ha] [Tabla 7]. Sin embargo, los municipios de Ipiales y Túquerres, no presentaron diferencias estadísticas entre los genotipos. El genotipo Superior presentó un rendimiento comercial

promedio de 22,37 t/ha con respecto a plantas sanas y tuvo un rendimiento de 29,50 t/ha (Fedepapa y FNFP, 2020). Esto se le puede atribuir, posiblemente, a la capacidad que tienen muchos materiales vegetales para ser resistentes o tolerantes al manejo integrado de *R. solani* Kühn en campo (Prado et al., 2001), donde una de las principales características de los genotipos para tener en cuenta es el potencial de rendimiento comercial.

Tabla 8. Comparación de la interacción del rendimiento comercial de *R. solani* Kühn en genotipos de papa en el departamento de Nariño.

Tratamientos (b)					
Localidades (a)	Superior	Diacol Capiro	Pastusa Suprema	Roja Huila	ICA Única
Pasto	22,37 a	20,12 a	11,28 b	14,92 b	4,28 b

Túquerres	13,57 a	9,525 a	11,85 a	10,55 a	8,67 a
Ipiales	21,2 a	22,875 a	20,68 a	21,37 a	22,06 a
Tukey (a*b) 0,005 = 5,607					

Fuente: autores

El genotipo Superior en Colombia es altamente cultivado por su alto rendimiento (Fedepapa y FNFP, 2020), logrando ocupar cerca del 23 % del área sembrada a nivel nacional debido a su potencial productivo en campo. Para el año 2018, en Nariño, el genotipo Superior fue el único que presentó un aumento de almacenamiento del 55 % respecto al año anterior; así mismo, su calidad para la culinaria y su aceptación en mercados mayoristas provocó la sustitución de una gran parte del área sembrada con papa de las variedades Parda Pastusa y Pastusa Suprema por este genotipo en su lugar (Minagricultura, 2019). Herrera (2019), en su estudio, se interesa en el genotipo Superior, frente al ataque de Rizoctoniasis, por su gran recepción y demanda para el con-

sumo en fresco y su alto rendimiento en campo.

Diacol Capiro, en Pasto, es un genotipo que se destacó por su buen comportamiento frente a esta variable, alcanzando un valor de 20,12 t/ha, frente a un rendimiento Comercial de plantas sanas de 27,72 t/ha; probablemente esto se debe al potencial de adaptación que presenta Diacol Capiro en el tiempo. Este genotipo fue entregado por el DIA en 1958 (Ñustez, 2011) y sus características son útiles para la culinaria (CIP, 2017), es el principal genotipo utilizado para el procesamiento industrial en Colombia; en Nariño, para el año 2019, fue la variedad de mayor abastecimiento con 73 961 ton. (Fedepapa y FNFP, 2020).

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, *R. solani* Kühn, es un hongo que se encuentra atacando genotipos comerciales de papa en la zona sur del departamento de Nariño. En la evaluación de las tres variables estudiadas, Túquerres fue la zona que presentó el mayor porcentaje de incidencia de este patógeno en emergencia y brotación y en incidencia en cosecha; así como la mayor

afectación en el rendimiento comercial. La variable de incidencia en campo permitió identificar que el genotipo con mayor presencia de malformación fue Roja Huila, en el municipio de Túquerres, alcanzando un valor de [19,94 %], afectando en gran medida el mercado comercial de este tubérculo.

El genotipo con mejor comportamiento agronómico frente al daño ocasionado

por *R. solani* Kühn fue Superior, en el municipio de Pasto, alcanzando el mayor rendimiento comercial [22,37 t/ha]. Debido a su potencial frente al ataque

de este fitopatógeno, este genotipo puede considerarse como una alternativa para garantizar mayor sanidad en el cultivo de la papa.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Jessica Andrea Descanse: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, supervisión, revisión y edición.

Claudia Salazar González: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, supervisión, revisión y edición.

Carlos Betancourth García: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, supervisión, revisión y edición.

Benjamín Sañudo Sotelo: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, supervisión, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la convocatoria 818 de MINCIENCIAS que financió esta investigación, fruto del proyecto 'Manejo Integrado de la Costra Negra [*R. solani* Kühn] de la papa en el departamento de Nariño'.

LITERATURA CITADA

Acuña., Ivette (2019). Enfermedades del cultivo de papa presentes en Magallanes [en línea]. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 396. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6774>

Acuña, I. y Araya, M. (2017). Rizoctonias de la papa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Andrade-Piedra, J. L., Kromann, P. y Otazu, V. (2015). *Manual para la produc-*

ción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú. Quito (Ecuador). Centro Internacional de la Papa. <https://doi.org/10.4160/9789290604556>

Betancourth, C., Sañudo, B., Flórez, C. y Salazar, C. (2021). Manejo de la costra negra de la papa (*Rhizoctonia solani* Kühn.) con el establecimiento de abonos verdes. *Información tecnológica*, 32(2), 165-174.

- <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000200165>
- Betancourth, C., Sañudo, B., Flórez, C., Castro, B., Arteaga, F., Lagos, L. y Salazar, C. (2020). *Vulneración del cultivo de papa ante problemas sanitarios emergentes en Nariño*. Universidad de Nariño.
- Carling, D. E. & Leiner, R. H. (1986). Isolation and Characterization of *Rhizoctonia solani* and Binucleate *R. solani* like Fungi from Aerial Stems and Subterranean Organs of Potato Plants. *Phytopathology*, 76(7), 725-729. <https://doi.org/10.1094/Phyto-76-725>
- Chavarro, E. (2011). *Variabilidad genética y detección molecular de poblaciones del hongo Rhizoctonia solani en regiones colombianas productoras de papa* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11279>
- Centro Internacional de la Papa [CIP]. (2017). *Inventario de tecnologías e información para el cultivo de papa en Ecuador*. <https://cipotato.org/papaenecuador/>
- Centro Internacional de la Papa [CIP]. (2018). Mejoramiento genético de la papa: resiliencia climática y seguridad alimentaria [Conferencia]. XIX Congreso Nacional de Productores de papa, Montenegro, Colombia.
- Desvani, S. D., Lestari, I. B., Wibowo, H. R., Supyani., Poromarto, S. H. & Hadiwiyo. (2018). Morphological characteristics and virulence of *Rhizoctonia solani* isolates collected from some rice production areas in some districts of Central Java. *AIP Conference Proceedings*, 2014, (1), 1-7. <https://doi.org/10.1063/1.5054472>
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y Fondo Nacional de Fomento de la Papa [FNFP]. (2021). *Informe de gestión vigencia 2021*. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2022/05/INFORME-DE-GESTION-VIGENCIA-2021.pdf>
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y Fondo Nacional de Fomento de la Papa [FNFP]. (2020). Boletín Regional No. 04. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2021/09/ANTIOQUIA-2019.pdf>
- Federación Nacional de Productores de Papa [Fedepapa] y Fondo Nacional de Fomento de la Papa [FNFP]. (2019). Informe de gestión vigencia 2019. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2022/05/INFORME-DE-GESTIO%CC%81N-VIGENCIA-2019.pdf>
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y Fondo Nacional de Fomento de la Papa [FNFP]. (2019). Boletín regional Número 3. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2021/09/NARINO-2019.pdf>
- García, R. G., García, A. y Garnica, C. (2002). Distribución, incidencia y al-

- ternativas de control de *Rhizoctonia solani* en el cultivo papa en el Estado Mérida, Venezuela. *Revista Latinoamericana de la papa*, 13(1), 24-41.
- Gobernación de Nariño. (2019). Plan departamental de extensión agropecuaria del departamento de Nariño. <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documentos/PDEA%27s%20Aprobados/PDEA%20Nari%C3%B1o.pdf>
- Herrera, M. A. (2019). *Evaluación del fungicida químico glory 75 wg (Mancozeb + Azoxystrobin), en el manejo de costra negra del suelo (rhizoctonia solani), en el cultivo de papa variedad superior en dos regiones de Cundinamarca* [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. SIDRE. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1399>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2020). <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2017). Enfermedades en el cultivo de papa: evaluación de riesgo sanitario.
- Mantecón, J. D. (2015). Fungicidas aplicados al suelo como estrategia de manejo integrado de enfermedades en papa, bajo escenarios de elevada infestación inicial y residual. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 19(1), 29-39. <https://doi.org/10.37066/ralap.v19i1.224>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura]. (2019). Estrategia de ordenamiento de la producción cadena productiva de la papa y su industria. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Normatividad/Plan%20de%20Ordenamiento%20papa%202019-2023.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2018). *Evaluación de la integración de métodos para el control de la costra negra (Rhizoctonia solani) en el cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.)*. [http://cunori.edu.gt/descargas/Evaluacion de la integracin de metodos para el control de la costra negra 1.pdf](http://cunori.edu.gt/descargas/Evaluacion%20de%20la%20integracion%20de%20metodos%20para%20el%20control%20de%20la%20costra%20negra%201.pdf)
- Esfahani, M. N. (2020). Genetic variability and virulence of some Iranian (*Rhizoctonia solani* Kühn), isolates associated with stem canker and black scurf of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Plant Protection Research*, 60(1), 21-30. <https://doi.org/10.24425/jppr.2020.132201>
- Ñustez, C. (2011). *Variedades Colombianas de papa*. Universidad Nacional de Colombia.
- Pozo, V. (2013). Evaluación de dos fungicidas para control de *Rhizoctonia solani* en papa (*Solanum tuberosum*). Carchi- Ecuador. Universidad Politécnica Estatal de del Carchi.
- Prado, G. A., Correa, F. J., Aricapa, M. G. y Escobar F. (2001). Caracterización preliminar de la resistencia de germoplasma de arroz al año-



- blo de la vaina (*Rhizoctonia solani* Kuhn). *Foro Arrocero Latinoamericano*, 7(1), 8-11. <https://hdl.handle.net/10568/65792>
- Ritter, E., Ruiz, J., Barandalla, L., López, R., Huarte, M., Capezzio, S., Cuesta, X., Rivadeneira, J., Vilaró, F., Gabriel, J., Scurrah, M., Canto, R., Amoros, W., Forbes, A. y Bonierbale, M. (2010). Papas nativas – un cultivo con potencial de alto valor añadido para la agricultura sostenible. En X. Cuesta, J. Andrade, E. Yáñez, y R. Iván (Eds.). *I Congreso Internacional de Investigación y Desarrollo de Papas Nativas: Memorias* (pp. 13-14). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Segura, M., Santos, M y Núñez, C. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana* 6(2), 33-43.
- Srivastava, S., Bist. V., Srivastava. S., Singh. P. C., Trivedi, P. K., Asif M. H., Chauhan P. S. y Nautiyal. C. S. (2016). Unraveling Aspects of *Bacillus amyloliquefaciens* Mediated Enhanced Production of rice under biotic stress of *Rhizoctonia solani*. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00587>
- Tsror, L. (2010). Biology, Epidemiology and Management of *Rhizoctonia solani* on Potato. *Journal of Phytopathology*, 158(10), 649-658. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01671.x>

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: 14/11/2022

Fecha de aceptado: 01/03/2023

DOI: 10.22490/21456453.6506



GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE SEMILLAS DE ARVEJA VAR. 'SANTA ISABEL' SOMETIDAS A DIFERENTES DOSIS DE GIBERELINAS

GERMINATION AND GROWTH OF PEA SEEDS VAR. 'SANTA ISABEL' SUBJECTED TO DIFFERENT DOSES OF GIBBERELLINS

Marilcen Jaime-Guerrero¹, Javier G. Álvarez-Herrera², Jesús H.
Camacho-Tamayo³

¹ Ingeniera Agrónoma. Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

² Ingeniero Agrícola, Mag. y Dr. en Ciencias Agrarias. Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

³ Ingeniero Agrícola, Mag. en Ingeniería Agrícola, Dr. en Ciencias Agrarias. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

¹marilcen.jaime@uptc.edu.co, ²javier.alvarez@uptc.edu.co,
³jhcamachot@unal.edu.co

Citación: Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J. y Camacho-Tamayo, J. (2023). Germinación y crecimiento de semillas de arveja Var. 'Santa Isabel' sometidas a diferentes dosis de giberelinas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 91 - 112. <https://doi.org/10.22490/21456453.6506>

RESUMEN

Contextualización: La arveja es una leguminosa con un alto potencial nutricional debido a que es fuente de proteína y se cultiva ampliamente en todo el mundo.

Vacío de investigación: A pesar de que el porcentaje de germinación de las semillas de arveja es alto, esta germinación es poco uniforme debido a que la mayoría de las leguminosas tienen diversos grados de latencia, lo que genera plantas de diferentes tamaños y con desfases en las etapas fenológicas del cultivo.

Propósito del estudio: El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de giberelinas [GAs] en la germinación y el crecimiento de semillas de arveja, variedad 'Santa Isabel'.

Metodología: Se usó un diseño completamente aleatorizado [DCA] con seis tratamientos, que correspondieron a las diferentes dosis de giberelinas aplicadas [0, 200, 400, 600, 800 o 1000 mg L⁻¹], en los cuales se evaluaron variables de

germinación y posterior crecimiento de las plántulas de arveja.

Resultados y conclusiones: La aplicación de GAs disminuye el tiempo medio de germinación. Las GAs generaron plántulas con mayor altura [16,5 cm], pero con tallos más delgados; mientras que las plántulas provenientes de semillas sin GAs fueron más pequeñas [5,26 cm], pero con mayor masa fresca y seca de hojas, y con mayor aptitud para el trasplante. La aplicación de GAs en semillas de arveja no afectó la masa seca y fresca total de las plántulas de arveja, ni tampoco la masa seca y fresca de raíces. Las GAs promovieron la redistribución de fotoasimilados al aumentar la masa seca y fresca de tallos, a costa de la disminución de la masa seca y fresca en hojas y estípulas. Conforme aumentó la dosis de giberelinas, se incrementó la translocación de fotoasimilados desde la semilla hacia el tallo específicamente.

Palabras clave: ácido giberélico, fitohormonas, leguminosa, plántulas, vigor

SUMMARY

Contextualization: pea is a legume with a high nutritional potential because it is a source of protein and is widely cultivated throughout the world.

Knowledge gap: Even though the percentage of germination of pea seeds is high, this germination is uneven since

most legumes have different degrees of dormancy, which generates plants of different sizes and with gaps in the phenological stages of the crop.

Purpose: evaluate the effect of different doses of gibberellins [GAs] on the ger-

mination and growth of pea seeds, variety 'Santa Isabel'.

Methodology: through a completely randomized design [DCA] with six treatments, which corresponded to the different doses of gibberellins applied [0, 200, 400, 600, 800 or 1000 mg L⁻¹], every germination variable and subsequent growth of pea seedlings were evaluated.

Results and conclusions: The application of GAs decreases the average germination time. The GAs generated seedlings with more height, but with thinner stems; while the seedlings from seeds without GAs were smaller,

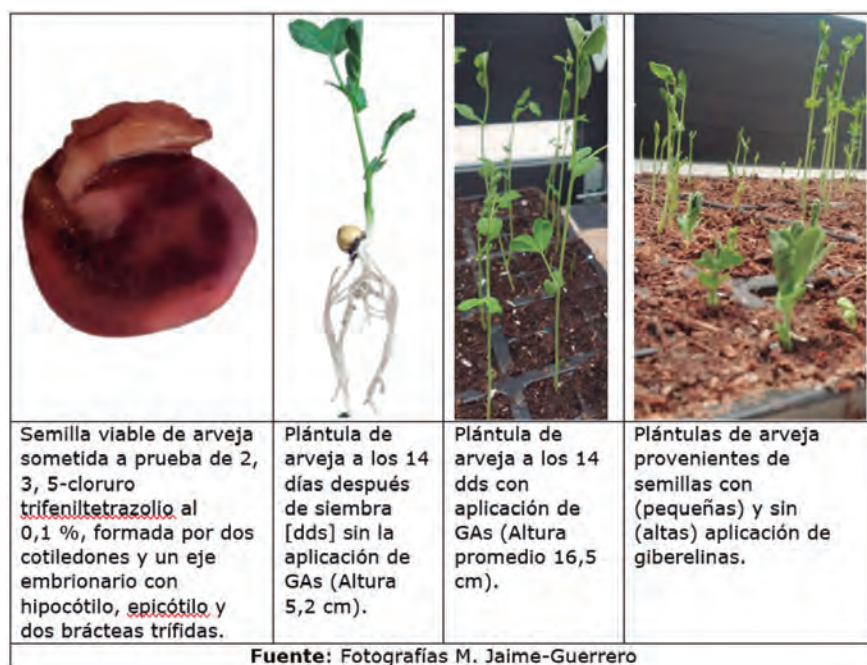
but with greater fresh and dry mass of leaves, and with greater aptitude for transplanting. The application of GAs in pea seeds did not affect the total dry and fresh mass of the pea seedlings, neither the MSR nor the MFR. The GAs promoted the redistribution of photo-assimilates by increasing the dry and fresh mass of stems at the expense of decreasing the dry and fresh mass of leaves and stipules. As the dose of gibberellins increased, the translocation of photo-assimilates from the seed to the stem specifically increased.

Keywords: seedlings, legume, gibberellic acid, phytohormones, vigor index

RESUMEN GRÁFICO

La aplicación de GAs disminuye el tiempo medio de germinación e incrementa considerablemente la altura de la plántula. Las GAs promueven una

mayor acumulación de masa en los tallos, disminuyendo consecuentemente la masa de estípulas y hojas.



1. INTRODUCCIÓN

La arveja es una leguminosa con un alto potencial nutricional debido a que es fuente de proteína y se cultiva ampliamente en todo el mundo (Cantaro-Segura & Huaranga-Joaquín, 2021); China aparece como el mayor productor, seguido de India, Estados Unidos, Francia y Egipto, por su parte, Colombia alcanzó una producción de 46 970 t para el año 2017 (Agronet, 2022), y los departamentos más productores son Nariño, Cundinamarca y Boyacá con una producción que alcanza el 53 %, 21 % y 9,7 % del total, respectivamente (Agronet, 2022). Debido a su adaptabilidad entre los 2 200 y 3 000 m sobre el nivel del mar, la variedad ‘Santa Isabel’ es una de las más sembradas en Colombia (Padilla & Zurita, 2015).

A pesar de que el porcentaje de germinación de las semillas de arveja es alto, en muchos casos esta germinación es poco uniforme debido a que la mayoría de las leguminosas tienen diversos grados de latencia (Li et al., 2022), lo que genera plantas de diferentes tamaños y con desfases en las etapas fenológicas del cultivo (Singh et al., 2017). Lo anterior se traduce en dificultades para la realización de las labores propias del cultivo; como riego y fertilización, bajos rendimientos y problemas en el pronóstico de producción para la comercialización. Estos rendimientos irregulares han impedido el crecimiento de las áreas de siembra ya que, según Nadeem et al. (2019), la baja uniformidad del cultivo es responsable

de una disminución de hasta un 18 % en la producción.

La germinación de las semillas es un proceso que puede afectar la producción de los cultivos y está influenciada por una serie de factores como las enzimas y hormonas. De tal manera, se ha comprobado que las giberelinas [GAs] controlan algunos aspectos en las semillas (Miransari & Smith, 2014) como la activación del crecimiento vegetativo del embrión, el debilitamiento de la capa del endospermo presionado por el crecimiento que rodea el embrión y la movilización de las reservas almacenadas en el endospermo (Kalra & Bhatla, 2018). Específicamente en la capa de aleurona, las GAs estimulan la producción de numerosas hidrolasas como la α -amilasa, encargada de la degradación del almidón y los asimilados almacenados; estos componentes son trasladados al escutelo para alimentar la radícula y el hipocótilo y así dar inicio al crecimiento de la plántula (Balaguera-López, Deaquiz et al., 2009). Así mismo, las semillas maduras de arveja contienen altos niveles endógenos de GA_{20} que disminuyen durante el crecimiento y desarrollo temprano de las plántulas, debido a que son transportados desde los cotiledones a la radícula y los brotes; así, las reservas de GA_{20} en los cotiledones proporcionan el sustrato para la síntesis de GA_1 , el cual es el encargado de la expansión y alargamiento de la plántula (Ayele et al., 2012).



Se han probado muchas técnicas con el fin de sincronizar la germinación y hacer que los tiempos y la uniformidad de esta mejoren, para así, realizar mejores establecimientos de los cultivos (Singh et al., 2017). Dentro de estas técnicas se destaca la aplicación de GAs en semillas para la obtención de plántulas con mayor masa fresca y seca, y mayor área foliar y altura (Balaguera-López, Deaquiz et al., 2009; lo cual es corroborado por Bohórquez-Sandoval et al. (2011), quienes afirman que la aplicación en semillas de GAs, en dosis de 200 mg L⁻¹, generó plantas de tomate con 12 % más de altura y entre un 26 % a 34 % más de masa fresca y seca. Si bien son escasos

los estudios sobre la aplicación de GAs en semillas de arveja, Javed et al. (2021) reportan que, en plántulas de arveja, la aplicación foliar de 100 mg L⁻¹ de ácido giberélico (GA₃) mejoró la altura, masa fresca, contenidos de clorofila, tasa fotosintética y concentración de CO₂, así como, también, el número de hojas, comparadas con el tratamiento control. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de giberelinas en la germinación y el crecimiento de semillas de arveja, variedad 'Santa Isabel', con el fin de brindar a los productores alternativas para obtener plantaciones más homogéneas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de cubierta plástica del Grupo de Investigaciones Agrícolas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, ubicado en las coordenadas 5,5528° N y 73,3602 W, a una altitud de 2700 m sobre el nivel del mar; con una precipitación promedio anual de 726 mm, unas condiciones de temperatura promedio dentro del invernadero de 18 °C y una humedad relativa del 70 %.

Diseño Experimental

Se usó un diseño completamente aleatorizado [DCA] con seis tratamientos que correspondieron a las diferentes

dosis de giberelinas aplicadas [0, 200, 400, 600, 800 o 1000 mg L⁻¹] acorde con Balaguera-López, Cárdenas-Hernández et al. (2009), para lo cual se empleó ProGibb® 10 SP [fabricado por Valen BioSciences]. Las semillas se embebieron durante 24 horas en cada una de las concentraciones empleadas. Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones para conformar 24 unidades experimentales [UE], y cada UE estuvo compuesta por 30 semillas de arveja, lo que dio un total de 720 semillas empleadas. Se emplearon semillas de arveja, variedad 'Santa Isabel', de la empresa semillero LERL [Distribuciones Semillas LERL Ltda.], del lote 5013182857-03, con una pureza del 98 %. Las semillas se sembraron en bandejas de propagación de 72 alvéolos

A-BA72 [A y P de Colombia]. El sustrato utilizado fue turba canadiense [Confiabonos] y se regó diariamente con el fin de mantener la humedad para así favorecer la germinación. Las semillas fueron sembradas el 8 y se recolectaron el 22 de septiembre de 2022.

Variables de respuesta

Las semillas germinaron a partir de los cinco días después de siembra [dds], luego se comenzaron a medir diariamente el número de semillas germinadas y el tiempo en días para la germinación. Con los resultados se calcularon los siguientes parámetros: porcentaje de germinación [PG], potencial de germinación [PotG], tiempo medio de germinación [TMG], velocidad media de germinación [VMG] e índice de vigor [IV], según Tsegay & Andargie (2018), hasta que las plantas estaban aptas

para trasplantarse a los 14 dds, según las ecuaciones de la Tabla 1.

A partir de los 14 dds se midieron las variables destructivas que se describen a continuación: volumen radicular [VR]; masa fresca y seca de tallos, raíz y hojas; estípula; y semilla germinada. La medición se realizó en una balanza Boeco Bas 31 plus [fabricada por Boeckel & Co., y GmbH & Co. KG en Hamburg, Alemania] de precisión 0,0001 g, después de someter los diferentes órganos de las plantas a 70 °C durante 48 h (Teixeira et al., 2017) en una estufa de secado Memmert UNB500 [elaborada por Memmert GmbH, y Co. KG en Schwabach, Alemania]. A partir de los 5 dds, en la etapa de plántula, se evaluó cada dos días la altura de las plantas con un flexómetro; además, se calculó el coeficiente de uniformidad de la altura de la plántula (CUAP), acorde a la ecuación plasmada en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones empleadas para las variables de germinación.

Variable	Ecuación	Unidades
Porcentaje de germinación	$PG = \left(\frac{N_s}{N} \right) * 100$	%
Potencial de germinación	$PotG = \left(\frac{N_{max}}{N} \right) * 100$	%
Tiempo medio de germinación	$TMG = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$	Días a germinación
Velocidad media de germinación	$VMG = \sum \left(\frac{n_i}{t_i} \right)$	Semillas germinadas / día

Índice de vigor	$IV = \frac{PG(\%) * A(cm)}{100}$	---
Volumen radicular	$VR = \frac{(M - Ms) * 1000}{(\rho_{arveja})}$	mm ³
Coefficiente de uniformidad de la altura de la plántula	$CUAP = \left(1 - \frac{Sd}{\mu}\right) * 100$	%

N_{max}: número máximo de semillas germinadas en un día.

N: número total de semillas sembradas.

N_s: número de semillas germinadas.

N_i: número de semillas germinadas en el i-ésimo día.

T_i: tiempo en días, para la germinación en el i-ésimo día.

M: masa fresca de las raíces (g).

M_s: masa medida en balanza cuando se sumergieron las raíces en agua,
 $\rho_{arveja} = 0,8 \text{ g/cm}^3$ (De Lucia y Assennato, 1993).

A: altura de plántula al final del ensayo.

Sd: desviación estándar de los datos de altura de plántula.

μ: promedio de los datos de altura de cada unidad experimental.

Fuente: autores

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con el fin de cumplir los supuestos para la realización posterior de un análisis de varianza (ANOVA) (P

$\leq 0,05$) y una prueba de Tukey ($P \leq 0,05$), y así determinar las diferencias significativas para clasificar los tratamientos. Se utilizó el programa estadístico SAS v. 9,1e [fabricado por SAS Institute Inc.].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación [PG]

El PG tuvo diferencias significativas entre tratamientos a los seis, siete y ocho dds. Se observa que el tratamiento control, a pesar de presentar un menor por-

centaje al inicio de la emergencia [0,83 %] de las semillas, con el tiempo fue mejorando progresivamente y a los 14 dds logró alcanzar el mayor valor de PG [65,83 %] que los demás tratamientos [Figura 1]. Asimismo, la aplicación de 200 mg

L⁻¹ obtuvo el mejor comportamiento en el PG [62,50 %] comparado con las dosis de 800 y 1 000 mg L⁻¹, los cuales crecieron en menor proporción y al final de las mediciones tan solo alcanzaron 54,17 % y 50,00 %, respectivamente.

Lo anterior concuerda con Lamichhane et al. (2021), quienes encontraron que aplicaciones de 200 mg L⁻¹ de GA₃, en semillas de *Abelmoshus sculentum*, alcanzaron el mayor PG [60,12 %], IV y VMG, lo que demuestra tres fases antes

de la emergencia de las plántulas: de imbibición, de latencia y de crecimiento radicular. Es bien sabido que una germinación más temprana y mejor sincronizada está asociada con un aumento de las actividades metabólicas en las semillas embebidas (Singh et al., 2017); en ese sentido, GA₃ afecta de forma positiva la germinación, la elongación del tallo y el crecimiento al sintetizarse en órganos de crecimiento activo, como semillas [endospermo en desarrollo], hojas jóvenes y raíces (Bagale et al., 2022).

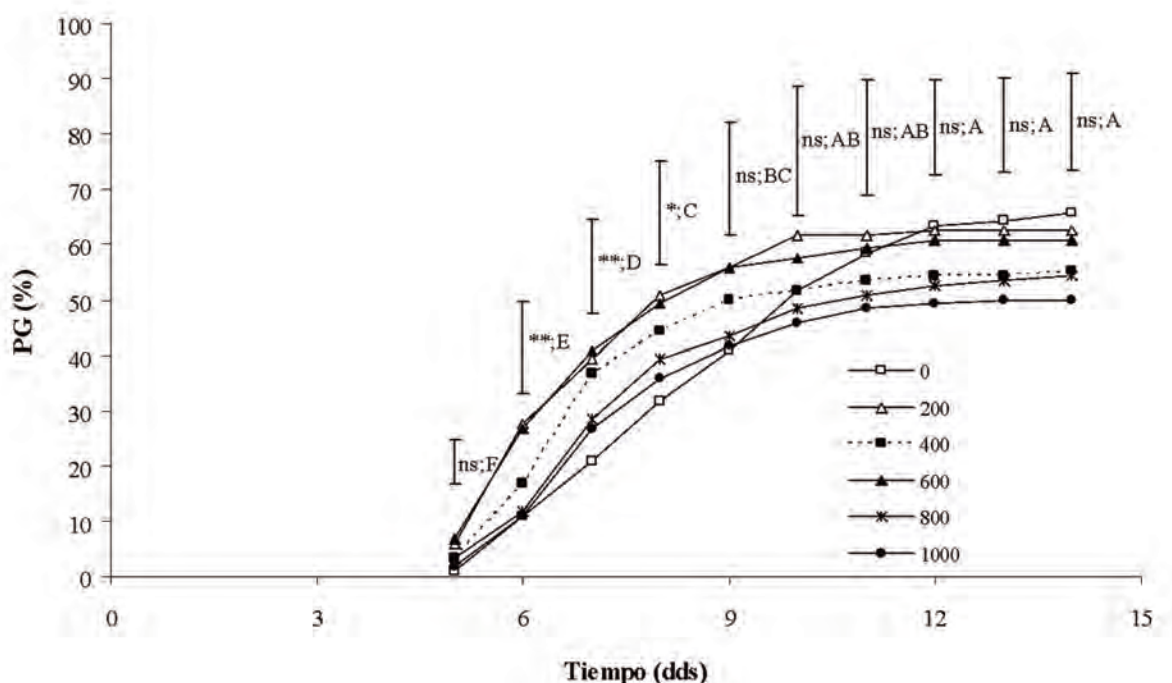


Figura 1. Porcentaje de germinación de plántulas de arveja provenientes de semillas sometidas a diferentes dosis de ácido giberélico. dds: días después de siembra. ns: no significativo, * y ** indican efecto significativo de acuerdo con el ANOVA [$P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente]. Letras antes y después del punto y coma indican diferencias significativas entre tratamientos y entre mediciones en el tiempo, respectivamente, según Tukey [$P \leq 0,05$]. Las barras verticales indican la diferencia mínima significativa, según Tukey, entre tratamientos [$P \leq 0,05$]. **Fuente:** autores.

Potencial de germinación [PotG]

El PotG no mostró diferencias significativas entre las distintas dosis de giberelinas aplicadas y tuvo un promedio general de 18,9 % [Tabla 2], lo que significa que aproximadamente 19 de cada 100 semillas brotaron el día de máxima germinación. Sin embargo, los tratamientos sin aplicación de GAs y con la dosis de 1 000 mg L⁻¹ tuvieron los menores valores de PotG [15,8 %]) y fueron un 29,6

% inferiores a los de la dosis de 400 mg L⁻¹, la cual obtuvo el mayor PotG. Estos valores son superiores a Ouerghi et al. (2016), quienes encontraron que el PotG en semillas de arveja fue de 8,85; así mismo, Xia et al. (2022) mencionan que las giberelinas incrementaron de manera significativa el PotG en un 11,8 % en semillas de algodón. Cabe resaltar que se recomienda aumentar el número de repeticiones con el fin de obtener valores de PotG menores y con mayor uniformidad de distribución en el tiempo.

Tabla 2. Variables de germinación medidas en semillas de arveja variedad 'Santa Isabel' sometidas a diferentes dosis de ácido giberélico.

Dosis de GAs (mg L ⁻¹)	PotG (%)	TMG (días)	VMG (No. de semillas germinadas por día)	IV	VR (mm ³)
0	15,83±1,59a	8,79±0,53a	2,38±0,15a	3,46±0,62b	39,06±11,90a
200	22,50±4,38a	7,16±0,23b	2,73±0,09a	10,71±0,82a	34,69±12,51a
400	22,50±3,69a	7,32±0,25b	2,33±0,12a	8,48±1,05a	43,75±9,39a
600	20,00±3,04a	7,16±0,15b	2,68±0,21a	11,38±1,25a	35,83±7,04a
800	16,67±2,35a	7,86±0,20ab	2,17±0,18a	8,85±0,88a	29,69±10,19a
1000	15,83±3,15a	7,85±0,18ab	2,01±0,21a	7,48±0,89ab	32,50±9,64a

GAs: Giberelinas; PotG: potencial de germinación; TMG: tiempo medio de germinación; VMG: velocidad media de germinación; IV: índice de vigor; VR: volumen radicular. Fuente: autores.

Tiempo medio de germinación [TMG]

Se presentaron diferencias significativas para el TMG [Tabla 2] en las que el tratamiento control registró los mayores valores [8,78 días], mientras que las aplicaciones de GAs mostraron un comportamiento similar entre sí; la dosis de

200 mg L⁻¹ obtuvo el menor promedio [7,16 días], lo que indica que las GAs ayudan a que se produzca una germinación de manera más rápida. Lo anterior es acorde a Ouerghi et al. (2016) quienes reportan valores de TMG de 6 ± 0,1 en plantas de arveja y mencionan que al someterlas a un estrés salino, estas aumentan el TMG. Del mismo modo, Gardarin



et al. (2016) mencionan que los valores de TMG son de 24, 32 y 34 grados día calor [GDC] para los cultivares de arveja 'Champagne', 'Térèsé' y 'Baccara', respectivamente, siendo las especies de origen tropical las que requieren mayor temperatura. Cabe resaltar que la germinación en semillas de arveja se hace lenta, debido a que la emergencia de la radícula de la semilla requiere el debilitamiento y la ruptura del entorno del endospermo, y también debido a que el TMG depende del sitio en donde la semilla acumule las reservas de fotoasimilados que, para el caso de la arveja, es en el embrión (Kalra & Bhatla, 2018).

Velocidad Media de germinación [VMG]

La VMD no tuvo diferencias estadísticas significativas para ninguna de las dosis evaluadas. La aplicación de 200 mg L⁻¹ registró el mayor promedio, con 2,7 semillas germinadas por día, mientras que la dosis de 1000 mg L⁻¹ tan solo alcanzó 2,0 semillas germinadas al día, cuyos valores son inferiores a Khatami & Ahmadinia (2018), quienes encontraron en arvejas un promedio de $3,6 \pm 0,1$ semillas germinadas por día. Cabe resaltar que algunos compuestos reactivos [oxígeno reactivo y nitrógeno] juegan un papel importante en el ajuste del ácido abscísico [ABA] y en la biosíntesis de las GAs durante la imbibición de las semillas. Con un buen contenido de agua y condiciones óptimas de temperatura cambia la proporción de ABA y GA, siendo esta última más alta, por lo que se promueve la germinación

de semillas a través de genes mediante la ruta de señalización de GA, usando como receptores los genes como SLY1 y GID1 (Reed et al., 2022).

Índice de Vigor [IV]

El IV tuvo diferencias significativas entre las dosis de GAs. El control tuvo los menores valores de IV [3,46], los cuales fueron un 63 % más bajos que el promedio de los tratamientos que recibieron la aplicación de GAs [9,37], y resultan similares a los encontrados por Ouerghie et al. (2016) de 6,53 para plantas de arveja sin estrés salino; sin embargo, todos estos valores resultan menores a los encontrados por Tsegay & Andargie (2018) para plántulas de arveja con y sin GA₃ de 33,89 y 21,8, respectivamente, lo cual se puede atribuir a que estos mismos autores suman la longitud de raíz dentro del cálculo del IV. Al respecto, Reed et al. (2022) mencionan que el IV depende de la relación ABA/GA y de la expresión de genes como el ABI4 en el endospermo, el cual está asociado a la adquisición de vigor por parte de la semilla en el embrión; de tal forma que, si aumenta la concentración de GAs, el ABI4 es inhibido (Bizouerne et al., 2021).

Volumen Radicular [VR]

El VR no se vio afectado de manera significativa por la aplicación de distintas dosis de GAs; sin embargo, la dosis de 400 mg L⁻¹ mostró los mayores valores promedio, de 43,75 mm³, seguido por el tratamiento control con 39,06 mm³, mientras que la dosis de 800 mg L⁻¹ ob-

tuvo los menores valores [29,69 mm³]. Lo anterior es acorde a lo reportado por Gangwar et al. (2011), quienes encontraron que las aplicaciones de GA₃ disminuyen la longitud de la raíz en comparación con los tratamientos control; sin embargo, no ocurre lo mismo en todas las dosis empleadas. Asimismo, Inada & Shimen (2000) reportan que las GAs no afectan directamente el crecimiento radicular y el desarrollo de la planta, pero sí pueden actuar anulando el efecto de inhibidor del Uniconazol-P.

Altura de la Plántula

Las dosis de GAs evaluadas afectaron de manera significativa la altura de la plántula [Figura 2]. El tratamiento con 600 mg L⁻¹ mostró los mayores valores durante todo el periodo de evaluación,

obteniendo un valor promedio de 18,55 cm a los 14 dds, seguido de la aplicación de 200 mg L⁻¹ con un promedio de 17,10 cm, mientras que el tratamiento control registró los menores valores [5,26 cm] al final del tiempo de medición. Al respecto, Khatami & Ahmadinia (2018) reportan alturas de 12 ± 0,3 cm, mientras que Javed et al. (2021) encontraron que, con aplicaciones foliares de 100 mg L⁻¹ de GA₃, la altura de la plántula alcanzó 40,1 cm a los 40 dds. Asimismo, Singh et al. (2017) reportan alturas de plántulas que oscilan entre 22 y 24 cm. Bajo las condiciones del presente estudio, es mejor no aplicar GA₃ con el fin de obtener plantas con menor porte, pero más robustas, ya que las semillas embebidas en GAs generaron plántulas altas, pero débiles con tallos muy delgados.

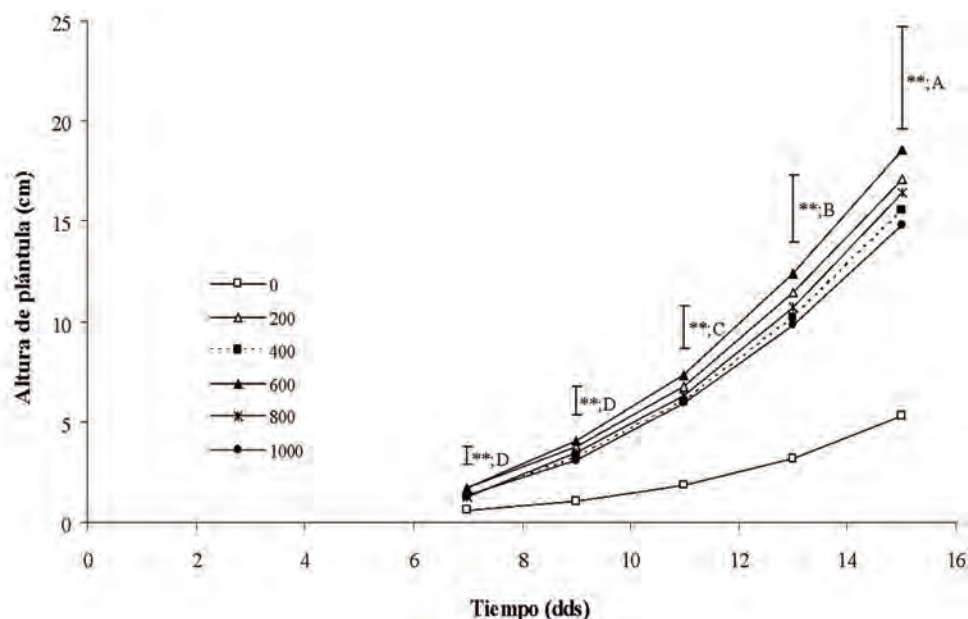


Figura 2. Altura de plántulas de arveja provenientes de semillas sometidas a diferentes dosis de ácido giberélico. dds: días después de siembra. ** indica efecto significativo de acuerdo con el ANOVA [$P \leq 0,01$]. Letras antes y después del punto y coma indican diferencias significativas entre tratamientos y entre mediciones en el tiempo, respectivamente, según Tukey [$P \leq 0,05$]. Las barras verticales indican la diferencia mínima significativa, según Tukey, entre tratamientos [$P \leq 0,05$]. **Fuente:** autores.

Es conocido que las GAs son diterpenoides, las cuales regulan el crecimiento de las plantas y el alargamiento celular influyendo en varios procesos de desarrollo, como la elongación del tallo y el alargamiento de entrenudos en las plantas. Debido a la acción de las GAs sobre el meristemo intercalar, estas participan tanto en la extensibilidad mecánica de las paredes celulares como en la relajación del estrés de estas; así, la tasa de elongación está influenciada tanto por la célula y la extensibilidad de la pared como por la velocidad de absorción del agua impulsada osmóticamente. Además, existe evidencia de que la enzima xiloglucano endotransglucosilasa [XET] participa en la extensión de la pared celular y esta es promovida por la acción de GAs; de tal manera, la XET cumple la función de facilitar la penetración de las expansinas en las microfibrillas de celulosa de la pared celular (Kalra & Bhatla, 2018). Así como las GAs estimulan el crecimiento de las plantas, también alivian los efectos inhibidores de diferentes factores estresantes abióticos en los atributos fisiológicos y de crecimiento de las plantas, como la acumulación de biomasa vegetal, clorofila, acumulación de minerales, intercambio de gases, fuga de electrolitos: así como la actividad de las especies reactivas de oxígeno (Javed et al., 2021).

Coeficiente de uniformidad de la altura de la plántula [CUAP]

Las dosis de GAs evaluadas no generaron diferencias significativas entre tra-

tamientos ni entre las mediciones realizadas en el tiempo para el CUAP, y mostraron valores promedio al final del ensayo de 49,94 % [$\pm 2,02$], los cuales se aprecian en Figura 3 y que resultaron inferiores a los obtenidos por Thakare et al. (2011), en *Cicer arietinum*, de 59,93 % para el coeficiente de uniformidad en la velocidad de germinación. Se obtuvo un modelo cuadrático entre el CUAP promedio para todos los tratamientos y el tiempo de germinación, el cual mostró un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9339$, lo que indica que gran parte de la varianza de los datos observados es explicada por el modelo. Del mismo modo, se aprecia que la uniformidad va aumentando conforme el tiempo de germinación avanza, debido a que las plantas van estabilizando su crecimiento en altura al ir generando nuevas hojas.

A pesar de que las dosis de 400, 600 y 800 mg L⁻¹ aumentaron el CUAP, no se puede inferir un efecto de las GAs sobre el crecimiento uniforme de las plántulas de arvejas. Lo anterior indica que la uniformidad de las plantas debe seguir siendo estudiada y otras variables, tanto ambientales como de nutrición y genética, deben tenerse en cuenta. Hoy, una práctica generalizada con el fin de mejorar la uniformidad de los cultivos es la del 'priming' en semillas, con el cual se aumentan los rendimientos y se reducen los tiempos de germinación (Reed et al., 2022).

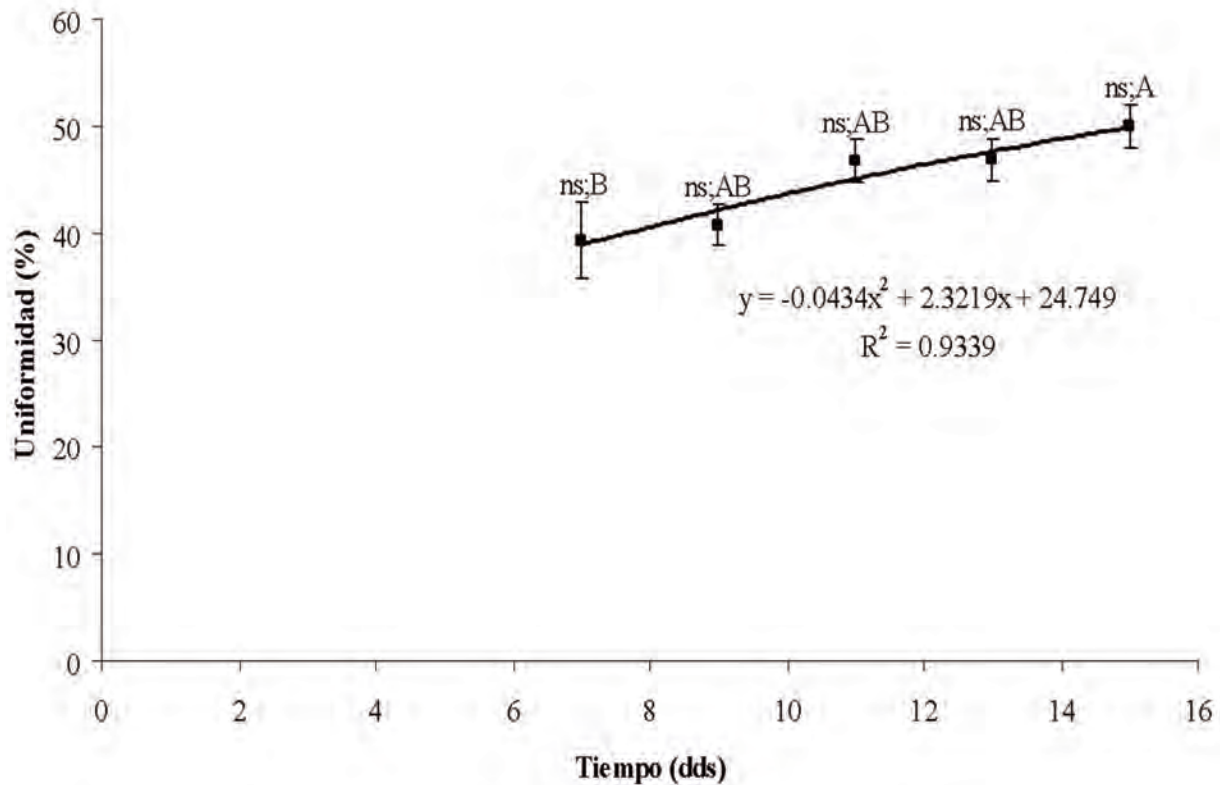


Figura 3. Uniformidad promedio de la altura de plántulas de arveja provenientes de semillas sometidas a dosis de giberelinas. **dds:** días después de siembra. **ns:** no significativo entre tratamientos de acuerdo con el ANOVA [$P \leq 0,05$]. Letras mayúsculas distintas después del punto y coma indican diferencias significativas entre las mediciones en el tiempo, según Tukey [$P \leq 0,05$]. Las barras verticales indican el error estándar [$n=24$]. **Fuente:** autores.

Masa seca de raíz [MSR]

Las diferentes dosis de giberelinas aplicadas a las semillas no afectaron estadísticamente la MSR de las plántulas de arveja [Figura 4A]; no obstante, las dosis más bajas de GAs [0 y 200 mg L⁻¹] tuvieron valores más altos con 0,65 g [0,0373 g por planta], mientras que las dosis más altas de GAs [800 y 1000 mg

L⁻¹] mostraron valores de 0,43 g [0,024 g por planta] en promedio, cuyos datos son similares a los reportados [0,02 g] por Tsegay & Andargie (2018). En contraste, uno de los efectos de las GAs es la promoción del crecimiento en las raíces, debido a que regulan la división de las células al acortar el ciclo celular, induciendo la síntesis de ácido desoxirribonucleico (Kalra & Bhatla, 2018).

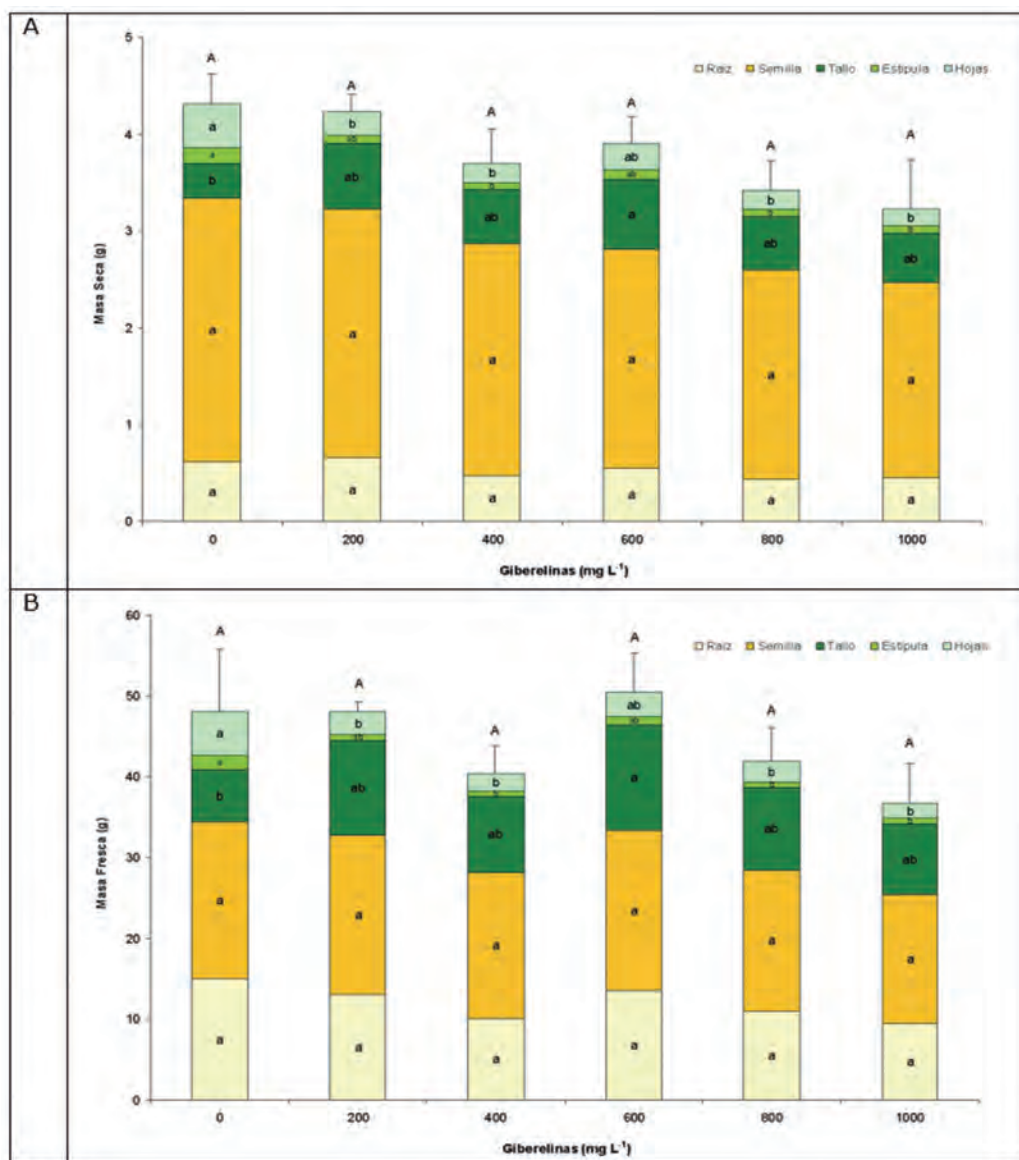


Figura 4. A) Masa seca y B) Masa fresca de raíz, semilla, tallo, estípula y hojas de plántulas de arveja provenientes de semillas sometidas a diferentes dosis de giberelinas. Letras minúsculas y mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para el mismo órgano de la plántula y para las masas totales, respectivamente, según Tukey [$P \leq 0,05$]. Las barras verticales indican el error estándar [$n=24$]. **Fuente:** autores.

Masa Fresca de raíz (MFR)

La MFR en las plántulas de arveja no se vio afectada por la aplicación de diferentes dosis de GAs [Figura 4B]; sin embargo, el tratamiento control mostró los mayores valores [0,75 g por planta], mientras que la dosis con la aplicación

de 1 000 mg L⁻¹, obtuvo los menores valores [0,63 g por planta], los cuales son superiores a los reportados por Tsegay & Andargie (2018) para arveja, variedad 'abyssinicum', que oscilan entre 0,23 y 0,25 g. Lo anterior es acorde a Inada & Shimen (2000), quienes mencionan que



a menudo las GAs no tienen un efecto marcado en la elongación de raíces y que el efecto depende de la especie y las condiciones del experimento. Así mismo, Ubeda-Tomás et al. (2008) mencionan que las GAs juegan un papel clave en la expansión celular, el cual produce el alargamiento de la zona radicular y cuya acción depende de la eliminación efectiva del efecto represor producido por las proteínas DELLA en la endodermis. Por otro lado, es probable que las dosis de GAs empleadas sean muy altas y causen un efecto adverso en la acumulación de masa fresca de la raíz tal como ocurrió en zanahorias, en las que la aplicación de 150 mg L^{-1} de GAs disminuyó el diámetro y la masa de raíz (Wang et al., 2015).

Masa seca de tallos [MSTA]

La MSTA presentó diferencias significativas entre las dosis de giberelinas. La aplicación de GAs, en dosis de 600 mg L^{-1} , generó la mayor cantidad de MSTA en comparación con el control, el cual fue un 51,4 % menor; lo anterior resalta el efecto de las GAs en la acumulación de masa en los tallos. No obstante, Kalra & Bhatla (2018) mencionan que uno de los efectos de las GAs es la disminución del grosor del tallo, y la elongación de los entrenudos; sin embargo, en este estudio se pudo visualizar que, las GAs favorecen la acumulación de MSTA.

Masa fresca de tallos [MFTA]

La aplicación de GAs causó diferencias estadísticas en las MFTA, la dosis de 400

mg L^{-1} tuvo un 102 % más de MFTA que el control. Por lo tanto, se puede mencionar que las GAs, afectan en mayor proporción la MFTA que la MSTA y que podrían favorecer la retención de agua por parte de los tejidos. Esto es similar a lo encontrado por Chauhan et al. (2019), quienes encontraron incrementos en el contenido de agua en los tejidos cuando se aplicó 150 mg L^{-1} de GA_3 en avena, variedad 'NDO-2', lo que ratifica el papel de las GA_3 en la inducción de la tolerancia al estrés. Así mismo, las GAs promueven un incremento significativo de la prolina, lo que ayuda a mantener a las células con altos contenidos hídricos (Dai et al., 2017).

Masa seca de hojas [MSHO]

Las dosis de GAs tuvieron un efecto significativo sobre la MSHO de las plántulas de arveja. Al promediar la MSHO de los tratamientos con aplicación de GAs [$0,21 \text{ g por UE}$], esta fue un 51,3 % menor que el control [$0,44 \text{ g por UE}$]; lo que implica que las GAs disminuyen la masa acumulada en las hojas. Lo anterior es acorde con el estudio de Kalra & Bhatla (2018), quienes mencionan que, así como el tamaño de las hojas disminuye, también se presenta una coloración verde claro en las hojas de plantas con aplicación de GAs.

Masa Fresca de hojas [MFHO]

La MFHO se vio afectada de manera significativa por la aplicación de GAs a las semillas de arveja, ya que la MFHO del control [$5,31 \text{ g por UE}$] fue superior



en un 116 % al promedio de los tratamientos con GAs [2,45 g por UE], lo que implica que la aplicación de GAs disminuye la MFHO y por ende el tamaño, de acuerdo con Kalra & Bhatla (2018).

Masa seca de estípula [MSE]

La MSE de las plántulas de arveja mostró diferencias estadísticas significativas entre las dosis de GAS aplicadas. En concordancia, el control generó un 140 % más de MSE que la dosis de 400 mg L⁻¹ de GAs. Lo anterior indica que la aplicación de GAs también disminuye la MSE, acorde con la reducción que se produce en el tamaño de las hojas (Kalra & Bhatla, 2018). Este hallazgo es similar a lo que encontraron Balaguera-López, Cárdenas-Hernández et al. (2009), quienes reportaron que el área foliar disminuyó de 82,97 a 68,53 cm² en plántulas sometidas a 0 y 900 mg L⁻¹ de GAs, respectivamente.

Masa Fresca de estípula [MFE]

La dosis de GAs afectó de manera significativa la MFE. El tratamiento control tuvo los valores más altos y en general fue un 124 % mayor que el promedio de los tratamientos que recibieron GAs, lo que implica que, en el presente estudio, la aplicación de giberelinas afecta negativamente y de forma similar tanto la MSE como la MFE.

Masa seca de semillas germinadas [MSS]

La MSS de las plántulas de arveja no presentó diferencias significativas entre

los tratamientos de GAS aplicados. No obstante, el tratamiento control tuvo un 35 % más de MSS que la dosis de 1000 mg L⁻¹ de GAs. Según la figura 4, se puede afirmar que, conforme se incrementó la dosis de GAs, la MSS disminuyó, lo que significa que la semilla transfiere menor cantidad de fotoasimilados a los demás órganos de la planta cuando está sometida al efecto de las GAs. Esto implica que la aplicación de GAs en semillas de arveja aceleró la traslocación de fotoasimilados, principalmente desde la semilla hacia el tallo y en menor medida hacia los demás órganos de crecimiento.

Masa Fresca de semillas germinadas [MFS]

La MFS de las plántulas de arveja no mostró diferencias significativas entre las dosis de GAs aplicadas y presentó en promedio un valor de 1,05 g por planta. En este sentido, es probable que la ausencia de diferencias significativas se produzca debido a que el contenido endógeno de las GAs es suficiente para garantizar el debilitamiento del endospermo y facilitar la movilización de reservas al embrión. De igual manera, durante el crecimiento, las GAs realizan una distribución de fotoasimilados homogénea hacia los diferentes órganos de la plántula (Ribalta et al., 2019).

Masa seca total [MSTO]

La MSTO de las plantas de arveja no tuvo diferencias significativas entre las distintas dosis de GAs [Figura 4A]. No



obstante, la aplicación de estas disminuyó, en promedio, un 14,2 % la MSTO frente al control; además, conforme se elevó la concentración de GAs aplicadas, la MSTO disminuyó. En contraste, Tsegay & Andargie (2018) encontraron que la aplicación de GA_3 aumentó de 0,03 a 0,04 g la masa total de las plántulas de arveja, variedad 'abyssinicum'. A pesar de que no hubo diferencias en la MSTO, el efecto de las GAs se reflejó directamente en el aumento de la masa seca y fresca del tallo, y en la disminución de la masa seca de hojas y estípula, mientras que no hubo efecto sobre las raíces ni en el remanente de la semilla.

Masa Fresca total [MFTO]

La MFTO no presentó diferencias significativas entre las dosis de GAs aplicadas y tuvo un promedio general de

2,53 g [Figura 4B]; no obstante, Tsegay & Andargie (2018), al aplicar 200 mg L⁻¹ de GA_3 , lograron aumentar de 0,43 a 0,54 g la masa fresca de brotes y raíces en arveja sembrada en cajas de Petri. Estos aumentos son atribuidos a la activación de genes específicos que causa la giberelina para la transcripción del ARNm de la α -amilasa, la cual facilita la degradación del almidón y hace que los fotoasimilados estén disponibles para el embrión recién germinado. Así mismo, las GAs también inducen la producción de otras enzimas vitales para la germinación como las amilasas, catalasas y peroxidasas (Devika et al., 2021) y cualquier aumento en la actividad de estas da como resultado una germinación temprana y vigorosa, así como un buen establecimiento del cultivo (Tsegay & Andargie, 2018).

4. CONCLUSIONES

Las semillas sin aplicación de GAs mostraron los valores más bajos de PG al comienzo del ensayo pero al final terminaron con los valores más altos, lo que implica que la aplicación de GAs disminuye el TMG. La aplicación de GAs en semillas de arveja no afectó la MSTO ni la MFTO de las plántulas ni tampoco la MSR ni la MFR. No obstante, las GAs promovieron la redistribución de fotoasimilados al aumentar la MSTA y la MFTA, a costa de la disminución de

la masa seca y fresca en hojas y estípulas. Conforme aumentó la dosis de GAs se incrementó la traslocación de fotoasimilados desde la semilla hacia el tallo principalmente. La aplicación de GAs generó plantas con mayor altura, pero con tallos más delgados; mientras que las plántulas provenientes de semillas sin GAs fueron más pequeñas, pero con mayor robustez, la cual se vio reflejada en mayor masa fresca y seca de hojas y en una mayor aptitud para el trasplante.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Marilcen Jaime-Guerrero: metodología, logística, análisis de datos, investigación, escritura, borrador original.

Javier G. Álvarez-Herrera: metodología, análisis de datos, investigación, conceptualización, escritura, revisión, edición y supervisión.

Jesús H. Camacho-Tamayo: escritura, análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Ciencia, tecnología e innovación [Minciencias] por la financiación del proyecto titulado “Análisis del efecto interactivo del estrés hídrico y la fenología sobre la fotosíntesis y el rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.)” en la convocatoria 890; y a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de

Colombia [UPTC] por el apoyo en el proyecto SGI 3335 “Efecto de 24-epibrassinolida en el crecimiento, fotosíntesis y producción de arveja (*Pisum sativum* L.) bajo déficit hídrico”. A Sebastián Torres, Richard Roncancio y Marcela Arias por la colaboración en el desarrollo del proyecto.

LITERATURA CITADA

Agronet. (2022). *Estadísticas agrícolas: Área, producción, rendimiento y participación en el cultivo de arveja*. https://www.agronet.gov.co/Documents/8-ARVEJA_2017.pdf

Ayele, B. T., Ozga, J. A., Wickramaratna, A. D. & Reinecke, D. M. (2012). Gibberellin metabolism and transport during germination and young seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of plant growth regulation*, 31, 235-252. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9234-8>

Bagale, P., Pandey, S., Regmi, P. & Bhusal, S. (2022). Role of plant growth regulator “gibberellins” in vegetable production: an overview. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(3), 291-299. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.329114.495>

Balaguera-López, H. E., Deaquiz, Y. A. y Álvarez-Herrera, J. G. (2009). Plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de giberelinas (GA₃). *Agronomía Colombiana*,



- 27(1), 57-64. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11360>
- Balaguera-López, H. E., Cárdenas-Hernández, J. F. & Álvarez-Herrera, J. G. (2009). Effect of gibberellic acid (GA₃) on seed germination and growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Horticulturae*, 821, 141-148. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.821.15>
- Bizouerne, E., Buitink, J., Vu, B. L., Vu, J. L., Esteban, E., Pasha, A., Provart, N., Verdier, J. & Leprince, O. (2021). Gene co-expression analysis of tomato seed maturation reveals tissue-specific regulatory networks and hubs associated with the acquisition of desiccation tolerance and seed vigour. *BMC plant biology*, 21(1), 1-23. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02889-8>
- Bohórquez-Sandoval, C., Álvarez-Herrera, J. G. y Niño-Medina, R. C. (2011). Giberelinas y 6-bencilaminopurina en la plantulación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido adrale RZ F1. *Temas Agrarios*, 16(2), 42-53. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/690/806>
- Cantaro-Segura, H. & Huaranga-Joaquín, A. (2021). Interaction of triacontanol with other plant growth regulators on morphology and yield of field pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomía Colombiana*, 39(2), 187-195. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n2.94096>
- Chauhan, A., AbuAmarah, B. A., Kumar, A., Verma, J. S., Ghramh, H. A., Khan, K. A. & Ansari, M. J. (2019). Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of Oat cultivars. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1298-1304. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.04.014>
- Dai, L. Y., Zhu, H. D., Yin, K. D., Du, J. D. & Zhang, Y. X. (2017). Seed priming mitigates the effects of saline-alkali stress in soybean seedlings. *Chilean journal of agricultural research*, 77(2), 118-125. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392017000200118>
- De Lucia, M. y Assennato, M. (1993). *La ingeniería agraria en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/X5041S/X5041S00.htm>
- Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J. & Rakshit, A. (2021). Seed priming: a potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. *Frontier in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001>
- Gangwar, S., Singh, V. P., Srivastava, P. K. & Maurya, J. N. (2011). Modification of chromium (VI) phytotoxicity by exogenous gibberellic acid application in *Pisum sativum* (L.) seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(4),

- 1385-1397. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0672-x>
- Gardarin, A., Coste, F., Wagner, M. H. & Dürr, C. (2016). How do seed and seedling traits influence germination and emergence parameters in crop species, a comparative analysis. *Seed Science Research*, 26(04), 317-331. <https://doi.org/10.1017/S0960258516000210>
- Inada, S. & Shimmen, T. (2000). Regulation of elongation growth by gibberellin in root segments of *Lemna minor*. *Plant and Cell Physiology*, 41(8), 932-939. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp018>
- Javed, T., Ali, M. M., Shabbir, R., Anwar, R., Afzal, I. & Mauro, R. P. (2021). Alleviation of copper-induced stress in pea (*Pisum sativum* L.) through foliar application of gibberellic acid. *Biology*, 10(2), 120. <https://doi.org/10.3390/biology10020120>
- Kalra, G. & Bhatla, S. C. (2018). Gibberellins. En S. C. Bhatla y M. A. Lal (Eds.). *Plant physiology, Development and Metabolism* (pp. 617-628). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_17
- Khatami, S. & Ahmadiania, A. (2018). Increased germination and growth rates of pea and Zucchini seed by FSG plasma. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 12, 33-38 <https://doi.org/10.1007/s40094-018-0280-5>
- Lamichhane, A., Mamata, K. C., Shrestha, M. & Binaya, B. (2021). Effect of seed priming on germination of Okra (*Abelmoschus esculentus* var. Arka Anamika). *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*, 5(2), 111-114. <http://doi.org/10.26480/mjsa.02.2021.111.114>
- Li, X., Yang, X., Li, X., Zhao, Z., Zhang, Z., Lin, H., Kang, D. & Shen, Y. (2022). Nondestructive in situ monitoring of pea seeds germination using optical coherence tomography. *Plant Direct*, 6(7). <https://doi.org/10.1002/pld3.428>
- Miransari, M. & Smith, D. L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X. & Qiu, L. (2019). Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review. *International journal of molecular sciences*, 20(10), 2541. <https://doi.org/10.3390/ijms20102541>
- Ouerghi, K., Abdi, N., Maazaoui, H., Hmissi, I., Bouraoui, M. & Sifi, B. (2016). Physiological and morphological characteristics of pea (*Pisum sativum* L.) seeds under salt stress. *Journal of new sciences*, 28(1), 1559-1565. <https://www.jnsciences.org/agri-bio-tech/36-volume-28/148-physiological-and-morphological-characteristics-of-pea-pisum-sativum-l-seeds-under-salt-stress.html>
- Padilla, L. G. & Zurita, J. H. (2015). Assessment of wax coatings in postharvest preservation of the pea (*Pisum sativum* L.) var. Santa Isabel. *Agrono-*

- mía Colombiana*, 33(1), 84-91. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n1.44543>.
- Reed, R. C., Bradford, K. J. & Khaday, I. (2022). Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128, 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
- Ribalta, F. M., Pazos-Navarro, M., Edwards, K., Ross, J. J., Croser, J. S. & Ochatt, S. J. (2019) Expression Patterns of Key Hormones Related to Pea (*Pisum sativum* L.) Embryo Physiological Maturity Shift in Response to Accelerated Growth Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1154. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01154>
- Singh, S., Lal, G. M., Bara, B. M. & Mishra, S. N. (2017). Effect of hydro-priming and osmopriming on seed vigour and germination of Pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3), 820-824. <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue3/PartM/6-3-164-770.pdf>
- Thakare, U., Patil, N. & Malpathak, N. (2011). Performance of chick pea under the influence of gibberellic acid and oxygenated peptone during germination. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2, 40-45. <http://dx.doi.org/10.4236/abb.2011.21007>
- Teixeira, M. P., Campos, C. N. S., Prado, R., Caione, G., Mingotte, F. L. y Agostinho, F. B. (2017). Secado de tejido de plantas con microondas para el análisis nutricional en *Corymbia citriodora* (Hook.) y *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. *Agrociencia*, 51(5), 555-560. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30252307006.pdf>
- Tsegay, B. A. & Andargie, M. (2018). Seed Priming with gibberellic acid (GA₃) alleviates salinity induced inhibition of germination and seedling growth of *Zea mays* L., *Pisum sativum* Var. *abyssinicum* A. Braun and *Lathyrus sativus* L. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21(3), 261-267. <https://doi.org/10.1007/s12892-018-0043-0>
- Ubeda-Tomás, S., Swarup, R., Coates, J., Swarup, K., Laplaze, L., Beemster, G. T. S., Hedden, P., Bhalerao, R. & Bennett, M. J. (2008). Root growth in *Arabidopsis* requires gibberellin/DELLA signalling in the endodermis. *Nature Cell Biology*, 10(5), 625-628. <https://doi.org/10.1038/ncb1726>
- Wang, G. L., Que, F., Xu, Z. S., Wang, F. & Xiong, A. S. (2015). Exogenous gibberellin altered morphology, anatomic and transcriptional regulatory networks of hormones in carrot root and shoot. *BMC Plant Biology*, 15, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0679-y>
- Xia, J., Hao, X., Wang, T., Li, H., Shi, X., Liu, Y. & Luo, H. (2022). Seed priming with gibberellin regulates the germination of cotton seeds under low temperature conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10549-2>

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 recibido: 23/08/2022

Fecha aceptado: 14/12/2022

DOI: 10.22490/21456453.6144

EVALUATION OF THE PRODUCTIVE PERFORMANCE OF COLOMBIAN HAIR SHEEP BASED ON GROWTH TRAITS

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN OVINOS DE PELO COLOMBIANO A TRAVÉS DE CARACTERES DE CRECIMIENTO

Yineth Alexandra Palacios-Erazo ¹

Manuel Fernando Ariza-Botero ²

Moris de Jesús Bustamante-Yáñez ³

Oscar David Vergara-Garay ⁴

Luz Ángela Álvarez-Franco ⁵

¹ Ph.D National University of Colombia, Faculty of Agricultural Sciences,
Research Group on Animal Genetic Resources, Palmira – Colombia

ypalaciose@unal.edu.co

² Ph.D. National University of Colombia,
Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, Research Group on Animal Molecular
Genetics, Bogotá – Colombia

mfarizab@unal.edu.co

³ M.Sc., University of Córdoba, Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics,
Research Group on Tropical Animal Production, Montería – Colombia

moribustamante@correo.unicordoba.edu.co

⁴ Dr.Sc., University of Córdoba, Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics,
Research Group on Tropical Animal Production, Montería – Colombia

overgara@correo.unicordoba.edu.co

⁵ Ph.D., National University of Colombia, Faculty of Agricultural Sciences,
Research Group on Animal Genetic Resources, Palmira – Colombia

laalvarezf@unal.edu.co

Citación: Palacios-Erazo, Y., Ariza-Botero, M., Bustamante-Yáñez, M., Vergara-Garay, O. & Álvarez-Franco, L. (2023). Evaluation of the productive performance of Colombian hair sheep based on growth traits. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 113 - 129. <https://doi.org/10.22490/21456453.6144>

ABSTRACT

Contextualization: Colombian hair sheep [CHS] are animals of great importance, because they are genetic resource that has more than 500 years of adaptation to the environment; besides, these animals have a transcendental role in Colombia for their contribution to food security and family economy. However, a great part of the sheep production in the country presents low production parameters.

Knowledge gap: ignorance of Colombian hair sheep [CHS] biotypes' productivity has led to the undervaluation of the genetic resource found in these animals, accompanied by insufficient efforts to improve sheep production systems.

Purpose of the study: determine the productive performance of three biotypes of Colombian hair sheep.

Methodology: this study was conducted in these biotypes of hair sheep: Ethiopian [CHS_E] (40 individuals), Sudan [CHS_S] (60) and Creole crossed with Pelibuey [CHS_P] (60). Five growth traits [birth weight, adjusted weaning weight at 90 days, adjusted final wei-

ght at the age of 1 year, and pre-weaning and post-weaning weight gain] were evaluated. Descriptive statistical and variance analysis were performed based on fixed effect such as sex, farm, type of birth, parent, and season of birth. Also, a Duncan's multiple range test was performed.

Results and conclusions: CHS_E showed low productive parameters that were mostly affected by the variables sex and farm [$p \leq 0.05$]. CHS_S displayed a low to moderate productive performance and many traits were also affected by sex and farm [$p \leq 0.05$]. Lastly, CHS_P showed moderate to high productive parameters, which were mainly affected by parent, season, and type of birth [$p \leq 0.05$]. The results determined the productive performance of the three sheep biotypes, among which CHS_E showed low growth parameters, CHS_S showed low to moderate parameters, and CHS_P displayed moderate to high parameters. In all cases, the three biotypes were mostly affected by non-genetic variables.

Keywords: genetic resource, live weight, *Ovis aries*, weight gain.



RESUMEN

Contextualización: los ovinos de pelo colombianos son animales de gran importancia porque representan un recurso genético que contiene más de 500 años de adaptación al medio ambiente; además, juegan un papel trascendental ya que contribuyen a la seguridad alimentaria y a la economía familiar de Colombia. Sin embargo, una gran parte de la producción ovina del país presenta parámetros productivos bajos.

Vacío de conocimiento: el desconocimiento de la productividad de los biotipos de ovinos de pelo colombiano [OPC] ha causado que se subvalore el recurso genético de los ovinos que se encuentran en el país, acompañado de los insuficientes esfuerzos para mejorar los sistemas productivos ovinos.

Propósito del estudio: el objetivo de este estudio fue determinar el desempeño productivo de tres biotipos de ovinos de pelo colombiano.

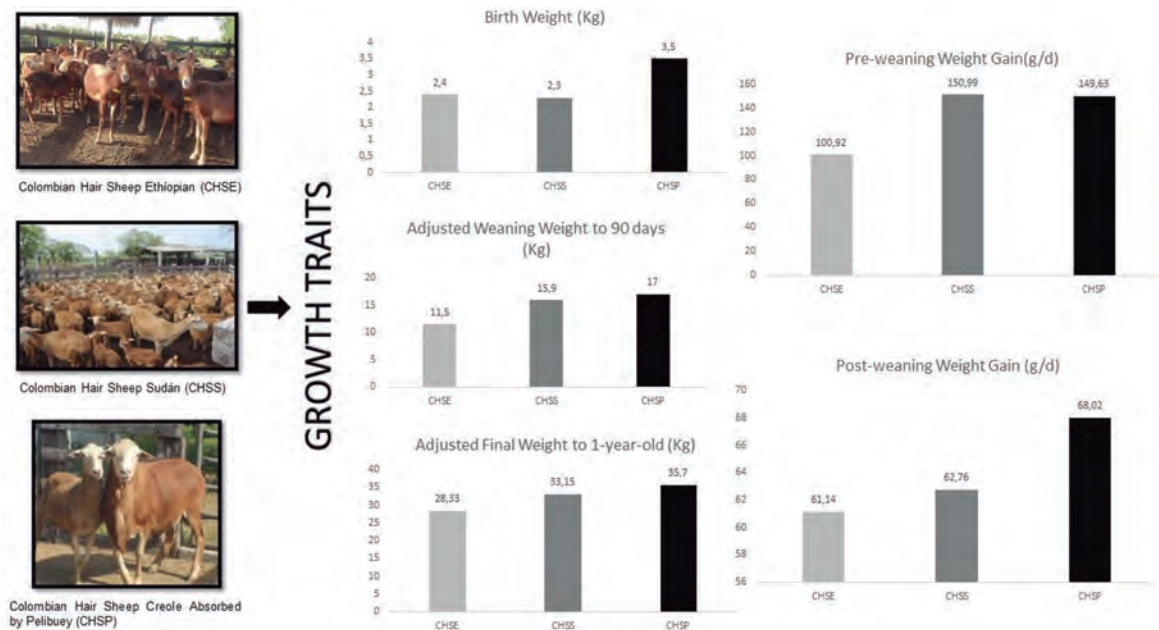
Metodología: este estudio fue llevado a cabo con los siguientes biotipos de ovinos: Etiope [OPC_E] (40 individuos), Sudán [OPC_S] (60) y criollos cruzados con Pelibuey [OPC_P] (60). Se evaluaron cinco características de crecimiento [peso al nacimiento, peso ajustado a los 90 días, peso final ajustado al año y ganancia de peso predestete y ganancia

de peso postdestete. Se realizó un análisis estadístico de carácter descriptivo y un análisis de varianza, en el que se consideraron los efectos fijos de sexo, finca, tipo de parto, padre y época de nacimiento. Además, se realizó la prueba de rango múltiple de Duncan.

Resultados y conclusiones: los OPC_E presentaron parámetros productivos bajos; los caracteres evaluados estuvieron, en su mayoría, influenciados por los efectos sexo y finca [$p \leq 0.05$]. Los OPC_S mostraron un desempeño productivo entre bajo y medio; el sexo y la finca afectaron [$p \leq 0.05$] la mayoría de las variables de respuesta. Los OPC_P obtuvieron parámetros productivos entre medios y altos; estuvieron influenciados principalmente por el padre, tipo de parto y época de nacimiento [$p \leq 0.05$] en la mayoría de los caracteres. Los resultados determinaron el desempeño productivo para los tres biotipos de esta forma: los OPC_E presentaron parámetros de crecimiento bajos; los OPC_S entre bajo y medio; los OPC_P entre medios y altos. En todos los casos, los tres biotipos estuvieron influenciados por efectos no genéticos en su mayoría.

Palabras clave: recurso genético, peso vivo, *Ovis aries*, ganancia de peso.

GRAPHIC SUMMARY



Source: authors

1. INTRODUCTION

Sheep are found worldwide due to their adaptation to different climatic conditions. Besides, these animals are used for meat, wool, milk, and manure production; therefore, they serve as a multi-purpose species (Knapik et al., 2017). The production of CHS, in Colombia, is distributed mainly in the Caribbean region and is performed under extensive and transhumance farming systems with a low technological level. These production systems belong mostly to farmers and indigenous groups. The diet of sheep depends on the availability of forage, and breeding is done using reproducers of the same biotypes in the region. Sheep are also produced under

mixed farming systems, in which production occurs alongside cattle or agricultural activities with a more developed technological level (Corpoica, 2007).

CHS produce meat in environments where other species are not able to. Besides, these animals display advantages such as high fertility and prolificacy, disease resistance, and a docile character. Also, sheep feed on harvest products and subproducts (Arcos et al., 2002), being able to transform low nutritional quality food into protein [meat] (Simanca et al., 2016). Sheep also have an important role in food security and in the economy of small-scale producers (Acerro-Plazas, 2014). However, there is in-



sufficient research about these animals, as well as scarce genetic improvement programs to optimize the productive parameters (Simanca et al., 2016).

In Colombian sheep farming, production parameters and productivity are low due to marginality in these production systems (Arcos et al., 2002), the climatic conditions that affect forage quality and availability -particularly in the dry season- (Maza et al., 2015), high levels of inbreeding, and sanitary problems (Arcos et al., 2002). Furthermore, the lack of information about growth traits creates the need to define parameters that allow to evaluate the behavior of CHS under tropical conditions.

It is also important to establish genetic improvement programs to enhance the productive and reproductive parameters of sheep (Vergara et al., 2017). However, recent developments in sheep production and agroindustry have prompted the introduction of foreign breeds, the use of equipment and technology, technical training, among others, to satisfy the demand for sheep products (Asoovinos, 2010). The expectations for this sector have increased because of the technification of sheep production chain and commercialization (Simanca et al., 2016). Accordingly, this study aimed to determine the productive performance of three biotypes of CHS.

2. MATERIALS AND METHODS

Animals. 160 Creole hair sheep [122 males and 38 females] of the Ethiopian [CHS_E], Sudan [CHS_S] and Creole crossed with Pelibuey [CHS_P] biotypes were studied in the departments of Cesar, Córdoba, and Valle del Cauca in Colombia.

Measurements of live animals. A total of 160 individuals were used in this study. The sheep were identified based on the tattoo on their ear or tail. The measurements of birth weight [BW] during the first 24 hours, adjusted weaning weight to 90 days [AWW], adjusted final weight to 1 year [AFW], pre-weaning weight gain [WGPRE], and post-weaning weight gain [WGPOS] were recorded.

From the first biotype, 40 CHS_E individuals [21 males and 19 females] born in wet [May – November] or dry seasons [December - April] were assessed. The animals belonged to five farms, including four from the department of Córdoba [located in the municipalities of Chimá, Los Córdoba, San Andrés de Sotavento and San Pelayo] and one farm from the department of Cesar [settled in Valledupar] [Table 1]. The individuals were maintained under an extensive production system with Angleton [*Dichantium aristatum*], Brachiaras [*Brachiaria* sp.], Colosuana [*Bothriochloa pertusa*], and Guinea [*Megathyrsus maximus*] pastures.

Table 1. Location and climatic description of the municipalities.

Municipality	Location	Altitude m a. s. l.	Temperature °C	Classification of Holdridge
Chimá	9° 11' North latitude and 75° 33' West longitude	7	28	Tropical dry forest
Chimichagua	9° 15' North latitude and 73° 48' West longitude	49	30-40	Tropical dry forest
Ciénaga de Oro	8° 52' North latitude and 76° 32' West longitude	13	27	Tropical dry forest
El Cerrito	3° 27' North latitude and 73° 48' West longitude	1000	24	Tropical dry forest
Los Córdoba	8° 54' North latitude and 76° 21' West longitude	40	31	Tropical dry forest
San Andrés de Sotavento	9° 08' North latitude and 57° 30' West longitude	100	28	Tropical dry forest
San Pelayo	8° 58' North latitude and 75° 51' West longitude	8-235	28	Tropical dry forest
Valledupar	10° 29' North latitude and 73° 15' West longitude	168	28.4	Tropical very dry forest

Source: Holdridge [2000]

From the second biotype, 60 CHS_s animals [41 males and 19 females] born in the wet [May – November] or dry seasons [December - April] were evaluated. The animals belonged to six farms, five from the department of Cesar [four located in Valledupar and one in Chimichagua] and one farm from Córdoba, located in Ciénaga de Oro [Table 1]. The diet of the animals was mainly based on Colosuana [*Bothriochloa pertusa*], Angleton [*Dichantium aristatum*], and Guinea [*Megathyrsus maximus*] pastures.

Finally, From the third biotype [CHS_p], 60 males born in wet or dry seasons were studied. The climate in the area was bimodal with four seasons [wet 1: March - May; wet 2: October - November; dry 1: December - February; dry 2: June – September]. The animals belonged to a farm located in El Cerrito, a department of Valle del Cauca [Table 1]. The production system was associated with sugarcane crops [*Saccharum officinarum*], due to the high selective capacity of sheep that contributes to weed control in the border areas and within the sugarcane crop area from the third



month of age. The animals at this farm are selectively bred; therefore, a family structure of 60 offspring from 6 parents [10 from each parent] was available.

The sheep of the three biotypes were bred through natural mating and all the routine sanitary management protocols were fulfilled, including deworming, vitamination, and vaccination; vaccination is done based on the disease prevalence in each region. According to the Holdridge life zone system, all the municipalities correspond to a Tropical Dry Forest zone, except for Valledupar, which is classified as a Tropical Very Dry Forest zone. Table 1 provides a climatic description of the municipalities included in this study.

Statistical analyses. A descriptive analysis of all the study traits was performed: birth weight [BW] during the first 24 hours, adjusted weaning weight to 90 days [AWW], adjusted final weight to 1-year-old [AFW], pre-weaning weight gain [WGPRE], and post-weaning weight gain [WGPOS]. The data were analyzed by GLM least squares with age as a covariable, using S. A. S 9.4 statistical package Statistical Analysis System Institute (SAS, 2013). Two fixed models, since the non-genetic effects did not vary among biotypes, were used.

The effects considered were sex, farm, type of birth, parent, and birth season. The first model [Equation 1] was used to analyze CHS_E and CHS_S , which included the following non-genetic effects: sex [male-female], farm [1B, 1C, 1G, 1I, 1U, 2A, 2C, 2P, 2SJ, 2VC, and 2VL], and season of birth [dry and wet]. The se-

cond fixed model [Equation 2] was used for CHS_P and included the following non-genetic effects: parent [1, 2, 3, 4, 5, and 6], type of birth [single or multiple], and season of birth [dry 1, dry 2, wet 1, and wet 2]. The variable parent was considered a fixed effect given the low number of offspring per parent.

Model for CHS_E and CHS_S

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + F_j + EN_k + \epsilon_{ijkl}$$

(Equation 1)

Y_{ijkl} = BW, AWW, AFW, WGPRE, WGPOS

μ = general mean

S_i = fixed effect of the i-th sex

F_j = fixed effect of the j-th farm

EN_k = fixed effect of the k-th season of birth

ϵ_{ijkl} = random error

Model for CHS_P

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + TP_j + EN_k + \epsilon_{ijkl}$$

(Equation 2)

Y_{ijkl} = BW, AWW, AFW, WGPRE, WGPOS

μ = general mean

P_i = fixed effect of the i-th parent

TP_j = fixed effect of the j-th type of birth

EN_k = fixed effect of the j-th season of birth

ϵ_{ijkl} = random error

A Duncan's multiple range test was performed to detect significant differences among means using S.A.S. 9.4 (2013).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Ethiopian Colombian hair sheep. Table 2 shows the least squares means of the growth traits [BW, AWW, AFW, WGP_{RE}, and WG_{POS}] for CHS_E as

well as the results of the mean difference test for the variables sex [S], farm [F], and season of birth [SB].

Table 2. Comparison of the mean values of the growth traits of CHSE in response to sex, farm, and season of birth.

Factor	n	BW (Kg)	AWW (Kg)	AFW (Kg)	WGP _{RE} (g/d)	WG _{POS} (g/d)
General mean	40	2.4±0.6	11.5±3.3	28.3±6.2	100.9±36.9	61.1±18.2
Sex						
Female	19	2.5±0.6 ^a	11.5±3.1 ^a	24.5±4.9 ^b	100.9±33.9 ^a	51.6±16.2 ^b
Male	21	2.4±0.6 ^a	11.5±3.5 ^a	30.0±5.4 ^a	101.0±40.4 ^a	72.3±16.5 ^a
Farm						
1B	10	2.7±0.5 ^a	10.3±2.5 ^b	27.3±4.0 ^b	85.1±25.7 ^b	69.0±19.1 ^{ab}
1C	6	2.7±0.4 ^a	15.1±3.1 ^a	32.8±2.4 ^a	137.7±33.1 ^a	76.4±9.0 ^a
1G	10	2.9±0.5 ^a	9.6±1.3 ^b	25.5±3.8 ^{bc}	74.7±17.2 ^b	58.5±13.5 ^b
1I	10	1.8±0.3 ^b	11.0±2.5 ^b	22.7±3.8 ^c	101.8±26.1 ^b	45.8±18.1 ^c
2C	4	1.9±0.1 ^b	15.3±4.1 ^a	35.8±7.5 ^a	148.8±46.0 ^a	79.6±14.0 ^a
Season of Birth						
Wet	19	2.6±0.6 ^a	11.4±2.9 ^a	26.5±5.5 ^a	98.4±33.8 ^a	56.3±18.1 ^b
Dry	21	2.3±0.6 ^b	11.6±3.6 ^a	28.2±6.1 ^a	103.2±41.0 ^a	68.5±19.0 ^a

n = number of observations; values with a different superindex (a, b, c) in the same column indicate a difference of means. **Source:** authors

The CHS_E shows BW, AFW, WGP_{RE} and WG_{POS} values above those reported by Ucros (2001) for Ethiopian biotype in the Savanna of Sucre, while AWW and AFW was lower than the va-

lue found by the same author; although Ucros (2001) did not specify the age of the sheep when AWW and AF were measured, which could have been older than the animals in our research and



therefore results were better. However, Montes-Vergara et al. (2022) found higher values in CHS for BW, AWW and WGPRES compared to those reported in the present study, which may have been due to better sheep management conditions on the farm. Further, Noriega-Márquez et al. (2022) obtained higher BW values in the treatment of CHS lambs with continuous suckling and in CHS with restricted suckling; and lower for AWW and WGPRES. However, they were weaned at 90 days, that is a younger age than the age of this study.

BW was affected by F, the individuals from farm systems 1B, 1C, and 1G showed the highest weights. This can be largely explained by the nutritional [forage abundance], genetic [phenotype-based selection of individuals], and reproductive [directed mating with select males] managements of these productive systems. It was also observed that BW was affected by SB, and the highest weight values were found in the wet season; this behavior is similar to the one found by Montes-Vergara et al. (2022). Differences were found in AWW and WGPRES among farms, given that 1C and 2C showed greater values.

AFW was affected by S and F, since males showed greater weights than females and individuals from farms 1C and 2C had the highest values, males weighed 5.5 Kg more than females. WGPOS was affected by S, F, and BS; for example, males showed 28.64% more weight gain than females and the highest values were found for individuals from farms 1C and 2C, as well as those born in the dry season. This relates to the fewer growth rate and smaller size of females compared to males (Dzib et al., 2011). Further, the production of testosterone and dihydrotestosterone -two potent anabolic agents- increases linear growth, weight gain, and muscle mass; therefore, males display greater body mass gain and weight than females (Álvarez et al., 2009).

Sudan Colombian hair sheep. Table 3 shows the least squares means of the growth traits [BW, AWW, AFW, WGPRES, and WGPOS] for CHS_y, as well as the results of the mean difference test for the variables sex [S], farm [F], and season of birth [SB].

Tabla 3. Comparison of the mean values of the growth traits of CHSs in response to sex, farm, and season of birth

Factor	n					
		BW (Kg)	AWW (Kg)	AFW (Kg)	WGPRES (g/d)	WGPOS (g/d)
General mean	60	2.3±0.6	15.9±3.7	33.2±6.4	151.0±40.8	62.8±19.3

Sex						
Female	19	2.2±0.8 ^a	14.4±2.7 ^b	28.8±5.4 ^b	135.9±30.7 ^b	55.0±20.0 ^b
Male	41	2.4±0.5 ^a	16.6±3.9 ^a	32.9±6.2 ^a	158.0±43.3 ^a	70.5±20.1 ^a
Farm						
2P	8	2.1±0.8 ^b	15.7±4.1 ^{ab}	29.2±6.2 ^{bc}	151.4±46.4 ^{ab}	69.1±14.0 ^{bc}
2A	9	2.6±0.5 ^a	18.4±3.8 ^a	32.1±4.4 ^b	174.6±38.1 ^a	72.0±20.0 ^b
2SJ	12	2.2±0.2 ^b	17.7±2.8 ^{ab}	39.6±5.1 ^a	171.9±30.8 ^a	87.0±10.6 ^a
1U	7	1.4±0.2 ^c	15.4±2.6 ^{ab}	27.5±6.5 ^c	155.2±27.7 ^{ab}	35.8±7.7 ^d
2VC	10	2.7±0.4 ^a	14.3±4.8 ^b	28.2±4.0 ^{bc}	129.1±51.5 ^b	54.8±13.9 ^c
2VL	14	2.5±0.5 ^{ab}	14.3±2.7 ^b	30.1±2.3 ^{bc}	131.6±30.4 ^b	63.5±19.2 ^{bc}
Sea- son of Birth						
Wet	15	2.5±0.7 ^a	15.8±3.9 ^a	30.4±5.8 ^a	147.7±40.0 ^a	75.2±18.8 ^a
Dry	45	2.2±0.5 ^b	15.9±3.7 ^a	31.9±6.4 ^a	152.1±41.5 ^a	62.3±20.9 ^b

n = number of observations; values with a different superindex (a, b, c) in the same column indicate a difference of means. **Source:** authors

The CHS_s showed high values for BW, AWW, WGP_{RE} and WG_{POS}, compared to the parameters reported by Ucross (2001) for Sudan biotype, while Noriega-Márquez et al. (2022) were only above for BW both in the treatment of CHS lambs with continuous suckling and CHS with a restricted one; this may have been due to the handling of the animals, and the use of only male lambs and from single births. Montes-Vergara et al., (2022) in CHS obtained a higher value of BW and lower of AWW, and a WGP_{RE} equal to that found in CHS_s. On the other hand, Maza et al. (2015) measured WG_{POS} in the Sudan biotype in response to two treatments, supplemented and non-supplemented, reporting greater weight gain [64.68 ± 8.1 g/d] compared to this study, under

the first treatment, and fewer weight gain [29.36 ± 9.4 g/d] under the second treatment. Most of the farms involved in this study do not use supplementation, which explains a lower WG_{POS} than the one reported by Maza et al. (2015).

BW was affected by F and BS, since the highest values were found for the individuals from systems 2A and 2VC and those born in the dry season. Montes-Vergara et al. (2022) also obtained the highest BW in the dry season. AWW, AFW, WGP_{RE}, and WG_{POS} were affected by S and F; besides, WG_{POS} was also affected by SB. For all traits, males showed higher weights than females; it was found that F affected all the parameters measured. Farms 2A and 2SJ showed the highest weights and weight gain since the animals from these farms

consumed carob [*Ceratonia siliqua*] and mesquite [*Prosopis juliflora*] fruits in harvest season. Besides, in both farms, there is supervised mating and reproduction after a selection process.

Several variables showed a greater weight gain in males individuals: for AWW, males displayed 2.2 Kg more than females; for AFW, this difference was 4.1 Kg; for WGP_{RE}, 22.1 g/d; and for WGPOS, 15.5 g/d. Montes et al (2018) reported the same effect of sex on AWW for CHS, while Arcos et al. (2002) found the same tendency for the other parameters. Moreover, Lupi et al. (2015) mention that the effect of S increases with age, and Macedo y Arredondo (2008) state that there is a predisposition associated with the physiological functions of both se-

xes, mostly due to hormonal effects that increase with age; also, it was found that SB affected BW and WGPOS. Accordingly, the wet season showed the highest BW and WGPOS values, exceeding the dry season by 300 g for BW and 12.9 g/d for weight gain; this could be attributed to a greater availability of forage in the wet season, which benefits pregnant ewes by promoting daily weight gain.

Colombian Creole hair sheep crossed with Pelibuey. Table 4 shows the least squares means of the growth traits [BW, AWW, AFW, WGP_{RE}, and WGPOS] for CHS_P, as well as the results of the mean difference test for the variables parent [P], type of birth [TB] and season of birth [SB].

Tabla 4. Comparison of the mean values of the growth traits of CHSP in response to parent, type of birth, and season of birth.

Factor	n	BW (Kg)	AWW (Kg)	AFW (Kg)	WGP _{RE} (g/d)	WGPOS (g/d)
General mean	60	3.5±0.7	17.0±3.1	35.7±3.3	149.6±33.3	68.0±11.6
Parent						
1	10	3.6±0.7 ^a	15.7±3.1 ^b	33.5±2.5 ^c	134.1±28.5 ^b	60.0±7.3 ^{bc}
2	10	3.4±0.6 ^a	18.1±3.4 ^a	34.6±2.7 ^c	162.7±33.4 ^a	56.9±9.4 ^c
3	10	3.3±0.6 ^a	19.0±2.2 ^a	41.7±2.6 ^a	174.8±22.3 ^a	70.6±9.9 ^a
4	10	3.3±0.6 ^a	18.1±3.1 ^a	37.7±2.5 ^b	164.4±32.3 ^a	69.3±11.5 ^a
5	10	3.7±0.5 ^a	15.3±3.0 ^b	37.0±3.5 ^b	128.6±30.1 ^b	66.5±10.0 ^{ab}
6	10	3.8±0.9 ^a	15.8±2.2 ^b	40.6±2.8 ^a	133.2±26.0 ^b	74.1±8.6 ^a
Type of birth						
S	21	3.9±0.6 ^a	18.9±2.8 ^a	37.1±3.5 ^a	167.6±29.9 ^a	59.9±9.8 ^b
M	39	3.4±0.7 ^b	16.0±2.7 ^b	37.7±4.3 ^a	139.2±31.2 ^b	69.6±9.0 ^a

Season of birth						
Wet 1	5	4.0±0.5 ^a	17.3±4.0 ^a	39.3±3.7 ^a	147.7±44.2 ^a	69.1±9.0 ^a
Dry 1	15	3.7±0.8 ^{ba}	15.0±1.7 ^b	38.6±3.6 ^{ab}	125.3±18.2 ^b	70.7±10.4 ^a
Wet 2	13	3.5±0.8 ^{ba}	17.3±2.8 ^a	36.9±5.7 ^c	153.9±28.1 ^a	64.9±9.9 ^a
Dry 2	27	3.4±0.6 ^b	17.9±3.3 ^a	36.8±3.1 ^c	161.5±34.2 ^a	63.8±11.6 ^a

n = number of observations; values with a different superindex (a, b, c) in the same column indicate a difference of means. **Source:** authors

BW, AWW and WGPRES values were above those reported in Pelibuey sheep by Hinojosa-Cuellar et al. (2012) and Quiroz et al. (2012); CHS also was higher than the value reported by Noriega-Márquez et al. (2022) and Montes-Vergara et al. (2022) for the first two variables. For Lenis-Valencia et al. (2022), who used a cross between CHS x Pelibuey, were found higher values for BW and WGPRES, and lower for AWW. On the other hand, Quiroz et al. (2012) found greater WGPOS [199.25 g/d] than the one reported here [68.0±11.6 g/d]; nevertheless, the animals studied by Quiroz et al. (2012) had optimal productive traits to be used in genetic improvement. Regarding AFW, [35.7±3.3 Kg] to an average age of 411 days, our findings were below (59.1 Kg) than those reported by Arredondo-Ruiz et al. (2012) since the authors studied animals of approximately two years of age.

BW was affected by TB and SB, finding greater weights in individuals born from single births and those from the wet 1 season. AWW and WGPRES were affected by all the variables; it was found the highest weights and weight

gain in lambs from parents 2, 3 and 4, as well as in individuals from single births and from the wet 1, wet 2, and dry 2 seasons. AFW was affected by P and SB; for example, parents 3 and 6 showed offspring with the highest weights, and the wet 1 season also showed the greatest weights. Meanwhile, WGPOS was affected by P and TB, finding the highest values for lambs from parents 3, 4, and 6, as well as for individuals born from multiple births. It was observed that P affected all the traits, except for BW. Parent 3 showed the best performance for four of the traits [AWW, AFW, WGPRES, and WGPOS] since the litters from this parent had the highest weights and weight gain compared to the others. TB affected BW, AWW, WGPRES, and WGPOS, a similar behavior was reported by Lenis-Valencia et al. (2022); accordingly, animals born from single births showed greater values for all growth traits, except for AFW. In the latter case, animals from multiple births showed higher values.

For BW, the difference between single and multiple births can be explained by the competition for nutrients and spa-



ce among siblings from multiple births (Macedo y Arredondo 2008). Meanwhile, for AWW and WGP_{RE}, lamb growth rates depend mainly on the milk production of the ewe, so lambs born from multiple births will have less milk available compared to those from single births. In contrast, WGPOS showed higher values for individuals born from multiple births, in comparison to single births. This finding could be attributed to a compensatory growth of lambs born from multiple births, which, occasionally, can outgrow those from single births (Macedo y Arredondo 2008). Another reason for this behavior is that weaning could have led to an improvement in nutrition compared to suckling, since the lambs had to compete for milk intake at the latter stage. However, the animals in this study received supplementation during the suckling period, which could have helped to compensate for the milk deficit of multiple offspring and weaning might have been less critical for these offspring compared to those from single births, as shown by the WGPOS.

BS affected BW, AWW, AFW, and WGP_{RE}. Particularly for BW and AFW, the wet 1 season showed higher values, which could be due to a greater availability of forage for pregnant ewes and adults during this season; also, the low amount of data for this season might have had a positive influence. For AWW and WGP_{RE}, the dry 1 season showed the lowest weights and weight

gain, likely due to lower food availability. A comparison of the productive performance of the three sheep biotypes showed that CHS_E has lower productive trait values than those found for CHS_P, since the former biotype is smaller in size. CHS_E is raised in extensive systems, in which forage is of low quality and genetic improvement processes are scarce; in this biotype, males outperformed females, farms 1C and 2C showed the best results for most traits, and season of birth affected BW and WGPOS.

For CHS_S, the productive traits showed higher values than those for CHS_E, yet lower values than those found for CHS_P. These results obey differences in forage availability, reproducer selection based on phenotype and history records, controlled breeding of replacement animals, and access to technical assistance. In general, males showed higher values than females for all traits, farm 2SJ showed the best results for most traits, and season of birth only affected BW. Lastly, CHS_P showed the highest productive trait values of the three biotypes, which is attributed to genetic improvement, the feeding system used, the selection of replacement individuals, and the use of productive history records and assessments. Parent 3 showed the best results for most traits. Also, animals born from single births had the highest weights until weaning, although multiple births positively affected WGPOS.

4. CONCLUSIONS

This study provides evidence of the productive performance of three Colombian hair sheep biotypes: CHS_E showed low growth parameters; CHS_S, low to moderate parameters; and CHS_P, moderate to high growth parameters. The first two biotypes were affected

by the variables sex and farm, whereas CHS_P was mainly affected by parent and type of birth. Overall, our findings are highly relevant since there are few studies about the productive parameters in sheep in Colombia.

AUTHOR'S CONTRIBUTION

Yineth Alexandra Palacios-Erazo: Research, data analysis, writing, original draft and editing. Manuel Fernando Ariza-Botero: review and resource acquisition. Moris de Jesús Bustamante-Yáñez: review and resource acquisition.

Óscar David Vergara-Garay: data analysis, review, and resource acquisition. Luz Ángela Álvarez-Franco: project manager, supervision, review, and resource acquisition.

ACKNOWLEDGMENTS

To the Nacional University of Colombia [Palmira and Bogota campus] and University of Córdoba for collaborative work. To Asoovinos for their collaboration.

And to the sheep producers of Córdoba, Cesar, and Valle del Cauca for allowing us to work with them.

LITERATURE CITED

Acero-Plazas, V. M. (2014). El bienestar animal en sistemas productivos de ovinos-caprinos en Colombia. *Spei Domus*, 10(21), 57-62. <https://doi.org/10.16925/sp.v10i21.918>

Álvarez, D. A., Pérez, E. H., Martín, H. T., Quincosa, T. J. y Sánchez, P. A. (2009). *Fisiología animal aplicada*. Universidad de Antioquia.

Arcos, A., Romero, H., Vanegas, A. y Riveros, E. (2002). *Ovinos colombianos*



- de pelo. *Alternativa productiva para el sur del departamento del Tolima*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Arredondo-Ruiz, V., Macedo-Baragán, M., Molina-Cárdenas, J., Magaña-Álvarez, M., Prado-Rebolledo, O., García-Márquez, L. J., Herrera-Corredor, A. & Lee-Rangel, H. (2012). Morphological characterization of Pelibuey sheep in Colima, México. *Tropical Animal Health and Production*, 45, 895–900. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0303-1>
- Asociación de criadores de ganado ovino de Colombia [Asoovinos]. (2010). *Plan estratégico para el desarrollo gremial Asoovinos 2010 – 2018*. Asociación de Criadores de Ganado Ovino de Colombia.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2007). *Manual para el manejo de las razas criollas ovino de pelo y caprino dentro del plan fomento*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13251>
- Dzib, C. A., Ortiz, A. y Torres-Hernández, G. (2011). Variabilidad morfoestructural de ovinos Blackbelly en Campeche, México. *Archivos de Zootecnia*, 232, 1291-1301. <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922011000400044>
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., Oliva-Hernández, J., Torres-Hernández, G., Segura-Correa, J. C., Aranda-Ibáñez, E. M. y González-Camacho, J. M. (2012). Factores que afectan el crecimiento predestete de corderos Pelibuey en el trópico húmedo de México. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 163-171. <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n2/v28n2a6.pdf>
- Holdridge, L. R. (2000). *Ecología Basada en Zonas de Vida*. 5ta Reimp. San José, Costa Rica: Editorial IICA.
- Knapik, J., Ropka-Molik, K. & Pieszka, M. (2017). Genetic and nutritional factors determining the production and quality of sheep meat – a review. *Annals of Animal Science*, 17(1), 23–40. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0036>
- Lenis-Valencia, C. P., Molina, E. J. y Álvarez Franco, L. A. (2022). Productividad y curvas de crecimiento usando modelos no lineales en un cruce de ovino de pelo colombiano x pelibuey. *Revista U. D. C. A Actualización & Divulgación Científica*, 25(2), 1-9. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1853>
- Lupi, T. M., Nogales, S., León, J. M. y Delgado, J. V. (2015) Estudio preliminar del efecto de factores no genéticos sobre el peso al destete precoz y tardío en corderos de la raza Segureña. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 5, 18-25. https://aicarevista.jimdo.com/app/download/11697990125/AICA2014_Trabajo007.pdf?t=1635175165
- Macedo, R. y Arredondo, V. (2008). Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos Pelibuey en manejo inten-

- sivo. *Archivos de Zootecnia*, 57(218), 219–228. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49515018014>
- Maza, L., Bustamante, M., Simanca, J. C., Ruiz, M., Montaña, G. y Vergara, O. (2015). Efecto de la suplementación sobre la ganancia de peso y rendimiento en canal de corderos Sudán. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 283–286. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.448>
- Montes, V. D., Hernández, H. D., Espitia, P. A., Prieto, M. E. y Otero, A. R. (2018). Factores genético-ambientales que afectan peso al nacer y peso al destete ajustado en ovinos de pelo criollo colombiano. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 19(5), 1-7.
- Montes-Vergara, D., Hernández-Herrera, D. y Carrillo-González, D. (2022). Efectos no genéticos sobre caracteres de crecimiento predestete en ovinos de pelo criollo colombiano. *Revista MVZ Córdoba*, 27, 1-7. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2733>
- Noriega-Márquez, J., Montes-Vergara, D., Lenis-Valencia, C., Hernández-Herrera, D. (2022). Efecto del amamantamiento restringido sobre características de crecimiento en ovinos de pelo colombiano. *Revista MVZ Córdoba*, 27, 1-11. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2732>
- Quiroz, J., Guerrero, G., Oliva, J., Granados, L. y Barrón, M. (2012) Evaluación genética de características de crecimiento del ovino Pelibuey en Tabasco, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 2(2012), 355–360. http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo_110_lin_photo/articulos/2012/Trabajo063_AICA2012.pdf
- Statistical Analysis System Institute [SAS]. (2013). *Statements: Reference*. SAS Institute.
- Simanca, J. C., Vergara, O. D., Bustamante, M. J. (2016). Descripción del crecimiento de ovinos Santa Inés x Criollo manejados en pastoreo extensivo en dos poblaciones de Córdoba, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 57(1), 61-67. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=373146552007>
- Ucros, J. (2001). Establecimiento de parámetros productivos y ovinométricos en ovinos africanos bajo pastoreo en la subregión sabanas de Sucre. [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre]. Repositorio digital. <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/501>.
- Vergara, O., Medina, H., Robles, C., Simanca, J. y Bustamante, M. (2017). Determinación de la curva de crecimiento en ovinos criollos de pelo, mediante la utilización del modelo Gompertz, en el trópico bajo colombiano. *Revista U. D. C. A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 385-391. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.396>



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: 31/08/2022

Fecha de aceptado: 27/02/2023

DOI: 10.22490/21456453.6154

INCLUSIÓN DE HARINA DE CANGREJO ROJO AMERICANO (*Procambarus clarkii*) EN LA ALIMENTACIÓN DE ALEVINOS DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

INCLUSION OF CRAYFISH MEAL (*Procambarus clarkii*) IN RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) FINGERLINGS FEEDING

Rafael Rosado Puccini¹

Miguel Ángel Landines Parra²

Diego Alberto Rodríguez Avella³

Yesid de los Ángeles González-Ruíz⁴

Mabel Giovana Pimiento-Ortega⁵

Isabella González-Gamboa⁶

Yimy Herrera-Martínez⁷

¹ Biólogo marino, Mag. en Salud y Protección Animal. Truchas de La Sierra (Guasca-Colombia). rrosadop@unal.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-4371-6514>

² Zootecnista, Dr. en Acuicultura Continental. Laboratorio de Fisiología de Peces, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá-Colombia). malandinezp@unal.edu.co <https://orcid.org/0000-0003-3261-8297>

³ Zootecnista, Mag. en ciencias. Italcol S. A. (Bogotá-Colombia). diegorodriguez@italcol.com <https://orcid.org/0000-0001-7375-6202>

⁴ Biólogo, estudiante de Maestría en Desarrollo Rural. Grupo de Investigación y Manejo Integrado de Ecosistemas y Biodiversidad (XIUÁ), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Colombia). yesiddelosangeles.gonzalez@uptc.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-9098-3260>

⁵ Bióloga. Mag. en Ingeniería Ambiental. Grupo de Investigación y Manejo Integrado de Ecosistemas y Biodiversidad (XIUÁ), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Colombia). mabel.pimiento@uptc.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-6654-1537>

⁶ Bióloga. Mag. en Ciencias Biológicas. Grupo de Investigación y Manejo Integrado de Ecosistemas y Biodiversidad (XIUÁ), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Colombia). isabella.gonzalez@uptc.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-7361-0761>

⁷ Biólogo, Mag. y Dr. en Ciencias. Grupo de Investigación y Manejo Integrado de Ecosistemas y Biodiversidad (XIUÁ), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Colombia). yimyherrera@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8797-3021>

Citación: Rosado, R., Landines, M., Rodríguez, D., González-Ruíz, Y., Pimiento-Ortega, M., González-Gamboa, I. y Herrera-Martínez, Y. (2023). Inclusión de harina de cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) en la alimentación de alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Revista de Investigación Agraria y Ambiental 14(2), 131 - 151. <https://doi.org/10.22490/21456453.6154>

RESUMEN

Contextualización: el cangrejo rojo americano [*Procambarus clarkii*] es una especie invasora, cuya presencia está confirmada en la zona central de Colombia. En el sur de Estados Unidos, su área de distribución natural, es un importante recurso acuícola; sin embargo, se han documentado altos impactos ambientales en zonas donde ha sido introducido, precisamente por su elevada capacidad de colonización y la consecuente afectación a especies nativas. El creciente registro de su presencia en diferentes sistemas, del centro del país, sugiere un acelerado patrón de expansión y supone que, tal como se ha presentado en otros países, podrán ocurrir efectos negativos sobre la estructura general de estos ecosistemas del altiplano, de no aplicarse mecanismos que permitan algún nivel de control.

Vacío de conocimiento: la posibilidad de controlar la expansión del cangrejo rojo mediante erradicación manual es una alternativa viable, siempre que se valide algún tipo de uso; debe contemplarse un estímulo económico para motivar pobladores que se dediquen a su extracción por pesca. El proceso para obtener harina que sirva como fuente proteica para concentrados en acuicultura es una opción que debe valorarse.

Propósito: evaluar la inclusión de harina de cangrejo, como reemplazo parcial de harina de pescado, en un con-

centrado formulado para la etapa de alevinaje de truchas arcoíris.

Metodología: ejemplares de *P. clarkii* fueron capturados utilizando trampas con carnada animal y se procesaron hasta obtener harina. El alimento experimental se elaboró a partir de la valoración de la composición de harina, aplicando cuatro tratamientos por triplicado. Tres tratamientos contenían harina de cangrejo en diferentes porcentajes [T1: 2 %, T2: 4 % y T3: 6 %] y uno de los tratamientos [control] no incluía harina. Los tratamientos se suministraron a alevinos de trucha desde el inicio de la alimentación hasta que alcanzaron 6 cm de longitud total. Se realizaron muestreos de longitud total [cm] y peso [g] cada diez días, durante un periodo de 60 días. Mediante análisis de varianza [ANOVA], se compararon las siguientes variables de los alevines al final del periodo: peso final [Pf], ganancias en longitud total [GLT], peso [GP], factor de conversión alimenticia [FCA], tasa de crecimiento específico [TCE], factor de condición [K] y porcentaje de mortalidad [%].

Resultados y conclusiones: entre los tratamientos, y para las variables evaluadas, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Se concluye que, hasta la longitud alcanzada por los peces, la inclusión a un nivel del 6 % de harina de cangrejo es factible como reemplazo parcial de otros alimentos para



peces. La obtención de la harina, a partir de ejemplares completos, dificulta balancear dietas de peces que requieran mayores porcentajes de proteína.

Palabras clave: acuicultura, especie invasora, harina de pescado, harina de crustáceos, nutrición.

ABSTRACT

Contextualization: the American red crayfish [*Procambarus clarkii*] is an invasive species whose presence has been confirmed in central Colombia. In the southern part of the United States, where it is naturally distributed, it is an important aquaculture resource; however, high environmental impacts have been documented in areas where it has been introduced, precisely because of its high colonization capacity and the consequent impact on native species. The growing record of its presence in different systems, in the center of the country, suggests an accelerated expansion pattern and implies that, as has occurred in other countries, negative effects may occur on the general structure of these highland ecosystems if mechanisms are not applied that allow some level of control.

Knowledge gap: the possibility of controlling the expansion of the red crayfish through manual eradication is a viable alternative, if some type of use is validated; this should include an economic incentive to motivate people to fish for it. The process to obtain a meal that serves as a protein source, for aquaculture concentrates, is an option that should be evaluated.

Purpose: evaluate the inclusion of crayfish meal, as a partial replacement of fish meal, in a concentrate formulated for rainbow trout at a fingerling stage.

Methodology: specimens of *P. clarkii* were captured using traps with animal bait. The crayfish were processed to obtain a meal. The experimental food was elaborated after analyzing the composition of the meal. Four treatments were applied, three with different percentages of crayfish meal inclusion [T1: 2 %, T2: 4 % and T3: 6 %] and another treatment [control] did not include meal. The trout fingerlings were fed with the treatments until they reached 6 cm of total length. Total length [cm] and weight [g] were sampled every ten days for a period of 60 days. Through analysis of variance [ANOVA], the following variables of the fingerlings were compared at the end of the period: final weight [Pf, g], total length gains [GLT], weight [GP], feed conversion factor [FCA], specific growth rate [TCE], condition factor [K] and percentage of mortality [%]

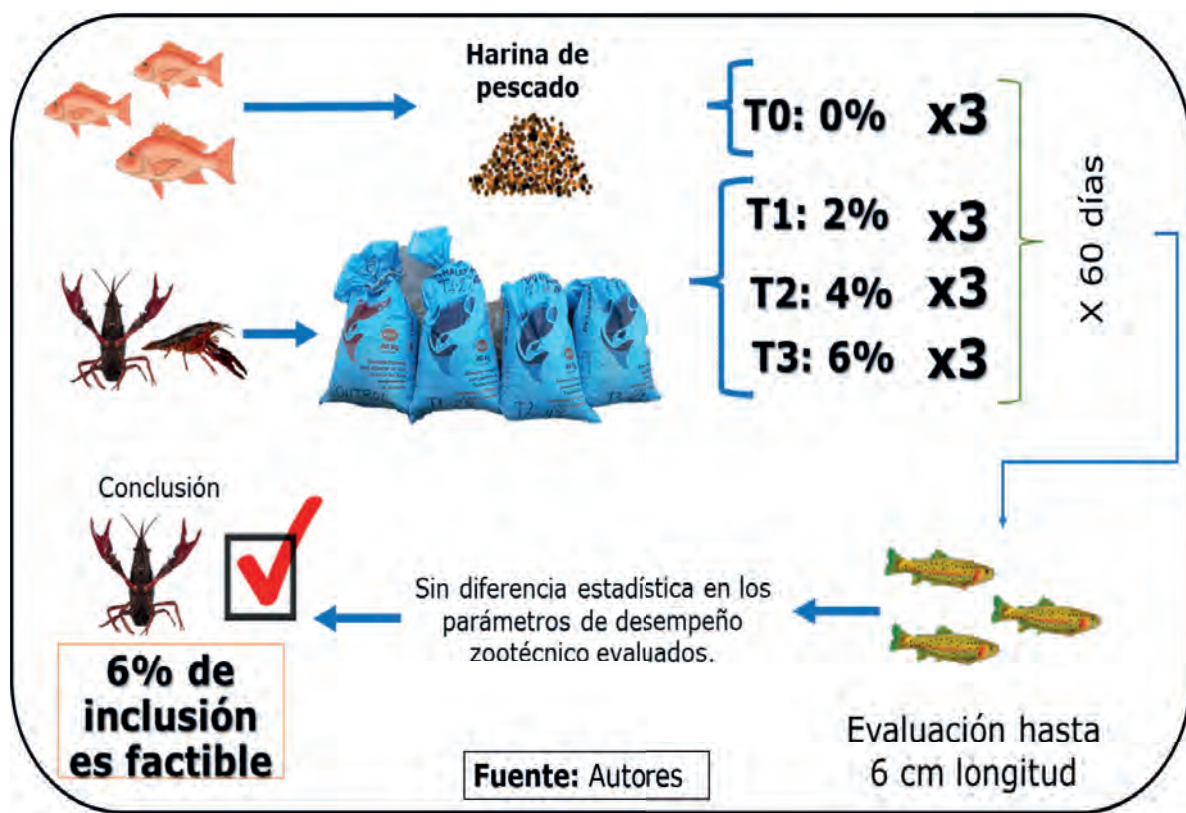
Results and conclusions: among treatments, and for the variables evaluated, were no statistically significant differences among treatments. It was concluded that, until the length reached

for the fishes, the inclusion at a level of 6 % of crayfish meal is acceptable as a partial replacement of other fish meals. Obtaining the meal from whole specimens makes it difficult to balance the

diets of fishes that require higher replacement percentages of protein.

Keywords: Aquaculture, invasive species, fish meal, crustacean meal, nutrition.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores.

1. INTRODUCCIÓN

El cangrejo rojo americano [*Procambarus clarkii*] es originario del noreste de México y de la zona sur de los Estados Unidos. Se encuentra presente en, al menos, 15 estados norteamericanos y varias islas del Caribe, así como en

América Central y del Sur, Asia, Europa y África; todos estos territorios no constituyen su área de distribución natural, de modo que ha ingresado tanto por acuicultura como por introducción accidental (Oficialdegui et al., 2019). P.



clarkii se considera como una de las especies más ampliamente introducida en ambientes dulceacuícolas en el mundo, lo que ha sido motivado por su elevada importancia económica (Souty-Grosset et al., 2016). Después del camarón blanco (*Penaeus vannamei*), es el crustáceo más cultivado a nivel mundial con en una tendencia de producción también creciente, ya que ha pasado de alrededor de 1,7 millones de toneladas en 2018 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020) a casi 2,5 millones en 2020 (FAO, 2022).

Su introducción a Colombia está bien documentada y se realizó en 1985, en el departamento del Valle del Cauca, con el objetivo de valorar la especie para fines de cultivo (Flórez-Brand y Espinosa-Beltran, 2011). Una fuga reportada permitió su expansión y el patrón actual de distribución, aunque no es claro, parece acelerarse; son cada vez más frecuentes los registros sobre su presencia en departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2018). Baptiste et al. (2010) incluyen a *P. clarkii* dentro del listado de las 506 especies reportadas como introducidas y/o trasplantadas en el territorio colombiano. Las autoridades ambientales regionales reconocen que puede llegar a impactar negativamente los sistemas que invade y, en esa línea, ya se cuenta con protocolos e información estructurada en forma de un plan de manejo para la zona central del país en el que se precisan acciones como la erradicación manual, a través de pobladores que ac-

túen ejerciendo presión de pesca como una de las modalidades para controlar su expansión (CAR, 2018).

Dentro de las posibilidades para controlar la especie no se contempla el cultivo, por lo que la evaluación de otras alternativas de aprovechamiento es una condición necesaria para motivar esquemas continuos de extracción de *P. clarkii*. Esta especie tiene una elevada tasa de crecimiento, alta fecundidad y madurez temprana, lo que favorece su dispersión y establecimiento en ambientes naturales, con efectos negativos sobre la composición y abundancia de poblaciones de fauna nativa y estructura de la vegetación. Por estas razones se le considera como especie invasora en países fuera de su distribución natural (Elmossalami & Emara, 1999; Gherardi, 2006; Anastacio et al., 2009). Paradójicamente, las características que califican a *P. clarkii* como una especie de alto impacto, en los ecosistemas que invade, también la hacen atractiva en términos de explotación acuícola, lo que explica su introducción con fines de producción sin la previsión de los riesgos asociados a una liberación accidental. Una vez instalada en un hábitat y en expansión, su presencia es irreversible y la erradicación total muy difícil o imposible (Gherardi, 2006). Los medios de solución parcial implementados parten de que la remoción manual es uno de los principales instrumentos de control, a través de planes que combinan una regulación de manejo de la pesca con beneficios para comunidades locales (Conde & Domínguez, 2015; Lodge et al., 2012).

Pese a que el cultivo del cangrejo rojo no sea una opción como medio de control, sí se cultiva para el consumo humano (FAO, 2022); no obstante, por su contenido de proteína y pigmentos, se han promovido estudios para evaluar su aprovechamiento en la industria de concentrados para peces (Cremades et al., 2003; El-Rahman & Badrawy, 2007; Romero et al., 2010; Cheng et al., 2021). Si bien la principal fuente de proteína que se utiliza en los alimentos para piscicultura es la harina de pescado (Dallaire et al., 2007; Cheng et al., 2022), como una posible alternativa, Hamdi (2011) y Pulcini et al. (2021), mencionan que son varios los factores que soportan el uso de la harina de *P. clarkii* para la alimentación en acuicultura, debido a los valores nutricionales de su cuerpo y exoesqueleto, su contenido de proteína, el balance de aminoácidos, los perfiles de ácidos grasos insaturados, y sus minerales, vitaminas y carotenoides.

En piscicultura, el uso de cangrejo rojo como alimento se ha valorado con diferentes fines, especialmente por su efecto en los parámetros de crecimiento, en condiciones de cultivo, de varias especies de tilapias y carpas (Cheng et al., 2021); dichas valoraciones se han hecho por medio de ensayos en los que se analizan los efectos del reemplazo total o parcial de la harina de pescado. Igualmente, se ha evaluado su efectividad para mejorar aspectos de la coloración en especies de peces en los que este atributo es fundamental para comercialización del producto; Romero et al. (2010), encontraron que la concentración de carotenoides en la piel de *Pagrus pagrus* se

incrementa con la inclusión de la harina del *P. clarkii*. El cangrejo rojo también es fuente también de carotenoproteínas y quitina (Zaglol & Eltadawy, 2009; Hamdi, 2011; Pulcini et al., 2021) y, como en general pasa con las harinas de crustáceos, funciona como carnada, lo que estimula la aceptación y la ingesta (Hamdi, 2011; Hodar et al. 2020).

Las restricciones de inclusión o de reemplazo que existen para este tipo de harinas de crustáceos, en la alimentación de peces, se encuentran relacionadas con el proceso de elaboración. Al utilizar exclusivamente la parte comestible del cangrejo, los contenidos proteicos se elevan sustancialmente, con registros que van desde el 64,15 % hasta el 85,15 % (Pérez-Gálvez et al., 2008); suelen ser menores las variaciones en otros nutrientes, como en los lípidos [del 6-8 %] y una baja cantidad de carbohidratos [< 2 %] (Pérez-Gálvez et al., 2008; Hamdi, 2011). La astaxantina en *P. clarkii*, el carotenoide con mayor contenido en muchos crustáceos (Pérez-Gálvez et al., 2008), se ha determinado en concentraciones de 15,74 mg kg⁻¹ por Romero et al. (2010) y del 90,3 mg kg⁻¹ cuando el proceso de obtención de la harina de cangrejo finaliza con un polvo deshidratado a partir de los residuos (Cremades et al., 2003).

Con relación a la alimentación de los peces, las especies carnívoras, como la trucha arco iris (*O. mykiss*), demandan elevados contenidos de proteína en la dieta, especialmente durante la etapa de alevinaje (NRC, 2011); estos requerimientos tienen impacto en los costos



de la producción piscícola, más aún si se tiene en cuenta que, para el caso nacional, los alimentos para peces son productos importados. Por eso, las tendencias actuales de investigación sobre nutrición de peces se enfocan en evaluar alternativas que permitan el reemplazo [parcial o total] de harinas que contengan proteína de origen marino (Hodar et al. 2020). Así se puede disminuir la presión de pesca sobre las poblaciones locales y reducir los costos sin afectar la calidad del producto final ni la nutrición de los peces que están en cultivo (Cheng et al., 2022).

Por lo expuesto anteriormente, en la línea de definir usos potenciales para *P. clarkii* que permitan su control y de encontrar reemplazos para las proteí-

nas de origen marino en los sistemas de producción piscícolas, el objetivo del presente estudio fue evaluar el reemplazo de la harina de pescado [en diferentes porcentajes] por harina de cangrejo rojo americano, específicamente en la formulación de dietas para la alimentación de alevinos de trucha arco iris en sistemas de producción intensivos. En general, la evaluación consideró el desempeño zootécnico de los alevinos en términos de crecimiento [longitud total (cm) y peso (g)], además de los indicadores derivados de estas variables: tasa de Crecimiento Específico [TCE] y Factor de Condición [K]. Tanto la Conversión Alimenticia [FCA] como la mortalidad [%], al finalizar el periodo de seguimiento, también se compararon entre los tratamientos experimentales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Captura y proceso. La captura de los ejemplares de *P. clarkii* se realizó mediante trampas con carnada; se colectaron 11250 individuos, en un esfuerzo de pesca de una semana en los lagos de la empresa GENSA S. A. (Paipa – Boyacá). Los cangrejos se colocaron en contenedores con hielo y luego se transportaron hasta las instalaciones del laboratorio de Ecología Acuática, del Grupo de investigación XIUÂ, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja [UPTC], donde estuvieron almacenados a -20 °C hasta su procesamiento.

Posteriormente, los cangrejos se descongelaron a temperatura ambiente y se midieron en talla [mm] y peso [g]. Se sometieron a un baño de vapor por tres minutos para facilitar la extracción de la parte posterior del intestino, la cual se retiró halando del urópodo central o telsón. La molienda se realizó con los organismos completos por varias veces hasta obtener una masa uniforme, esta se llevó a un horno de secado a 70 °C por 26 horas hasta que el contenido de humedad se redujo a menos del 3 %. Una vez seca la masa, se efectuó una última molienda y la harina obtenida

se tamizó hasta lograr un determinado tamaño de partícula [$<250 \mu\text{m}$].

Del producto final se tomaron muestras y se determinó el contenido de humedad por gravimetría, según el procedimiento 934.01 definido por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990), esto permitió definir la humedad final y el cálculo de aditivos; tanto para protección contra la oxidación de grasas y la degradación de vita-

minas como para disminuir el riesgo de proliferación de *Salmonella*. La harina se empacó en bolsas con cierre hermético y se envió al laboratorio central de la empresa ITALCOL S. A., donde se llevó a cabo la formulación de las dietas de la fase experimental. También se realizaron análisis bromatológicos de humedad, proteína bruta, grasa total, ceniza bruta, calcio, fósforo y digestibilidad en pepsina de la harina de cangrejo conseguida [Tabla 1].

Tabla 1. Composición proximal, contenidos de Calcio y Fósforo y digestibilidad en Pepsina de la harina de *Procambarus clarkii*

ANÁLISIS	CONTENIDO (%)
Humedad	1,61
Proteína cruda	35,5
Grasa total	0,56
Ceniza cruda	46,94
Calcio	16,95
Fósforo	1,18
Digestibilidad en Pepsina	74,93

Fuente: Autores.

Formulación y elaboración. Se evaluaron cuatro formulaciones experimentales para alevinos de trucha arco iris, isoproteicas [50 % de Proteína Cruda] e isoenergéticas [4700 Kcal de Energía Bruta], balanceadas de acuerdo con los requerimientos nutricionales para la especie en estas primeras etapas de iniciación, según lo establece el National Research Council (NRC, 2011). Para la formulación de las dietas se utilizó, como herramienta de balanceo, el sof-

ware ©ALLIX3, la cantidad final de los ingredientes en cada tratamiento se presenta en la Tabla 2. En lo que se refiere a digestibilidad, los referentes que se utilizan, por la empresa productora del alimento, corresponden a cálculos realizados siguiendo la metodología de Bureau et al. (1999), los resultados se muestran en la Tabla 3. En la tabla 4 se incluye el análisis proximal de las dietas experimentales.



Tabla 2. Cantidad de cada ingrediente en los tratamientos experimentales (g kg⁻¹, como base seca), con niveles crecientes de inclusión de harina de *P. clarkii*.

INGREDIENTE	0 % <i>P. clarkii</i> (Control)	2 % <i>P. clarkii</i> (T1)	4 % <i>P. clarkii</i> (T2)	6 % <i>P. clarkii</i> (T3)
Harina de pescado 65 %	600,0	580,0	560,0	540,0
Arroz cristal	189,7	178,3	170,0	170,0
Harina de vísceras de pollo	68,4	79,4	77,5	66,9
Aceite de pescado	61,6	62,0	63,9	64,2
Plasma animal	50,0	50,0	50,0	50,0
Hemoglobina	20,0	20,0	28,1	42,8
Lisofosfolípidos	5,0	5,0	5,0	5,0
Premezcla vitamínica	2,6	2,6	2,6	2,6
DL Metionina 99 %	2,3	2,3	2,5	3,0
Cloruro de colina 60 %	2,0	2,0	2,0	2,0
Premezcla mineral	1,2	1,2	1,2	1,2
Sal	1,0	1,0	1,0	1,0
Atrapante de micotoxinas	1,0	1,0	1,0	1,0
Antioxidante	0,3	0,3	0,3	0,3
Harina de cangrejo rojo	0	20,0	40,0	60,0

Fuente: Autores.

Tabla 3. Coeficientes de Digestibilidad Aparente de los ingredientes de mayor inclusión en las dietas experimentales.

INGREDIENTE	CDA MS (%)	CDA CP (%)	CDA EE-EXT (%)	CDA EB-EXT (%)	CDA ALMI-DON-EXT (%)
Harina de pescado 65 %	80	90	94	88	0
Arroz cristal	84	92	85	84	85
Harina de vísceras de pollo	82	90	85	88	0
Aceite de pescado	89	0	90	90	0
Plasma animal	89	92	80	93	0
Hemoglobina	88	90	70	90	0

Fuente: Autores.

CDA MS: Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Materia Seca, **CDA CP:** Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Proteína Cruda, **CDA EE:** Coeficiente de Digestibilidad Aparente del Extracto Etéreo, **CDA EB-EXT:** Coefi-

ciente de Digestibilidad Aparente de la Energía Bruta en Dieta Extruida, **CDA ALMIDÓN-EXT:** Coeficiente de Digestibilidad Aparente del Almidón en Dieta Extruida.

Tabla 4. Análisis proximal de cada una de las dietas experimentales, con niveles crecientes de inclusión de harina de *P. clarkii*

NUTRIENTE	0 % <i>P. clarkii</i> (Control)	2 % <i>P. clarkii</i> (T1)	4 % <i>P. clarkii</i> (T2)	6 % <i>P. clarkii</i> (T3)
Energía Bruta (kcal / kg)	4,627	4,604	4,589	4,598
Energía Digestible Trucha (kcal / kg)	3,991	3,962	3,939	3,934
Proteína Cruda (%)	50,0	50,0	50,0	50,0
Proteína Digestible Trucha (%)	45,3	45,1	45,1	45,0
Extracto Etéreo (%)	12,0	12,0	12,0	12,0
Fibra Cruda (%)	0,7	0,9	1,1	1,3
Cenizas (%)	13,3	14,1	14,7	15,0

Fuente: Autores.

Los tratamientos experimentales se fabricaron utilizando una extrusora de tornillo sencillo ©Exteec, en el Laboratorio de Nutrición Acuícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Los pellets, obtenidos por extrusión, fueron secados en un horno con circulación abierta [55 °C x 24 h] y se les aplicó aceite de pescado por aspersión; posteriormente, se enfriaron a temperatura ambiente y almacenados en empaques sellados hasta su utilización. Para el suministro, durante los primeros 30 días se utilizó la harina proveniente de la molienda de los pellets y se pasó por un tamiz de 500µm, en los últimos 30

días del seguimiento se utilizó el grano partido con tamaño de partícula inferior a 1 mm.

Localización y diseño experimental. La fase experimental se adelantó en las instalaciones de una granja de producción especializada en la producción de trucha arcoíris. Se ubica en el municipio de Guasca [Cundinamarca], a 60 km de la ciudad de Bogotá y los 2 860 msnm, y cuenta con el río Siecha como fuente hídrica de la que se capta un caudal de 84L s⁻¹. En general, las condiciones del sitio son particularmente aptas para adelantar las etapas de incubación y alevinaje de trucha arcoíris, con tempe-



ratura del agua cercana a los 10,5°C y niveles de oxígeno disuelto superiores al 90 % de saturación.

A través de un distribuidor certificado, se adquirió un lote de 60 000 ovas embrionadas importadas desde los Estados Unidos, 100 % hembras, que habían estado desarrollándose a 240 grados día⁻¹; presentaron un diámetro medio de 4,5 mm, que equivale a 11,29 ovas mL⁻¹ y un volumen aproximado de 5 474 ml para el lote completo. En el ingreso, se adelantó un proceso de aclimatación gradual a una tasa de incremento de 2 °C h⁻¹, desde 2 hasta 10 °C, y se utilizaron incubadoras de flujo vertical descendente en las que las ovas se repartieron en 12 bandejas, con una medida de 450 ml, para una cantidad aproximada de 5 150 ovas en cada bandeja. La eclosión se presentó entre los días siete y diez después del ingreso, y las larvas fueron trasladadas a las canaletas cinco días después. La reabsorción se completó en 14 días, en este día el lote se distribuyó al azar en 12 canaletas de 1,3 x 0,3 x 0,25 m; cada una con un volumen útil de 90L y flujo constante de 0,3L s⁻¹. La separación en los grupos experimentales se realizó al azar, ubicando en cada unidad 350 g de biomasa; los promedios iniciales de longitud total y peso de las larvas fueron de 1,909 ± 0,1366 cm y 0,078 ± 0,0021 g respectivamente.

Con base en el porcentaje de inclusión de harina de *P. clarkii* en las dietas se establecieron los tratamientos: T1 [2 %], T2 [4 %] y T3 [6 %], además de otro tratamiento [control] al que no se le adicio-

nó el ingrediente. Todos los tratamientos se aplicaron por triplicado, en total fueron 12 unidades experimentales, con una cantidad inicial estimada en 4 500 individuos por unidad. El suministro del alimento experimental se realizó de acuerdo con la saciedad aparente, en diez raciones diarias, cada hora durante todo el periodo. El factor de conversión alimenticia se calculó con el registro y tabulación del consumo, y el incremento en biomasa para cada intervalo de muestreo. Al finalizar el seguimiento, los peces presentes en cada canaleta se contaron. Con este dato y la mortalidad total, que fue retirada y registrada diariamente, se obtuvo el número inicial real presente en las unidades al comienzo de la etapa experimental.

Al final, para cada tratamiento se calcularon las siguientes variables: ganancia de longitud total [GLT] = Longitud promedio final-Longitud promedio inicial; ganancia de peso [GP] = Peso promedio final-Peso promedio inicial; Factor de Conversión Alimenticia, [FCA] = cantidad de alimento suministrado/incremento en biomasa; Tasa de Crecimiento Específico [TCE] = (peso final-peso inicial)/número de días*100; Factor de Condición [K] = (peso promedio/longitud promedio³)*100 y Mortalidad [%]. El seguimiento tuvo una duración de 60 días, con muestreos para la longitud total [aproximación al mm] y el peso [aproximación a 0,01 g] cada diez días. El registro de la temperatura del agua, en sala de incubación, se realizó tres veces al día [08:00 am, 12:00 m y 05:00 pm] y en cada fecha de muestreo se anali-

zaron parámetros de oxígeno disuelto, saturación, pH y conductividad.

Análisis de datos. Los resultados se presentan como media $\pm$ desviación estándar. Posterior a la verificación del cumplimiento de los supuestos del modelo, la comparación se realizó mediante análisis de varianza de una vía y en los casos en que se presentaron diferen-

cias significativas, estas se precisaron a través de una prueba de Tukey, con $\alpha=0,05$ como criterio de significancia. Se presentan, con su correspondiente comparación, los datos parciales de crecimiento en longitud total y peso durante el seguimiento. Se utilizó, para los análisis, el paquete estadístico SPSS V.27 con licencia de la Universidad Nacional de Colombia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso y la longitud total promedio de los individuos de *P. clarkii*, utilizados en la fabricación de la harina, fue de 19,7 g y de 8,8 cm respectivamente. En términos de rendimiento, con base en la composición de la captura realizada en este caso, se requieren 4,6 kg de biomasa procesada [230 individuos adultos] para obtener 1 kg de harina de cangrejo. En lo referente a las condiciones de las truchas, durante las fases de incubación y reabsorción, la temperatura media en la granja fue de $10,95 \pm 0,65$ °C, [con una temperatura mínima de $10,41$ °C [8 am] y una máxima de $11,47$ °C [5 pm]]. La conductividad fue de $36,3 \pm 4,34$ $\mu\text{S cm}^{-1}$; el pH, $7,29 \pm 0,06$; y el oxígeno disuelto, $7,88 \pm 0,5$ mg L^{-1} [> 90 % de saturación]. Estos valores en el agua se encuentran dentro de los límites considerados adecuados para esta etapa de producción.

El acumulado de mortalidad fue del 3,61 % en incubación y del 2,17 % en re-

absorción, que están dentro de los rangos que se tienen en las condiciones del sitio. La aceptación de las dietas, por parte de los alevinos, fue aparentemente normal durante todo el seguimiento, lo que sugiere que no hubo incidencia en el consumo asociada a los diferentes niveles de inclusión de la harina. Durante el periodo tampoco se presentaron síntomas de enfermedad ni mortalidades atípicas, por lo que no se aplicó tratamiento alguno. Al comienzo de la alimentación experimental se detectaron diferencias en la longitud total de los alevinos entre los tratamientos; estas diferencias no fueron estables, ya que el esquema se fue modificando a través del tiempo con variaciones en los diferentes tratamientos (Tabla 5). Por el contrario, en el peso se mantuvo igualdad estadística entre los tratamientos durante todo el periodo experimental (Tabla 6).



Tabla 5. Registros de crecimiento en longitud total de alevinos de trucha arco iris (cm) durante el periodo experimental

TRATAMIENTOS				
DÍA	2 % <i>P. clarkii</i> (T1)	4 % <i>P. clarkii</i> (T2)	6 % <i>P. clarkii</i> (T3)	0 % <i>P. clarkii</i> (Control)
1	2,33±0,10 a	2,34±0,10 a	2,37±0,10 b	2,37±0,11 b
10	2,93±0,18 bc	2,94±0,18 c	2,87±0,17 a	2,89±0,19 ab
20	3,40±0,22 bc	3,36±0,22 ab	3,33±0,22 a	3,43±0,23 c
30	3,88±0,29 ab	3,97±0,28 c	3,83±0,28 a	3,93±0,30 bc
40	4,45±0,36 a	4,54±0,33 b	4,44±0,39 a	4,57±0,31 b
50	5,21±0,35 a	5,31±0,36 b	5,21±0,42 a	5,32±0,35 b
60	5,86±0,45 a	5,97±0,42 ab	5,91±0,53 ab	5,99±0,44 b

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas entre filas.

Fuente: Autores.

Tabla 6. Registros de crecimiento en peso (g) de alevinos de trucha arco iris durante el periodo experimental

TRATAMIENTOS				
DÍA	2 % <i>P. clarkii</i> (T1)	4 % <i>P. clarkii</i> (T2)	6 % <i>P. clarkii</i> (T3)	0 % <i>P. clarkii</i> (Control)
1	0,14±0,00	0,14±0,01	0,14±0,00	0,14±0,00
10	0,21±0,01	0,22±0,01	0,20±0,01	0,21±0,01
20	0,35±0,09	0,37±0,02	0,34±0,01	0,36±0,01
30	0,60±0,01	0,62±0,04	0,57±0,00	0,62±0,02
40	0,96±0,026	0,99±0,05	0,98±0,03	1,03±0,07
50	1,61±0,08	1,65±0,06	1,65±0,09	1,68±0,13
60	2,46±0,13	2,56±0,20	2,62±0,34	2,60±0,32

Fuente: Autores.

En general, como se muestra en la tabla 7, los registros de los parámetros de desempeño evaluados y comparados indican un comportamiento equivalente entre los tratamientos; por lo que, en este caso, y teniendo en cuenta la forma del proceso, las restricciones y las con-

diciones de formulación, parece que la inclusión de hasta un 6 % de harina del cangrejo rojo, como ingrediente en un concentrado destinado a la iniciación de las truchas, es factible. Es decir, el comportamiento en el alevinaje temprano fue equivalente, en parámetros de



desempeño, tanto para los tratamientos experimentales como para el control. Las tasas de crecimiento observadas en longitud total [aprox. 0,06 mm día⁻¹] y en peso [aprox. 0,04 g día⁻¹] correspon-

den a un desarrollo consecuente con lo que se espera de alevinos de trucha, mantenidos a la temperatura en la cual se adelantó el trabajo experimental (Klontz, 1991).

Tabla 7. Resumen de los parámetros de desempeño en alevinos de trucha arco iris para cada uno de los diferentes tratamientos experimentales

TRATAMIENTOS				
	2 % <i>P. clarkii</i> (T1)	4 % <i>P. clarkii</i> (T2)	6 % <i>P. clarkii</i> (T3)	0 % <i>P. clarkii</i> (Control)
Longitud inicial (cm)	2,33±0,10 a	2,34±0,10 a	2,37±0,10 b	2,37±0,11 b
Longitud final (cm)	5,87±0,45 a	5,97±0,42 ab	5,91±0,53 ab	5,99±0,44 b
Crecimiento en longitud (cm)	3,54±0,09	3,63±0,12	3,54±0,26	3,62±0,19
Peso inicial (g)	0,141±0,01	0,140±0,01	0,149±0,01	0,14±0,01
Peso final (g)	2,46±0,13	2,56±0,20	2,62±0,34	2,60±0,32
Crecimiento en peso (g)	2,31±0,13	2,42±0,20	2,47±0,34	2,45±0,32
Tasa de Crecimiento Específico (%)	2,47±0,051	2,51±0,06	2,51±0,14	2,50±0,12
Factor de Condición (K)	1,21	1,20	1,26	1,20
Factor de Conversión Alimenticia	0,85±0,10	0,80±0,05	0,94±0,073	0,78±0,10
Mortalidad (%)	15,32±3,74	14,53±3,91	15,87±3,15	13,22±3,03

Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas entre filas.

Fuente: Autores



La menor longitud final de los peces con T1 [inclusión de harina del 2 %] no guarda correspondencia con los pesos finales, que fueron iguales para todos los tratamientos; la recuperación en la condición [K] que se manifestó para este tratamiento en particular explica el resultado. Más aún, K fue equivalente en todos los tratamientos con un valor mayor, pero sin ser significativo en el caso de la inclusión del 6 % de harina de cangrejo [T3], en este tratamiento también se presentó la peor conversión de alimento [valor más alto]. Los registros de K superiores a 1 están indicando pesos mayores a los que, para la especie, corresponden con las longitudes promedio registradas (Klontz, 1991); estos resultados se explican por la práctica de alimentación a saciedad que se estableció para el seguimiento y que, sin embargo, no tuvo incidencia en las conversiones observadas, todas menores a 1, lo que es normal para esta fase temprana. De forma indirecta, también indica una formulación adecuada de los tratamientos experimentales utilizados.

En estudios con tilapias [*Oreochromis niloticus*] se confirma una relación directa entre la ingesta y el nivel de inclusión de harina de *P. clarkii*, con una disminución general de los indicadores de desempeño conforme se incrementa el porcentaje de incorporación de la harina (El-Rahman & Badrawy, 2007; Hamdi, 2011). Estos resultados se pueden asociar tanto a los elevados contenidos de ceniza que afectan de forma adversa la digestibilidad de las dietas para peces como a la presencia de quitina, la cual es un polisacárido de baja digestión que, en

las harinas de crustáceos, puede alcanzar niveles del 50 al 80 % (Romero et al., 2010); también parece causar una disminución de la cantidad de lípidos disponibles, pues estos se ligan a la quitina en el tracto digestivo y reducen la absorción de los nutrientes (Cheng et al., 2022). Lo anterior causa un desbalance en la energía disponible que podría, en contraposición, generar un mayor consumo de alimento por los peces como compensación, explicando las variaciones en el factor de condición (Romero et al., 2010). En el 6 %, porcentaje máximo de inclusión de harina que se utilizó, y hasta los 6 cm de longitud total, no se reflejó un efecto deletéreo en los alevinos de trucha, al menos sobre los parámetros de desempeño evaluados.

Es común que, en los referentes de calidad nutricional, se registren variaciones en la composición de la harina de cangrejo, lo que se relaciona principalmente con estas variables: la forma en la que se procesa, la parte del organismo que es finalmente utilizada para elaborar la harina, el origen de los individuos usados para extraer la harina y la época en la que se realiza la captura. Se reportan estudios en los que se ha encontrado un rango amplio de proteína en la harina de cangrejo: Zaglol & Eltadawy (2009), con datos de 13,88 %; El-Sherif & Abd El-Ghafour (2015), 15,22 %; Pérez-Gálvez et al. (2008), entre 28,87 % y 35 %; El-Rahman & Badrawy (2007), 33,13 %; Hamdi (2011); y 42,24 %, Romero et al. (2010). el 35,5 % determinado en este trabajo se encuentra en la parte superior del rango.

Se mencionó que, por el valor en el mercado, el *P. clarkii* se comercializa principalmente entero y para consumo directo; ya sea en actividades de producción acuícola o por captura en el ambiente. Se tienen industrias consolidadas para la producción de este cangrejo, incluso hay zonas en las que la introducción de esta especie ha derivado en problemas de tipo ambiental, lo que es reflejo de la importante producción mundial anual del crustáceo (FAO, 2020).

De forma adicional, el procesamiento del cangrejo rojo genera subproductos que se emplean como ingredientes suplementarios para la alimentación animal en sistemas de producción, incluyendo la acuicultura, ya que es una fuente de proteína, astaxantina y quitina (Cremades et al., 2003; Pérez-Gálvez et al., 2008; Cheng et al., 2021). Las evaluaciones en diferentes especies de peces indican que la harina de cangrejo es una alternativa factible para el reemplazo parcial de la harina de pescado, aun cuando se establecen limitantes cuando los porcentajes de inclusión de esta son elevados (Pulcini et al., 2021). Estas restricciones se relacionan con los altos contenidos de ceniza que tiene el producto cuando la molienda se efectúa sobre ejemplares completos, los cuales pueden ser del 49,74 % (Abd et al., 2019), del 33 al 43,7 % (El-Rahman & Badrawy, 2007) y del 30,69 % (Romero et al. 2010). Estos porcentajes son similares al 46,94 % de cenizas encontrado en este caso.

Para *O. niloticus*, El-Sherif & El-Gha-four (2015) y Abd et al. (2019) coinci-

den en que reemplazos del 25 % y del 50 % de harina de pescado por harina de cangrejo son viables sin afectación de los peces en términos de crecimiento, utilización del alimento y condición general; en comparación con alimentos cuya fuente proteica se basa exclusivamente en harina de pescado. Romero et al. (2010), para el caso de *P. pagrus*, probaron niveles de inclusión de harina de cangrejo del 10 y del 20%, en contraste con un control en el que la fuente proteica fue harina de pescado, con resultados equivalentes a los controles hasta una incorporación del 10 %. En carpa común, *Cyprinus carpio*, Cheng et al. (2021), con un nivel de reemplazo de un 25 %, registraron una ganancia en peso superior a la obtenida con la harina de pescado en un seguimiento de 8 semanas. Con estos resultados parece confirmarse que, más que la calidad del producto, las limitaciones para alcanzar mayores niveles de reemplazo parecen estar centradas en los elevados contenidos de ceniza que se generan cuando la harina es obtenida de ejemplares enteros. En general, para los casos evaluados, los autores coinciden en el potencial de este tipo de harinas como reemplazo de las de pescado, en alimentos para peces. Para alevinos de trucha, con la inclusión de un 6 % no se manifiestan resultados diferenciales en crecimiento respecto al tratamiento control, los indicadores de desempeño fueron equivalentes entre los tratamientos, al menos hasta los 6 cm de longitud total.



4. CONCLUSIONES

En concreto, Desde una perspectiva amplia, los resultados indican la harina de *P. clarkii* es una alternativa viable para ser utilizada como ingrediente en la formulación de alimento para etapas tempranas del desarrollo de truchas. El elevado contenido de cenizas de esta harina es una importante limitación al nivel de inclusión, por lo que el balanceo de las dietas de iniciación solo permitió utilizarla hasta un 6%; con este nivel los parámetros de crecimiento de

alevinos hasta talla de distribución fueron equivalentes a los del grupo control. Una consecuencia indirecta de la evaluación está dada en la ampliación del espectro de utilización del cangrejo rojo. La captura, con fines de obtención de harina, puede generar estímulos para la extracción por pesca como mecanismo de control para disminuir los posibles impactos asociados a su propagación.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Rafael Rosado Puccini: curación de datos, análisis de datos, investigación, desarrollo de la investigación en campo, escritura, revisión.

Miguel Ángel Landines Parra: conceptualización, metodología, revisión, escritura.

Diego Alberto Rodríguez Avella: conceptualización, metodología, supervisión, adquisición de recursos.

Yesid de los Ángeles González-Ruiz: análisis de datos, investigación, desa-

rollo de la investigación en campo, metodología, escritura, validación, revisión, edición.

Mabel Giovana Pimiento-Ortega: análisis de datos, investigación, metodología, validación, escritura, revisión, edición.

Isabella González-Gamboa: análisis de datos, investigación, metodología, validación, escritura, revisión, edición.

Yimy Herrera-Martínez: conceptualización, adquisición de recursos, validación, supervisión, revisión.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado en el marco del proyecto de investigación "Uso del cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*) en la

formulación de dietas para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y como mecanismo para el aprovechamiento y con-

trol de una especie invasora" [código 66096], financiado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC] y con recursos de regalías del departamento de Boyacá, a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Colombia (Minciencias), por medio del contrato de financiación de recuperación contingente No. 80740-559-2019. Este contrato contó con el apoyo técnico y científico de la Universidad Nacional

de Colombia, la empresa Italcol S. A., la Fundación Neotropical y Corpoboyacá.

Los autores agradecemos a los integrantes del grupo del grupo de investigación XIUÂ de la UPTC: C. Sarmiento, C. Romero, S. Fernández, F. Silva, F. Galán, K. Téllez, L. Reyes, C. Vargas y C. Neira por su apoyo en campo. También agradecemos a Z. Ojeda, C. Duarte y N. Menjura, funcionarias de Corpoboyacá, por su apoyo técnico y logístico.

CONFLICTOS DE INTERESES

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe

ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

FINANCIACIÓN

Este estudio fue financiado por la Gobernación del Departamento de Boyacá, Minciencias y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC].

LITERATURA CITADA

Abd, F. K., El Deeb, R. M., Saad, A. S. & Abd, F. A. A. (2019). Effect of partial or total replacement of fish meal with *Procambarus clarkii* by-product meal in *Oreochromis niloticus* diets. *The Egyptian Journal of Experimental Biology (Zoology)*, 15(2), 277-288. <https://doi.org/10.5455/egysebz.20191209062931>

Anastacio, P. M., Leita, A. S., Boavida, M. J., Correia, A. M. (2009). Population dynamics of the invasive crayfish (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) at two marshes with differing hydroperiods. *International Journal of Limnology*, 45(4), 247-256. <https://doi.org/10.1051/limn/2009025>

Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (1990). *Official*



- methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemist.
- Baptiste, M.P., Castaño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez F. P., Gil, D. L., Lasso, C. A. (2010). *Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Bureau, D. P., Harris, A. M., Cho, C. Y. (1999). Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 180(3-4), 345-358. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00210-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00210-0)
- Cheng, X. F., Wu, H., Gao, J. W., Xiang, J., Liu, L., Li, S. M., Li, C. W. & Song, R. (2021). Effect of dietary replacement of fish meal protein with crawfish shell meal (*Procambarus clarkii*) on the growth performance, digestive enzyme activity and anti-oxidative capacity of Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. *color*). *Journal of Applied Ichthyology*, 37(4), 585-592. <https://doi.org/10.1111/jai.14202>
- Cheng, X., Xiang J., Tian, J., Tian, X., Wu, H., Yuan, X., He, Z., Xie, M. & Song, R. (2022). Effects of varying levels of crawfish (*Procambarus clarkia*) shell meals on growth, fillet quality, and health of koi carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 564. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739030>
- Conde, A. & Domínguez, J. (2015). Proposal for the Feasible Exploitation of the Red Swamp Crayfish *Procambarus Clarkii* in Introduced Regions. *Conservation Letters*, 8(6), 440-448. <https://doi.org/10.1111/conl.12164>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR]. (2018). *Plan de Prevención, Control y Manejo (PPCM) del Cangrejo rojo americano (Procambarus clarkii) para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b90329b881a7.pdf>
- Cremades, O., Parrado, J., Alvarez-Osorio, M. C., Jover, M., Collantes, L., Gutiérrez, J. F. & Bautista, J. (2003). Isolation and characterization of carotenoproteins from crayfish (*Procambarus clarkii*). *Food Chemistry*, 82(4), 559-566. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00011-6)
- Dallaire, V., Lessard, P., Vandenberg, G. & De La Noüe, J. (2007). Effect of algal incorporation on growth, survival and carcass composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Bioresource Technology*, 98(7), 1433-1439. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.043>
- Elmossalami, M. K. & Emara, M. T. (1999). Safety and quality of fresh water crayfish *Procambarus clarkii* in the river Nile. *Molecular Nutrition & Food Research*, 43(2), 126-128. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3803\(19990301\)43:2<126::AID-FOOD126>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3803(19990301)43:2<126::AID-FOOD126>3.0.CO;2-O)

- El-Rahman, A. A. & Badrawy, N. A. (2007). Evaluation of using crayfish (*Procambarus clarkii*) as partial or complete replacement of fish meal protein in rearing the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 11(3), 31-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.21608/EJABF.2007.1949>
- El-Sherif, S. A. E. & Abd, S. (2015). Nutritive value of canned River Nile Crayfish (*Procambarus clarkii*) products. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 41(3), 265-272. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.EJAR.2015.06.002](https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.06.002)
- Flórez-Brand, P. E., y Espinosa-Beltrán, J. O. (2011). Presencia y dispersión del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 12(2), 57-62. [HTTP://REVISTAS.HUMBOLDT.ORG.CO/INDEX.PHP/BIO-TA/ARTICLE/VIEW/252](http://REVISTAS.HUMBOLDT.ORG.CO/INDEX.PHP/BIO-TA/ARTICLE/VIEW/252)
- Gherardi, F. (2006). Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkia*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 39(3), 175-191. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/10236240600869702](https://doi.org/10.1080/10236240600869702)
- Hamdi, S. A. (2011). Muscle and exoskeleton extracts analysis of both fresh and marine crustaceans *Procambarus clarkii* and *Erugosquilla mas-savensis*. *African journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(13), 1589-1597. [HTTPS://DOI.ORG/10.5897/AJPP11.360](https://doi.org/10.5897/AJPP11.360)
- Hodar, A. R., Vasava, R. J., Mahavadiya, D. R. & Joshi, N. H. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. *Journal of Experimental Zoology*, 23(1), 13-21.
- Klontz, G. W. (1991). *A manual for rainbow trout production on the family-owned farm*. Thomas Nelson & Sons.
- Lodge, D. M., Deines, A., Gherardi, F., Yeo, D. C., Arcella, T., Baldridge, A. K., Barnes, M. A., Chadderton, W. L., Feder, J. L., Gantz, C. A., Howard, G. W., Jerde, C. L., Petters, B. W., Peters, J. A., Sargent, L. W., Turner, C. R. Witman, M. E. & Zeng, Y. (2012). Global introductions of crayfishes: evaluating the impact of species invasions on ecosystem services. *Annual review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43, 449-472. [HTTPS://DOI.ORG/10.1146/ANNUREV-ECOLSYS-111511-103919](https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-111511-103919)
- National Research Council [NRC]. (2011). *Nutrient Requirements of fish and shrimp*. National Academies Press.
- Oficialdegui, F. J., Clavero, M., Sánchez, M. I., Green, A. J., Boyero, L., Michot, T. C., Klose, K., Kawai, T. & Lejeune, C. (2019). Unravelling the global invasion routes of a worldwide invader, the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Freshwater Biology*, 64(8), 1382-1400. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/FWB.13312](https://doi.org/10.1111/FWB.13312)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agri-



- cultura [FAO]. [2020]. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action*. [HTTPS://DOI.ORG/10.4060/CA9229EN](https://doi.org/10.4060/CA9229EN)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación Y la Agricultura [FAO]. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022: Hacia la transformación azul*. [HTTPS://DOI.ORG/10.4060/CC0461ES](https://doi.org/10.4060/CC0461ES)
- Pérez-Gálvez, A., Negro-Balmaseda, J. J., Mínguez-Mosquera, M. I., Cascajo-Almenara, M. V. & Garrido-Fernandez, J. (2008). Astaxanthin from crayfish (*Procambarus clarkii*) as a pigmentary ingredient in the feed of laying hens. *Grasas y aceites*, 59(2), 139-145. [HTTPS://DOI.ORG/10.3989/GYA.2008.v59.i2.502](https://doi.org/10.3989/GYA.2008.v59.i2.502)
- Pulcini, D., Capoccioni, F., Franceschini, S., Martinoli, M., Faccenda, F., Secci, G., Perugini, A., Tibaldi, E. & Parisi, G. (2021). Muscle pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets rich in natural carotenoids from microalgae and crustaceans. *Aquaculture*, 543. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.736989](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736989)
- Romero, J., Kalinowski C. T. H., Izquierdo, M. S. L. & Robaina, L. E. R. (2010). Marine and freshwater crab meals in diets for red porgy (*Pagrus pagrus*): effect on growth, fish composition and skin colour. *Aquaculture Research*, 41(12), 1759-1769. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/J.1365-2109.2009.02476.X](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02476.x)
- Souty-Grosset, C., Anastácio, P. M., Aquiloni, L., Banha, F., Choquer, J., Chucholl, C. & Tricarico, E. (2016). The red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Europe: impacts on aquatic ecosystems and human well-being. *Limnologia*, 58, 78-93. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.LIMNO.2016.03.003](https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.03.003)
- Zaglol, N. F. & Eltadawy, F. (2009). Study on chemical quality and nutrition value of fresh water crayfish (*Procambarus clarkii*). *Journal of the Arabian Aquaculture Society*, 4(1), 1-18.

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.



EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y LAS REACCIONES METABÓLICAS DE OVINOS DE CEBAS ALIMENTADOS CON *Brachiaria spp*, EN EL TRÓPICO BAJO DE COLOMBIA, AL DARLES SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS

EVALUATION OF PRODUCTIVE PERFORMANCE AND METABOLIC REACTIONS OF GRAZING FATTENING SHEEP FED WITH *Brachiaria spp*, IN THE LOWER TROPICS OF COLOMBIA, AFTER US- ING NUTRITIONAL SUPPLEMENTS

María Ligia Roa Vega ¹
César Augusto Navarro Ortiz ²

¹ Zootecnista, especialista y magíster en Nutrición Animal. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia [mroa@unillanos.edu.co]

² Médico Veterinario-Zootecnista, magíster en Sistemas Sostenibles de Salud y Producción Animal Tropical, candidato a Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia [cesar.navarro@unillanos.edu.co]

Citación: Roa, M., y Navarro, C. (2023). Evaluación del desempeño productivo y las reacciones metabólicas de ovinos de ceba alimentados con *Brachiaria spp*. en el trópico bajo de Colombia, al darles suplementos alimenticios. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 153 - 170.
<https://doi.org/10.22490/21456453.6232>

RESUMEN

Contextualización: los sistemas de producción animal en Colombia se caracterizan por la deficiente disposición y calidad de forrajes, en zonas como el piedemonte llanero, debido a las condiciones edafológicas y climáticas de estas zonas.

Vacío de conocimiento: el alimento principal de los ovinos es el pasto, pero múltiples factores interfieren en el aprovechamiento y calidad de nutrientes de este. Por eso se requiere investigar al respecto y determinar cuáles son los suplementos adecuados para complementar los requerimientos nutricionales del animal, y por ende mejorar su desempeño productivo.

Propósito: analizar el aporte nutricional de un suplemento alimenticio a la dieta de ovinos en pastoreo con *Brachiaria spp.*, evaluando el desempeño productivo y bioquímica sanguínea de estos.

Metodología: el diseño fue completamente al azar y con prueba de comparación de Tukey. Se utilizaron 12 ovinos, resultados del cruce entre ovinos criollos y de la raza Pelibuey, con un peso promedio de 20.05 ± 1.0 kg. La alimentación de los animales consistió en pasto, adicionado con *Brachiaria spp.*, y una suplementación con 100 g de alimento balanceado comercial. Los tratamientos aplicados fueron:

T1: 600 g de ensilado de maíz [EMA], T2: 200 g EMA y 100 g palmiste, T3: 400

g EMA y 100 g de salvado de trigo y T4: 400 g EMA + 200 g de ensilado de *Tithonia diversifolia*. Se analizó la calidad química de los alimentos suministrados y del suelo donde pastoreaban los animales. Las variables evaluadas fueron: ganancia de peso, consumo de alimento, eficiencia y conversión alimenticia, coeficiente de eficiencia proteica y bioquímica sanguínea.

Resultados y conclusiones: en T2 se obtuvo la menor [$P < 0.05$] ganancia diaria de peso y peso final, con relación a T1 [234.4 g y 33.6 kg Vs 263.6 g y 36.3 kg respectivamente], así como el menor consumo de materia seca [1678.1 g Vs 1815.8 g respectivamente]. Los demás tratamientos tuvieron un comportamiento similar [$P > 0.05$] en el consumo total de materia seca y proteína. Las concentraciones séricas de proteína, albúmina, glucosa, colesterol, triglicéridos y calcio fueron similares [$P > 0.05$] antes y después de los tratamientos, mientras que la concentración sérica de magnesio, después de la suplementación, fue superior [$P < 0.05$] en T4 con relación a T1 y T2. Los suplementos como EMA, palmiste, salvado de trigo y ensilado de botón de oro tienen un efecto positivo en ovinos de ceba alimentados con pasto y *Brachiaria spp.* en lo referente a consumo de materia seca, aumento de peso y conversión alimenticia.

Palabras clave: alimentación, ensilaje, rumiantes, química sanguínea, oxisol, *Brachiaria*.

ABSTRACT

Contextualization: animal production systems in Colombia have been characterized by the poor availability and quality of forage, in areas such as the foothills of the plains, due to the edaphological and climatic conditions of these zones.

Knowledge gap: the basis of sheep feeding is grass, although multiple factors interfere in the use and quality of nutrients. This is why it is necessary to investigate these matters and determine which are the adequate supplements to fulfill the requirements of the animal, and therefore improve their productive performance.

Purpose: to analyze the nutritional contribution of a supplement to the diet of grazing sheep fed with *Brachiaria spp*, evaluating the productive performance and blood biochemistry of them.

Methodology: the design was completely randomized with the Tukey comparison test. A total of 12 sheep were used, crossbreeds between creole and Pelibuey, with an average weight of 20.05 ± 1.0 kg. The animals were fed using grass with *Brachiaria spp*. and a supplementation with 100 g of commercial balanced food. The treatments were:

T1: 600 g of corn silage [EMA], T2: 200 g EMA and 100 g palm kernel, T3: 400

g EMA and 100 g of wheat bran, and T4: 400 g EMA + 200 g of *Tithonia diversifolia* silage. The chemical quality of the food supplied and the soil where the sheep grazed were analyzed. The variables evaluated were weight gain, feed intake, feed efficiency and conversion, protein efficiency ratio and blood biochemistry.

Results and conclusions: in T2, the lowest [$P < 0.05$] daily weight gain and final weight was obtained related to T1 [234.4 and 33.6 Vs 263.6 g and 36.3 kg respectively] as well as the lowest consumption of dry matter [1678.1 Vs 1815.8 g respectively]). The other treatments had a similar behavior [$P > 0.05$] in the total consumption of dry matter and protein. Serum concentrations of protein, albumin, glucose, cholesterol, triglycerides, and calcium were similar [$P > 0.05$] before and after treatments, while the serum magnesium concentration after supplementation was higher [$P < 0.05$] in T4 related to T1 and T2. Supplements such as EMA, palm kernel, wheat bran and buttercup silage have a positive effect on sheep fed with grass and *Brachiaria spp*. in terms of dry matter intake, weight gain and feed conversion.

Keywords: feeding, silage, ruminants, blood chemistry, oxisol, *Brachiaria*.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos del piedemonte llanero de Colombia son de textura arcillosa, por lo tanto, su drenaje es deficiente. Se clasifican como oxisoles, con un pH ácido o ligeramente ácido, y están altamente saturados de aluminio, lo que afecta la capacidad de intercambio catiónico. Estas condiciones influyen en la cantidad de materia orgánica [MO] presente y en

la biodisponibilidad de nitrógeno [N], fósforo [P], potasio [K] y otros minerales como calcio [Ca], magnesio [Mg], azufre [S], cobre [Cu] y zinc [Zn]; en consecuencia, esto influye en los sistemas de producción agrícola y animal (Camacho et al., 2010). Dichos suelos tienen baja fertilidad, pero los géneros de la planta gramínea *Brachiaria spp* se



han adaptado a las condiciones de esta zona, contribuyendo al desarrollo de la producción bovina y ovina ya que sirven como alimento durante el pastoreo de estas especies. No obstante, la productividad es baja, en comparación con otras zonas del país, como consecuencia de la degradación [y desconocimiento de la génesis de sus suelos y características de sus praderas] ocasionada por varios factores, entre los que sobresale la falta de fertilización y mantenimiento de los pastos (Balseca et al., 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó este experimento en el que se suplementó la dieta típica de algunos ovinos del piedemonte llanero, a base de *Brachiaria spp.*, usando forrajes de maíz [*Zea mays*] y botón de oro [*Tithonia diversifolia*]. La razón por la que se realizó este experimento es que, en las regiones con climas tropicales, generalmente las pasturas son deficientes en su contenido nutricional, lo cual se ve reflejado en bajas ganancias de peso de los animales; por lo tanto, se requiere evaluar otros alimentos que puedan suplir tales deficiencias (Shimada, 2002).

Para la evaluación del experimento, fue necesario realizar análisis bioquímicos a los animales, ya que el perfil proteico [albúmina, globulinas y nitrógeno ureico] de la sangre refleja, en parte, el aporte de proteína en la dieta, incidencias patológicas o procesos de malnutri-

ción; en ese sentido, las proteínas plasmáticas cumplen un papel importante en el mantenimiento de la presión colloidsmótica y del equilibrio ácido-básico (Román, 2021), los cuales son necesarios para el bienestar del animal. Por otra parte, el perfil energético [glucosa, colesterol, triglicéridos y β -hidroxibutirato] también se debe analizar, debido a que este contiene información elemental sobre los procesos vitales celulares en un estado de ayuno y reposo dentro de un ambiente regulado (Gómez et al., 2013); es importante recordar que los animales de producción necesitan esencialmente dos tipos de energía, la de mantenimiento y la de producción (Shimada, 2002). Adicionalmente, son varios los minerales utilizados en las dietas o suplementos para los animales de crianza, como Ca, Mg, P y sodio [Na], los cuales son importantes para los procesos metabólicos y el mantenimiento de tejidos; existen otros minerales, pero estos, dependiendo la zona, pueden adquirirse en el pasto (Roa-Vega et al., 2017).

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar el efecto nutricional de la suplementación con ensilados de maíz, y de *T. diversifolia*, palmiste y salvado de trigo en ovinos alimentados con *Brachiaria spp.*, en el trópico bajo de Colombia, evaluando su ganancia de peso y sus reacciones metabólicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de la investigación: el proyecto se realizó en la finca de la Universidad de los Llanos [vereda Barcelona] en Villavicencio. La altura es de 423 m s. n. m., la temperatura promedio es de 25.5 °C, la humedad relativa está entre un 67 a 83 % y el promedio de lluvia anual es de 4 163 mm. El estudio se realizó durante el periodo de transición de clima lluvioso a seco en la zona [octubre a diciembre]. El área total de pastoreo utilizada fue 10 000 m².

Análisis de suelos y nutricionales: para establecer la relación entre los componentes del suelo y el pasto con la nutrición de los ovinos, se realizaron análisis de las praderas donde pastoreaban los animales [Tabla 1] y, también, se realizaron análisis nutricionales de *Brachiaria spp* y de los tratamientos que constituyeron el suplemento [Tablas 2 y 3]. Las muestras de forrajes y alimentos [seis de cada uno] se analizaron se-

gún la metodología de la Association of Official Analytical Chemists [AOAC], (2005).

La energía digestible fue estimada mediante la metodología de Church et al. (1992), por lo cual fue necesario evaluar las digestibilidades de los tratamientos; durante cinco días, cuando los ovinos estuvieron bien adaptados a las dietas, se midió el consumo de materia seca y producción de heces, las cuales fueron enviadas al laboratorio para realizar un análisis proximal; con estos datos se calcularon los coeficientes de digestibilidad [COD] de la proteína, extracto no nitrogenado [ENN], fibra cruda [FC] y grasa, aplicando las fórmulas de las ecuaciones 1 y 2. Primero se calcularon los nutrientes digestibles totales [NDT] [ecuación 1] y, posteriormente, se calculó la energía digestible [ED] expresada en megacalorías por kilogramo de materia seca [ecuación 2].

$$\% \text{ NDT} = (\% \text{ Prot} * \text{COD}) + (\% \text{ ENN} * \text{COD}) + (\% \text{ FC} * \text{COD}) + (\% \text{ Grasa} * \text{COD}) \quad [\text{ecuación 1}]$$

$$1 \text{ Kg NDT} = 4,4 \text{ Mcal ED/Kg MS} \quad [\text{ecuación 2}]$$

Animales y tratamientos: se utilizaron 12 ovinos machos [resultado del cruce entre ovinos criollos y de la raza Pelibuey] con un peso inicial de 20.05 ± 1.0 kg, de 4 meses de edad, los cuales se alimentaron en pastoreo con *Brachiaria spp*, y su dieta se suplementó con 100 g de ración balanceada comercial, distribuidos en cuatro tratamientos:

T1: 600 g de ensilado de maíz [EMA], T2: 200 g de EMA y 100 g palmiste, T3: 200 g de EMA y 100 g de salvado de trigo, T4: 400 g de ensilado de EMA y 200 g de ensilado de botón de oro [*Tithonia diversifolia*]. Todos los tratamientos tuvieron disponibilidad de agua y sal mineralizada compuesta por los siguientes minerales: cloruro de sodio 27.0 %,

fósforo 8.0 %, calcio 12.0 %, azufre 9.1 %, magnesio 0.8 %, zinc 9 500 ppm, cobre 3 200 ppm, yodo 120 ppm, cobalto 60 ppm y selenio 50 ppm. Los animales, previamente a la fase experimental, se

encontraban bajo pastoreo con *Brachiaria spp* y recibían alimento balanceado comercial de manera esporádica. El pastoreo se realizó en promedio a los 38 días de rebrote.

Tabla 1. Análisis de suelo de las praderas de pastoreo con *Brachiaria spp*

Componente	Valor	Componente	Valor
pH	4.61 ± 0.20	Na [Meq/100 g]	0.03 ± 0.01
NT [%]	0.48 ± 0.07	B [ppm]	5.35 ± 2.04
MO [%]	1.67 ± 0.57	Cu [ppm]	1.55 ± 0.55
P [ppm]	12.61 ± 3.42	Mn [ppm]	1.28 ± 0.50
Al [Meq/100 g]	1.51 ± 0.33	Fe [ppm]	64.79 ± 18.9
K [Meq/100 g]	0.20 ± 0.04	Zn [ppm]	4.98 ± 4.25
Ca [Meq/100 g]	0.99 ± 0.33	S [ppm]	4.70 ± 1.15
Mg [Meq/100 g]	0.19 ± 0.16		

Nota: Valores promedio de seis muestras, **Análisis:** Laboratorio de Suelos de UNILLANOS. **pH:** potencial de hidrogeniones, **NT:** nitrógeno total, **MO:** materia orgánica, **P:** fósforo, **MO:** materia orgánica, **Al:** aluminio, **K:** potasio, **Ca:** calcio, **Mg:** magnesio, **Na:** sodio, **B:** boro, **Cu:** cobre, **Mn:** manganeso, **Fe:** hierro, **Zn:** zinc, **S:** azufre. **Fuente:** Autores.

Tabla 2. Composición nutricional de los tratamientos suministrados a los ovinos de ceba en pastoreo con *Brachiaria spp*

Nutriente [%]	<i>Brachiaria spp</i>	T1	T2	T3	T4
MS	18.3 ± 2.71	36.75 ± 1.17	50.25 ± 0.17	49.50 ± 0.33	36.25 ± 2.50
PC	7.14 ± 0.12	14.23 ± 0.12	13.94 ± 0.14	13.86 ± 0.05	13.81 ± 0.03
NT	1.14 ± 0.7	2.27 ± 0.9	2.23 ± 0.8	2.21 ± 1.1	2.20 ± 0.09
FDN	64.72 ± 2.36	84.26 ± 1.81	84.98 ± 0.44	75.85 ± 1.69	74.87 ± 1.19
FDA	44.24 ± 1.23	26.41 ± 1.12	41.32 ± 0.67	25.44 ± 2.34	39.83 ± 2.24
MO	90.8 ± 2.68	93.51 ± 0.13	94.38 ± 0.05	92.70 ± 0.09	92.26 ± 0.03
Ca	0.165 ± 0.02	0.65 ± 0.03	0.45 ± 0.01	0.46 ± 0.01	0.6 ± 0.05
Mg	0.12 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.26 ± 0.04
ED [Mcal/kg]	2.72 ± 0.51	3.08 ± 0.44	3.12 ± 0.57	3.11 ± 0.62	3.09 ± 0.61

Nota: Valores promedio de seis muestras, **Análisis:** Laboratorio de Nutrición Animal de UNILLANOS. **MS:** materia seca, **PC:** proteína cruda, **NT:** nitrógeno total, **FDN:** fibra detergente neutro, **FDA:** fibra detergente ácido, **MO:** materia orgánica, **Ca:** calcio, **Mg:** magnesio, **ED:** energía digestible. **Dieta base:** pastoreo + 100 g de alimento balanceado comercial, **T1:** 600 g ensilado de maíz [EMA], **T2:** 200 g EMA + 100 g palmiste, **T3:** 200 g EMA + 100 g salvado de trigo, **T4:** 400 g EMA + 200 g ensilado de botón de oro. **Fuente:** Autores.

Tabla 3. Cantidad de materia seca [g] en los tratamientos suministrados a los ovinos de ceba en pastoreo con *Brachiaria spp*

Tratamiento	CC	EMA	Palmiste	ST	EBO	Total
T1	100	150	-	-	-	250
T2	100	50	100	-	-	250
T3	100	50	-	100	-	250
T4	100	100	-	-	50	250

CC: alimento balanceado comercial, EMA: ensilado de maíz [EMA], ST: salvado de trigo, EBO: ensilado de botón de oro, Dieta base: pastoreo + 100 g de alimento balanceado comercial, T1: 600 g de EMA con 25 % de materia seca [MS], T2: 200 g EMA con 25 % de MS + 100 g palmiste, T3: 200 g EMA con 25 % de MS + 100 g salvado de trigo, T4: 400 g EMA con 25 % de MS + 200 g ensilado de botón de oro con 25 % de MS. Fuente: Autores.

El periodo experimental fue de 60 días. Los animales se pesaron cada 10 días y se recolectó el alimento rechazado para calcular el consumo diario. Se evaluó la ganancia de peso diaria [GDP], la conversión [CA], la eficiencia alimenticia [EA] y el coeficiente de eficiencia proteica [CEP]. Además, se calcularon los requerimientos de materia seca [MS] utilizando el modelo del Nutrient Requirement National Research Council [NRC], (2007) con base a un consumo de MS diaria en promedio del 5 % del peso del animal, con 14 % de proteína y 3.1 Mcal de ED/kg de MS.

Para establecer el consumo promedio de pasto en la pradera [1160 g de MS ovino⁻¹] cada día, durante cinco días, se tomó información de seis ovinos con un

promedio de 27.3 kg, los cuales se dejaron diariamente en parcelas de 4 m² consumiendo exclusivamente forraje. Se calculó la cantidad de forraje antes de entrar y después de salir de la parcela [cada 24 horas], teniendo en cuenta que el consumo promedio de MS diaria de un ovino de ceba es del 5 %, según el NRC (2007). Como los pesajes se hicieron cada 10 días, se calculaba el consumo de forraje de acuerdo con el peso de cada periodo; así se determinó que el consumo de forraje fue en promedio de 85.5 ± 0.5 % del requerimiento en MS, es decir 4,25 % del peso vivo del animal, quedando la suplementación del 14.5 ± 0.9 % [0,75 % del peso vivo del animal] para completar el 100 % del requerimiento de MS. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$C = M - Mf + gMI;$$

[ecuación 3]

C es el forraje consumido [kg/ha], M es la biomasa al inicio del pastoreo [kg/ha], Mf es la biomasa al final del pasto-

reo [kg/ha], MI es la biomasa del área de exclusión en período de pastoreo [kg/ha] y g es el factor de corrección de

biomasa (Mejía, 2002). Para obtener el promedio de aumento diario de peso [ecuación 4], se resta el peso inicial [P_i]

del final [P_f] y se divide la diferencia por el número de días, restando el tiempo final (t_f) del inicial (t_i) (Di Marco, 2006).

$$GDP = (P_f - P_i) / (t_f - t_i) \quad \text{[ecuación 4]}$$

Para calcular la conversión [ecuación 5] y eficiencia alimenticia [ecuación 6] se adaptaron las ecuaciones establecidas por Mendoza y Ricalde (2016), y el coe-

ficiente de eficiencia proteica [ecuación 7] se estimó con la ecuación de Visbal et al. (2013).

$$CA = CMS / GDP \quad \text{[ecuación 5]}$$

$$EA = (GDP / CMS) * 100 \quad \text{[ecuación 6]}$$

$$CEP = GDP / PCI \quad \text{[ecuación 7]}$$

CA es la conversión alimenticia, CMS es el consumo de materia seca, GDP es la ganancia diaria de peso, EA es la eficiencia alimenticia, CEP es el coeficiente de eficiencia proteica y PCI es la proteína cruda ingerida.

Análisis bioquímico en suero sanguíneo: mediante venopunción yugular se tomó una muestra sanguínea [10 ml] a todos los ovinos, bajo los respectivos tratamientos, antes de iniciar y al finalizar el periodo experimental, para valorar los perfiles metabólicos (proteína, albúmina, glucosa, colesterol, triglicé-

ridos, urea, calcio y magnesio). El suero sanguíneo se obtuvo centrifugando [usando un equipo Gemmy KHT-240®] las muestras a 2 800 rpm durante 5 minutos, posteriormente se mantuvo en congelación a -20 °C hasta su procesamiento [Figura 1]. Para esto se usaron los respectivos reactivos [proporcionados por BioSystems®], y, siguiendo las respectivas indicaciones del inserto, se usaron los equipos necesarios para la determinación de química sanguínea [Mindray BA-88 A, Lab-Companion BW-20H®].

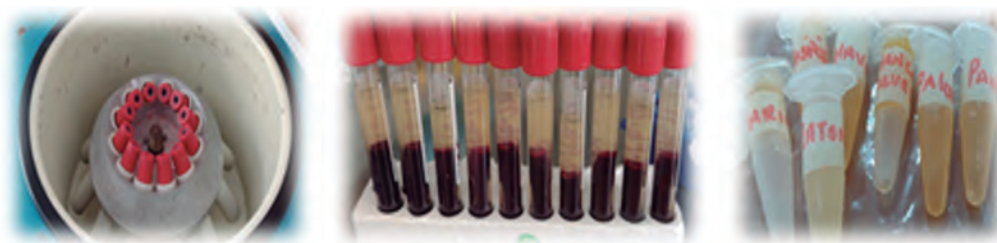


Figura 1. Centrifugación para obtención de suero en viales para determinación de metabolitos sanguíneos. Laboratorio Clínico de UNILLANOS. **Fuente:** Autores.

Análisis estadístico: se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos [T1, T2, T3 y T4] y tres réplicas por tratamiento, tomando como unidad experimental cada animal [4 x 3 = 12]. La información se analizó con el software SSPS versión 22. Se verificó la normalidad de las variables [ganancia de peso, consumo de alimento, eficiencia alimenticia, conversión alimenticia, coeficiente de eficiencia proteica] mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y, posteriormente, se realizó un

análisis de varianza [ANOVA] y pruebas de comparación múltiple de Tukey para establecer diferencias entre tratamientos con una significancia de 5 %. Dado que algunas variables no cumplieron con los supuestos de normalidad en la distribución, pero sí con la homogeneidad en las varianzas [eficiencia alimenticia, conversión alimenticia y coeficiente de eficiencia proteica], estas se analizaron mediante test de Kruskal-Wallis. El modelo estadístico fue el siguiente [ecuación 8]:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij} \quad \text{[ecuación 8]}$$

Y_{ij} es la variable de respuesta [ganancia de peso, consumo de alimento, eficiencia alimenticia, conversión alimenticia, coeficiente de eficiencia proteica] de los ovinos sometidos a los tratamientos [suplementaciones nutricionales]; μ es la media general; t_i es el efecto de la suplementación [T1, T2, T3 y T4]; ϵ_{ij} es el error experimental de la i - unidad experimental.

Por otra parte, las variables de química sanguínea de los ovinos [proteínas plasmáticas totales, albúmina, gluco-

sa, colesterol, triglicéridos, urea, calcio, magnesio y sodio] se analizaron bajo un ANOVA de medidas repetidas, tomando como factores el tratamiento y el periodo de muestreo. Se realizó la prueba de Mauchly para verificar la esfericidad de los datos [homogeneidad]. La comparación de medias se realizó mediante prueba de Bonferroni, igualmente, con una significancia del 5 %. Para estimar el efecto de la suplementación sobre los parámetros bioquímicos en sangre se utilizó el siguiente modelo [ecuación 9]:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad \text{[ecuación 9]}$$

Y_{ij} = es la variable aleatoria que mide la respuesta del sujeto experimentado en el i -esimo individuo [metabolitos séricos] que recibió el j -esimo tratamiento [suplementación nutricional]; μ = es el promedio general, α_i = el efecto del

tiempo, β_j = el efecto del tratamiento, y ϵ_{ij} = es la cantidad de variación no explicada por el factor, también conocida como error del experimento o variación residual.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis nutricionales: las gramíneas que más se encuentran en la zona del trópico bajo de Colombia son especies que pertenecen al género *Brachiaria*, las cuales se han adaptado a suelos ácidos y poco fértiles, aunque debido esta baja fertilidad en los suelos la calidad nutritiva de estos pastos no es adecuada para suplir las necesidades nutricionales del ganado, especialmente por su deficiencia en proteína, lo cual influye en la ganancia de peso y en el consumo voluntario de los animales (Laiton-Medina et al., 2021).

Con relación a lo anterior, en los periodos de lluvia se ha observado que la proteína cruda y la digestibilidad de materia seca y orgánica para los animales alimentados con *Brachiaria* disminuyen en 43.0, 12.4 y 11.7 % respectivamente, en comparación a los valores detectados en el periodo seco; de forma similar, la fibra aumenta en un 7.6 %, lo mismo el calcio, en el periodo lluvioso, mientras que el P, un elemento muy importante para la calidad nutricional del pasto, disminuye (Ramírez et al., 2017). El contenido de Ca foliar fue inferior en un 41.1 % [0.165 ± 0.02 % Vs 0.28 %] al encontrado en *Brachiaria* de otras zonas del país, indicando que el forraje del piedemonte llanero es deficiente en Ca con relación al pasto *Brachiaria* de suelos clasificados como fluvioles (Ramírez et al., 2009). Por otro lado, el Mg del pasto amargo en este trabajo estuvo relativamente bajo [0.12 ± 0.02] [Tabla 2]; esta variabilidad, hace

prever la necesidad de utilizar diferentes especies forrajeras.

Respuesta productiva con ovinos de ceba: entre los tratamientos se evidenció que T2 obtuvo las menores [$P < 0.05$] ganancias diarias de peso y peso final con relación a T1 [234.4 y 33.6 Vs 263.6 g y 36.3 kg respectivamente], los demás tratamientos T3 y T4 fueron similares [$P > 0.05$] a T1 y T2 [Tabla 4]; de igual manera, se observó un comportamiento similar con las variables consumo diario total de la MS y proteína. Es de anotar que los pesos finales promedio de todos los tratamientos, en este trabajo, fueron superiores en un 14.7 % [34.6 ± 1.18 kg] a los registrados en ovinos de ocho meses pertenecientes un sistema de producción en Colombia (29.1 kg) (Camargo, 2018). La conversión del consumo total de MS, eficiencia alimenticia y conversión del consumo de suplemento fueron similares [$P > 0.05$], aunque se observó numéricamente una mejor eficiencia al convertir la MS y proteína a peso en T1 [1:6.89 y 14.52% y 1:0.9] comparado con T4 [1:7.58, 13.20 % y 1:1.1 respectivamente] [Tabla 4].

Por otro lado, se observa una buena eficiencia de los suplementos [EMA, palmito, salvado de trigo y ensilado de botón de oro] en la ganancia de peso, obteniéndose un valor de conversión promedio en todos los tratamientos de 1:1.025 [Tabla 4]. Este valor de la relación es bastante favorable, lo cual indica que los ovinos respondieron ade-

cuadramente a la suplementación en los cuatro tratamientos, con lo cual presentaron una mayor capacidad de consumo de la ración (Cárdenas et al., 2015).

Hay que señalar que debido a que los animales [antes del periodo experimental] estuvieron en condiciones de pastoreo, con suplementación de alimento balanceado comercial de manera esporádica, y que posiblemente hubo algún tipo de restricción o limitación nutricional, el posible efecto de crecimiento compensatorio que pudo presentarse debido a la mayor disponibilidad de nutrientes (Macedo y Arredondo, 2008) fue controlado con la suplementación base en todos los tratamientos [alimento balanceado comercial], por lo cual las diferencias en los desempeños productivos son atribuidos exclusivamente a las suplementaciones nutricionales experimentales.

Parámetros metabólicos en el suero sanguíneo: los valores de proteína, albúmina, glucosa, colesterol, triglicéridos, urea, calcio, magnesio y sodio no se vieron afectados [$P > 0.05$] por la suplementación realizada con los respectivos tratamientos [Tabla 5]. Estos valores fueron similares a los encontrados por Bustamante et al. (2022), quienes realizaron una inclusión de botón de oro y pasto elefante, con suplemento de alimento balanceado comercial, en una proporción de 60:40; sin embargo, la concentración de proteínas plasmáticas fue más baja con la inclusión de forraje con botón de oro, por lo cual estos autores concluyeron que a mayor cantidad de forraje disminuye el desempeño o rendimiento del animal en general. Dicha situación también se observó en el presente estudio, puesto que la inclusión de ensilaje de maíz en las raciones de ovinos no afectó dicho parámetro.

Tabla 4. Producción en los ovinos de ceba en pastoreo en *Brachiaria spp* y suplementación alimenticia

Variable	T1	T2	T3	T4
Peso inicial (kg)	20.5	19.5	19.6	20.6
Peso total (kg)	36.3 ^a	33.6 ^b	34.4 ^{ab}	34.1 ^{ab}
Ganancia diaria de peso (g)	263.6 ^a	234.4 ^b	246.2 ^{ab}	225.0 ^{ab}
Consumo diario de MS de pasto (g)	1565.8 ^a	1428.1 ^b	1468.6 ^{ab}	1455.1 ^{ab}
Consumo diario de MS de suplemento (g)	250.0	250.0	250.0	250.0
Consumo diario total de MS (g)	1815.8 ^a	1678.1 ^b	1718.6 ^{ab}	1705.1 ^{ab}
Consumo diario total de proteína (g)	258.4 ^a	233.9 ^b	238.2 ^{ab}	235.5 ^{ab}
Conversión alimenticia (relación CT/GP)	6.89	7.16	6.98	7.58
Eficiencia alimenticia (%)	14.52	13.97	14.33	13.20

Conversión del suplemento (relación CS/GP)	0.9	1.1	1.0	1.1
CEP (relación CP/GP)	0.980 ^{ab}	0.998 ^{ab}	0.968 ^b	1.046 ^a

Letras diferentes en la misma fila son significativas [$P < 0,05$]. **MS**: materia seca, **CT**: consumo total, **CS**: consumo suplemento, **CP**: consumo de proteína, **GP**: ganancia de peso, **CEP**: coeficiente de eficiencia proteica, **Dieta base**: pastoreo + 100 g de alimento balanceado comercial, **T1**: 600 g ensilaje de maíz [EMA], **T2**: 200 g EMA + 100 g palmiste, **T3**: 200 g EMA + 100 g salvado de trigo, **T4**: 400 g EMA + 200 g ensilaje de botón de oro. **Fuente**: Autores.

Al finalizar el ensayo, los valores de urea sanguínea fueron superiores [$P < 0,05$] en T2 y T3, y los de colesterol en T3, lo cual puede estar influenciado por el contenido de proteína y grasa de los tratamientos [Tabla 5]. La urea está relacionada con el metabolismo de proteínas [lo cual ocurre especialmente en el hígado] y tiene varias rutas en rumiantes, entre ellas el reciclaje a nivel ruminal, en la que los microorganismos la usan junto con carbohidratos para la producción de proteína microbiana (Arias-Islas et al., 2020); por lo tanto, altos niveles de proteína cruda permiten una mayor actividad de las bacterias ruminales para el aprovechamiento y la síntesis de nutrientes.

Las concentraciones de magnesio al final del ensayo fueron superiores [$P < 0.05$] en T2 y T4, y las de sodio en T4 [Tabla 5]. En algunos estudios se ha evidenciado que una baja concentra-

ción de Mg y alta en potasio, en los forrajes disponibles para los animales, puede interferir en su absorción causando deficiencias (Castillo-López & Domínguez-Ordóñez, 2019), lo cual no se observó en el presente estudio. Otros factores que podrían influir en las variaciones de la respuesta animal son el estado fisiológico del animal y las condiciones ambientales en las que se encuentren, debido a que están relacionadas directamente con su funcionamiento hepático y procesos de termorregulación, lo cual se presume que no afectó el presente estudio puesto que todas las suplementaciones se realizaron en una misma época del año y con animales de levante. Con relación a esto, Román (2021) encontró que los animales en época de invierno tienden a aumentar las concentraciones de metabolitos como glucosa, colesterol, proteína total y urea.

Tabla 5. Perfiles metabólicos al inicio y final del periodo de suplementación

Metabolito	Periodo	Tratamiento			
		T1	T2	T3	T4
Proteína [g/dL]	Inicio	6.0 ± 0.4	5.9 ± 1.9	6.4 ± 0.3	6.9 ± 1.0
	Final	6.6 ± 0.7	6.9 ± 1.2	7.0 ± 2.3	7.8 ± 2.2

Albúmina [g/dL]	Inicio	3.2 ± 0.2	2.8 ± 1.2	3.4 ± 0.8	3.5 ± 0.6
	Final	2.9 ± 1.0	3.0 ± 0.1	2.9 ± 0.3	3.2 ± 0.7
Glucosa [mg/dL]	Inicio	81.2 ± 16.7	75.2 ± 8.3	81.0 ± 6.3	68.7 ± 6.3
	Final	66.1 ± 10.6	65.4 ± 2.2	73.9 ± 10.1	69.3 ± 12.1
Colesterol [mg/dL]	Inicio	74.4 ± 14.6	52.3 ± 22.3	48.6 ± 9.0 ^b	66.6 ± 16.9
	Final	69.8 ± 15.2	90.1 ± 11.3	85.3 ± 3.7 ^a	73.6 ± 17.8
Triglicéridos [mg/dL]	Inicio	41.5 ± 17.5	28.6 ± 2.0	38.2 ± 14.9	32.1 ± 14.8
	Final	38.4 ± 13.1	71.0 ± 22.4	42.5 ± 4.1	61.4 ± 28.1
Urea [mg/dL]	Inicio	9.0 ± 1.8	6.9 ± 1.8 ^b	6.8 ± 2.1 ^b	5.5 ± 1.2
	Final	12.4 ± 3.9	11.4 ± 0.3 ^a	14.6 ± 0.9 ^a	17.4 ± 6.9
Calcio [mg/dL]	Inicio	9.5 ± 1.7	8.6 ± 1.3	9.3 ± 2.3	10.7 ± 3.9
	Final	10.7 ± 0.4	11.1 ± 2.0	14.6 ± 7.2	10.2 ± 0.9
Magnesio [mg/dL]	Inicio	1.8 ± 0.3	1.4 ± 0.2 ^b	2.2 ± 0.5	1.6 ± 0.2 ^b
	Final	2.0 ± 0.7	2.5 ± 0.3 ^a	2.9 ± 0.6	2.2 ± 0.1 ^a
Sodio [mmol/L]	Inicial	134.4 ± 19.8	141.3 ± 34.3	132.6 ± 28.8	109.7 ± 6.5 ^b
	Final	123.5 ± 22.0	133.0 ± 16.0	147.2 ± 21.0	136.3 ± 9.6 ^a

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas [$P < 0.05$] entre periodos de muestreo. **Dieta base:** pastoreo + 100 g de alimento balanceado comercial, **T1:** 600 g ensilaje de maíz [EMA], **T2:** 200 g EMA + 100 g palmiste, **T3:** 200 g EMA + 100 g salvado de trigo, **T4:** 400 g EMA + 200 g ensilaje de botón de oro. **Fuente:** Autores.

En este trabajo la materia orgánica [MO] en el suelo fue baja [1.67 %], se puede afirmar que la planta provee al animal el 100 % de estos compuestos, por lo tanto, los pastos tienen que hacer transformaciones biológicas eficientes del N y el anhídrido carbónico, para proveer su propio crecimiento y hacer el respectivo aporte al animal [Tablas 1, 2 y 3, Figura 2]. En estas condiciones experimentales el N fue deficiente, aunque las concentraciones plasmáticas de proteínas totales [PT], albúmina y urea estuvieron dentro los rangos considerados como normales para la especie [6.45

g/dl 3.1 g/dL y 10,5 mg/dL respectivamente] (Meyer y Harvey, 2000), lo cual demuestra la gran capacidad metabólica de los rumiantes.

De manera similar metabolitos energéticos como glucosa y el colesterol [72.6 y 70.1 mg/dl respectivamente] estuvieron dentro de los rangos normales de referencia, al igual que el Ca; el Mg estuvo alto con relación a tales valores [0.54 y 0.22 mg/dL respectivamente], puesto que los rangos de este mineral están entre 0.12 y 0.18 mg/dl, representando un 10 % más de Mg [Figura 2].



Estos resultados confirman el efecto de la suplementación con alimentos y la sal mineralizada. Por otra parte, el contenido de proteína de los forrajes y alimentos tienen una alta correlación con

la MO y K de los suelos, lo que permite afirmar que, a mayor contenido de MO en suelo se obtiene mejor valor nutritivo en pastos (Apráez et al., 2012).

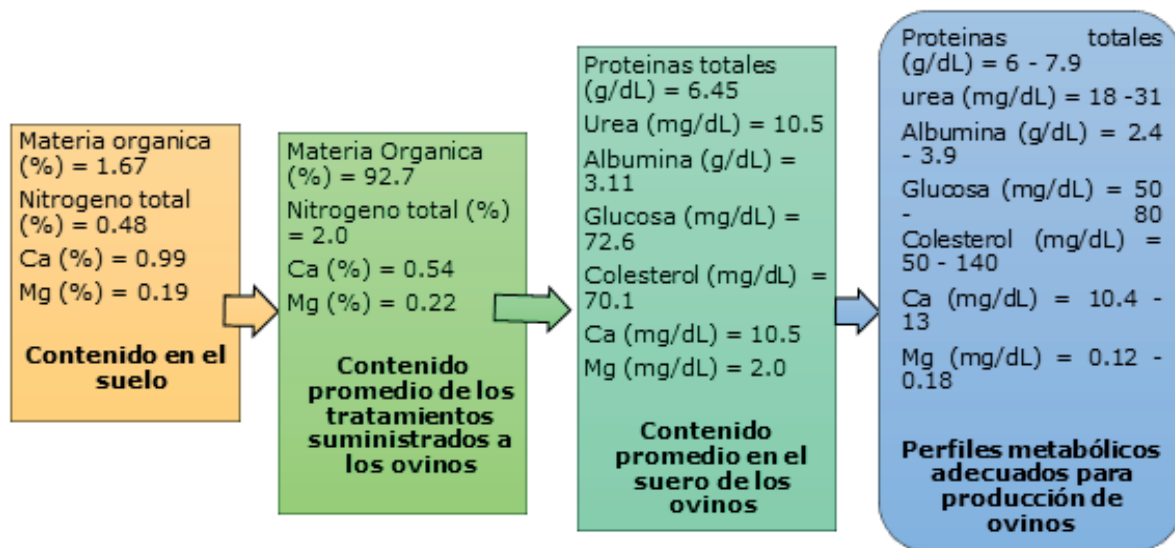


Figura 2. Relación de minerales del suelo con el contenido de materias primas y lo requerido por los ovinos. Valores de referencia considerados normales para química sanguínea (Meyer y Harvey, 2000). **Fuente:** Autores.

4. CONCLUSIONES

En la alimentación de ovinos, basada en el pastoreo, influye la composición química del suelo porque aporta los nutrientes a los pastos, por lo cual se observó que un bajo contenido de materia orgánica en el suelo, donde pastoreaban los animales, condiciona la producción, debido a que las plantas tienen mayor dificultad para suplir los nutrientes. Para compensar una relación nutricional inadecuada entre el suelo, la planta y el animal, debido a las condiciones de los suelos oxisoles del piedemonte llanero, se utilizaron diversos suplemen-

tos como ensilado de maíz, palmiste, salvado de trigo y ensilado de botón de oro, observándose un efecto positivo en ovinos de ceba que se alimentaban con *Brachiaria spp*, en lo referente a ganancias de peso, con conversiones promedio de todos los tratamientos de 1:1.025. En ese sentido, la mejor eficiencia proteica [relación del consumo de proteína con respecto a la ganancia de peso] se observó con el suplemento simultáneo de ensilado de *Z. mays* y *T. diversifolia*. El efecto benéfico de la suplementación también se observó en los parámetros

metabólicos de los ovinos, puesto que los mismos estuvieron dentro los rangos normales establecidos para esta es-

pecie, indicando que sus requerimientos fueron cubiertos.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: coordinación de metodología e investigación, análisis estadísticos, escritura de informe técnico, revisión y conceptualización para la escritura de este manuscrito. **Segundo**

autor: investigación experimental en campo y laboratorio, organización y análisis de datos, revisión y edición del manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de los Llanos por facilitar los recursos para la realización del proyecto denominado “Relación nutricional suelo-planta-animal en dos

sistemas de producción con rumiantes en el trópico utilizando ensilaje como suplemento”, del cual derivan los resultados que se plasmaron en este trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

Apráez, J. E., Gálvez, A., Tapia, E., Jojoa, L., León, J., Zambrano, D., Zambrano, H. R., Obando, V. y Aux, Y. (2012). Determinación de los factores edafoclimáticos que influyen en la producción y calidad del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en condiciones de no intervención. *Livestock Research for Rural Development*, 24(3), <http://www.lrrd.org/lrrd24/3/apra24042.htm>

Arias-Islas, E., Morales-Barrera, J., Prado-Rebolledo, O., y García-Casillas, A. (2020). Metabolismo en rumian-

tes y su asociación con analitos bioquímicos sanguíneos. *Abanico Veterinario*, 10(1), 1-24. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2020.15>

Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2005). *Official methods of Analysis* [18th Edition]. AOAC International.

Balseca, D. G, Cienfuegos, E. G, López, H. B, Guevara, H. P, y Martínez, J. C. (2015). Nutritional value of Brachiarias and forage legumes in the humid tropics of Ecuador. *Ciencia*

- e Investigación Agraria*, 42(1), 57-63. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202015000100006>
- Bustamante, M. J., Maza, L. A., Rugeles, C. C., Simanca, J. C., Patiño, R. M. y Vergara, O. D. (2016). Determinación del perfil metabólico durante el periodo gestación-lactancia en hembras ovinas de pelo en Córdoba, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 57(2), 114-124. <http://ve.scielo.org/pdf/rfcv/v57n2/art05.pdf>
- Camacho, J. H., Luengas, C. y Leiva, F. (2010). Análisis multivariado de propiedades químicas en oxisoles con diferentes niveles de intervención agrícola. *Acta Agronómica*, 59(3), 273-274. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/17655/18484
- Camargo, D. A. (2018). *Suplementación estratégica para mejor la producción de ovejas en trópico bajo colombiano*. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/360/>
- Cárdenas, J., Maza, A. y Cardona J. (2015). Comportamiento productivo de terneros lactantes suplementados con maíz más torta de algodón en el departamento de Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 7(2), 171-178. <https://doi.org/10.24188/recia.v7.n2.2015.261>
- Castillo-López, E. y Domínguez-Ordóñez, M. G. (2019). Factors affecting the ruminal microbial composition and methods to determine microbial protein yield. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1), 120-148. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4547>
- Church, D. C., Pond, W. G. y Pond, K. R. (1992). *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. (2ª Ed). Editorial Limusa.
- Di Marco, O. N. (2006). *Crecimiento de vacunos para carne*. Fundación Argentina.
- Gómez, O. J., Londoño, L. F. y Madrid P. V. (2013). El perfil metabólico como herramienta de monitoreo de la salud, la producción y la fertilidad en el hato lechero del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. *Revista Lasallista de Investigación*, 10(1), 38-48. <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/rldi/article/view/422>
- Macedo, R. y Arredondo, V. (2008). Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos Pelibuey en manejo intensivo. *Archivos de Zootecnia*, 57(218), 219-228.
- Mejía, J. (2002). Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. *Acta Universitaria*, 12(3), 56-63. <https://doi.org/10.15174/au.2002.283>
- Mendoza, G. D. y Ricalde, R. (2016). *Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Meyer, D. y Harvey, J. (2000). *El laboratorio en medicina veterinaria: Interpretación*

- tación y diagnóstico (2ª ed.). Intermédica.
- Laiton-Medina, J. F., Hurtado-Nery, V. L. y Granados, J. E. (2021). Evaluación de tres especies de *Brachiaria* spp con pastoreo rotacional para ceba bovina. *Orinoquia*, 25(1), 15-22. <https://doi.org/10.22579/20112629.652>
- National Research Council [NRC]. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11654>
- Ramírez, J. L., Vega, M., Acosta, I. L. y Verdecia D. (2009). Caracterización nutritiva de las especies *Brachiaria decumbens* e híbrido en un suelo fluvisol de Cuba. *Livestock Research for Rural Development*, 21(2). <http://www.lrrd.org/lrrd21/2/rami21023.htm>
- Ramírez, J. L., Zambrano, D. A., Campuzano, J., Verdecia, D. M., Chacón, E., Arceo, Y., Labrada, J. y Uvidia, H. (2017). El clima y su influencia en la producción de los pastos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(6), 1-12. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63651420007.pdf>
- Roa-Vega, M. L., Ladino-Romero, E. A. y Hernández-Martínez, M. C. (2017). Indicadores de bioquímica sanguínea en bovinos suplementados con *Cratylia argentea* y *Saccharomyces cerevisiae*. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 144-151. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1951>
- Román, N. E. (2021). *Perfil metabólico en ovinos de pelo del departamento de Córdoba*. [Tesis de pregrado, Universidad de Córdoba]. Biblioteca digital. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4668>
- Shimada, M. A. (2002). *Nutrición Animal*. Editorial Triallas.
- Visbal, T. E., Morillo, M., Altuve, D., Aguirre, P. y Medina, A. L. (2013). Nivel óptimo de proteínas en la dieta para alevines de *Prochilodus mariae*. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(2), 141-146. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182013000200008>

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.



EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN ALIMENTARIA A BASE DE CASCARILLA DE CACAO (*Theobroma cacao*) SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA LECHE DE VACAS MESTIZAS ALIMENTADAS CON PASTO

EFFECT OF NUTRITIONAL SUPPLEMENTATION BASED ON COCOA HUSK (*Theobroma cacao*) ON THE PRODUCTION AND COMPOSITIONAL QUALITY OF MILK OF CROSSBRED COWS FED WITH GRASS

Jilmart Ortiz-Ravelo ¹, Román Maza-Ortega ², Deilen Sotelo-Moreno ³,
Dixon Fabián Flórez-Delgado ⁴, Dubel Cely-Leal ⁵

¹ Zootecnista. Universidad de Pamplona, [Pamplona, Colombia].

² Doctor en Zootecnia. Universidad de Pamplona, Grupo de Investigación en Ganadería y Agricultura Sostenible [Pamplona, Colombia].

³ Doctor en Zootecnia. Universidad de Pamplona, Grupo de Investigación en Ganadería y Agricultura Sostenible [Pamplona, Colombia]

⁴ Magister el Sistemas Sostenibles de Producción. Universidad de Pamplona, Grupo de Investigación en Ganadería y Agricultura Sostenible [Pamplona, Colombia]

⁵ Magíster en Salud y Producción Animal. Universidad de Pamplona, Grupo de Investigación en Ganadería y Agricultura Sostenible [Pamplona, Colombia].

jilmart.ortiz@unipamplona.edu.co roman.maza@unipamplona.edu.co

deilen.sotelo@unipamplona.edu.co dixon.florez@unipamplona.edu.co

dubel.cely@unipamplona.com.co

Citación: Ortiz-Ravelo, J., Maza-Ortega, R., Sotelo-Moreno, D., Flórez-Delgado, D.F. y Cely-Leal, D. (2023). Efecto de la suplementación alimentaria a base de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) sobre la producción y calidad de la leche de vacas mestizas alimentadas con pasto. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 171 - 188. <https://doi.org/10.22490/21456453.6500>

RESUMEN

Contextualización: la suplementación nutricional para bovinos que se alimentan de pasto requiere de alternativas locales que permitan optimizar el desempeño productivo y reducir los costos de mantenimiento de los animales.

Vacío de conocimiento: la suplementación alimenticia a base de cascarilla de cacao es una alternativa nutricional y económicamente viable para las ganaderías tropicales y, por eso, con este estudio se busca responder a los siguientes interrogantes: ¿Cuál será el efecto del suplemento a base de cascarilla de cacao sobre la productividad y calidad de la leche bovina?, y ¿Su implementación permitirá reducir los costos del mantenimiento de los animales sin afectar los parámetros productivos y la calidad del producto final?

Propósito: evaluar los efectos de un suplemento a base de cascarilla de cacao en la producción y calidad de la leche de vacas mestizas que se alimentan de gramíneas tropicales.

Metodología: se emplearon 10 hembras bovinas multíparas mestizas [Pardo x Guzerat], en su segundo tercio de lactancia, con edad media de 7 años y peso promedio de 450 ± 38 kg, las cuales se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar con dos tratamientos: control y suplementado [el tratamiento suplementado se administraba diariamente a las vacas [2kg/animal/día] con cinco repeticiones por día]. El suplemento estaba compuesto de cascari-

lla de cacao, salvado de trigo, grano de maíz molido, melaza, urea, fosfato bicálcico y sal mineralizada, ofreciéndose diariamente en el momento del ordeño tras un periodo de adaptación de 14 días. La producción de leche se cuantificó diariamente y se corrigió al 4 % de grasa y la composición de la leche se analizó cada 15 días empleando un espectrofotómetro infrarrojo. Los datos obtenidos se sometieron a un ANOVA con el 5 % de significancia empleando el software PROC MIXED de SAS v. 9.4. El análisis económico se realizó mediante presupuestos parciales.

Resultados y conclusiones: la suplementación aumentó [$p < 0,05$] la producción láctea, corregida al 4 % de grasa. Hubo interacción entre los tratamientos y los tiempos de colecta [$p < 0,05$] sobre la concentración de grasa, la proteína, los sólidos no grasos y la densidad de la leche. La concentración de lactosa y minerales incrementó con la suplementación y los tiempos de colecta [$p < 0,05$]. La suplementación mejoró el ingreso neto por venta de leche en USD\$ 0,63 por animal al día. En resumen, la suplementación a base de cascarilla de cacao mejora la producción y la calidad de la leche de vacas mestizas, alimentadas con pastos de *Brachiaria humidicola*, generando mayores ingresos para los productores de leche.

Palabras clave: costos de producción, composición de leche, nutrición de rumiantes, pastos tropicales, suplementos.



ABSTRACT

Contextualization: Nutritional supplementation for cattle fed with grass requires local alternatives that allow optimizing the productive performance and reducing maintenance costs of the animals.

Knowledge gap: Cocoa husk supplementation can be a nutritionally and economically viable alternative for tropical farms, that is why this research pretends to answer the following questions: What will be the effect of cocoa husk supplementation on productivity and quality of bovine milk? and its implementation will make possible to reduce maintenance costs without affecting the production parameters and the quality of the final product?

Purpose: evaluate the effect of a cocoa husk supplement on the production and quality of milk from crossbred cows fed with tropical grasses.

Methodology: 10 Brown x Guzarat crossbred multiparous bovine females were used, in their second third of lactation, with an average age of 7 years and an middling weight of 450 ± 38 kg, which were distributed under a completely random design with two treatments: control and supplemented [the supplemented treatment was provided daily (2kg/ animal/day) with five repetitions each day]. The supplement was composed of cocoa husk, wheat

bran, ground corn grain, molasses, urea, dicalcium phosphate and mineralized salt, and it was offered daily, at milking time, after a 14-day adaptation period. Milk production was quantified daily and corrected to 4 % of fat, and milk composition was analysed every 15 days using an infrared spectrophotometer. The data obtained were subjected to an ANOVA with 5 % of significance, using the PROC MIXED software from SAS v. 9.4. The economic analysis was carried out through partial budgets.

Results and conclusions: the nutritional supplementation increased [$p < 0,05$] milk production which was corrected to 4 % fat. There was an interaction between treatments and collection times [$p < 0,05$] on the concentration of fat, protein, non-fat solids, and milk density. The concentration of lactose and minerals increased with supplementation and collection time [$p < 0,05$]. The nutritional supplementation improved net income from milk sales by USD\$ 0,63 per animal at day. In summary, nutritional supplementation based on cocoa husks improves production and quality of milk on crossbred cows fed with *Brachiaria humidicola* pasture, generating higher income for milk producers.

Keywords: production costs, milk composition, ruminants' nutrition, tropical pastures, supplement.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

En el trópico, las pasturas representan la principal fuente de alimento para los bovinos en pastoreo. Sin embargo, estas se ven afectadas por la estacionalidad climática que condiciona la disponibilidad y calidad nutricional del forraje disponible (Detmann et al., 2014), lo que disminuye la productividad de los sistemas de producción. Ante lo expuesto anteriormente, los productores optan por emplear alimentos comerciales que incrementan los costos de producción y reducen de manera significativa el margen de rentabilidad de la empresa pecuaria.

Por lo anterior se hace necesario identificar alternativas de suplementación a base de forrajes, residuos de cosecha y materias primas locales que reduzcan

las limitaciones cualitativas y cuantitativas de las pasturas y complementen la dieta de los bovinos, supliendo así sus requerimientos nutricionales (Flórez et al., 2019). El uso de subproductos de la agroindustria de cacao, en la alimentación de bovinos, es una opción importante para el desarrollo sostenible y eficiente de los sistemas de producción animal (González--Vázquez et al., 2020), ya que estos constituyen una fuente de proteína a bajo costo para los animales, lo que posibilita un adecuado desempeño productivo de los animales y mejores retornos económicos para el productor (Sánchez et al., 2018).

En la producción del cacao, desde el punto de vista económico, la semilla representa solo el 10 % del peso del fruto



fresco; el resto [90 %] genera problemas ambientales como malos olores, contaminación de fuentes hídricas y daños al ecosistema, debido a la inadecuada disposición final de los residuos que se generan. En este sentido, y en busca de ofrecer un manejo adecuado a estos residuos de la industria cacaotera y de

identificar alternativas de suplementación alimenticia para bovinos, el objetivo del presente trabajo fue investigar el efecto de un suplemento a base de cascarilla de cacao sobre la producción y calidad de la leche de vacas mestizas en pasturas tropicales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La presente investigación se llevó a cabo en la finca Manantial [ubicada en el municipio de Saravena, Arauca] entre septiembre y noviembre de 2021, con una duración de 74 días [14 días de adaptación y 60 días experimentales]. Esta área presenta una altitud de 250 msnm, 1675,5 mm de precipitación anual, una temperatura promedio de 31 °C y 70 % de humedad relativa.

Animales, diseño experimental y dietas. Para este estudio se emplearon 10 vacas mestizas Pardo x Guzerat multíparas, en segundo tercio de lactancia, con peso corporal y edad inicial promedio de 450 $\pm$ 38 kg y 7 años, respectivamente.

Los animales se distribuyeron en un diseño completamente al azar en dos tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: control [no suplementado] y suplementado [2 kg/animal/día]. El suplemento estaba compuesto de cascarilla de cacao, salvado de trigo, grano de maíz molido, melaza, urea, fosfato dicálcico y sal mineralizada [Tabla 1] y se formuló para contener 19 % de proteína bruta [PB]. La cantidad de suplemento administrada buscaba suplir el 20% de PB y el 18 % los de nutrientes digestibles totales [NDT] de una vaca mestiza con peso corporal de 450 kg y una producción de 10 kg/día de leche.

Tabla 1. Composición porcentual del suplemento consumido por los animales durante la etapa experimental.

Ítem	Suplemento
Ingredientes % (alimento base)	
Cascarilla de cacao	25,00
Salvado de trigo	51,00
Grano de maíz molido	19,00

Urea	1,60
Melaza	2,00
Fosfato dicálcico	1,00
Sal mineralizada	0,40

Fuente: autores.

Manejo animal. Los animales se sometieron a 14 días de adaptación a la dieta y 60 días de etapa experimental. Las vacas se alojaron en un área experimental de 8 ha [divididas en 8 potreros cubiertos uniformemente de *Brachiaria humidicola*] provista de comederos individuales y bebederos conjuntos, los animales tuvieron acceso irrestricto a agua y sal mineralizada. Para evitar el efecto de los potreros sobre las variables respuestas, los animales se rotaron cada 3 días entre los potreros. El suplemento se administró diariamente a las 06:00 h, al momento del ordeño matutino de los animales.

Muestras de pasto y suplemento. Para analizar la composición química del pasto se obtuvieron muestras mediante simulación manual de pastoreo cada 15 días. Para evaluar la composición química del suplemento se recolectó una muestra de 500 g al momento de su preparación. Posteriormente, se obtuvo una muestra compuesta de pasto y suplemento, las cuales fueron identificadas y almacenadas para su posterior análisis.

Producción y composición de la leche. Para cuantificar la producción de leche, las vacas se ordeñaron diariamente a las 6:00 h de forma manual y la leche

producida se pesó inmediatamente después del ordeño. La hora exacta en que la vaca se ordeñó fue registrada, y la producción de leche fue calculada para 24 horas de acuerdo con Mageste (2018).

Para evaluar la composición de la leche se colectaron muestras individuales, cada 15 días, de todas las vacas en frascos con una capacidad de 50 ml, usando como conservante dos pastillas de bromopol. Posteriormente, las muestras se llevaron al laboratorio para su posterior análisis.

Procedimientos analíticos. Las muestras de pasto fueron analizadas para materia seca [MS] [secado por 16 h a 105 °C; método INCT-CA número G-003/1] y proteína bruta [PB] [procedimiento Kjeldahl, método INCT-CA número N-001/1]. Las muestras de suplemento también fueron analizadas para materia seca [MS] [secado por 16 h a 105 °C, método INCT-CA número G-003/1], proteína bruta [PB] [procedimiento Kjeldahl, método INCT-CA número N-001/1] para cenizas [combustión completa en mufla a 600 °C por 4 h, método INCT-CA número M-001/1], extracto etéreo [procedimiento Randall, método AOAC de 2003.06 de 2019] y fibra en detergente neutro [FDN] [mé-



todo INCT-CA número F-002/1] de acuerdo con Detmann et al. (2012).

La producción de leche, corregida para el 4 % de grasa, fue calculada de acuerdo con la ecuación descrita por el National Research Council (NRC, 2001):

$$PL4G\% \text{ (kg)} = 0,4 \times (\text{producción de leche}) + [15 \times (\text{grasa en la leche} / 100) \times \text{producción de leche}]$$

Las muestras de leche se analizaron para conocer sus niveles de grasa, proteína, lactosa, minerales, sólidos no grasos, sólidos totales y densidad utilizando un espectrofotómetro infrarrojo [Lactoscan Julie C3 Scope Electric].

Análisis estadísticos. Todos los procedimientos se realizaron utilizando el software PROC MIXED de SAS (versión 9.4). La producción de leche total y la producción de leche corregida para el 4% de grasa se analizaron mediante ANOVA, utilizando la prueba *t* de estudiante. El efecto del tratamiento, sobre todas las variables mensuradas, se evaluó de acuerdo con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}, \text{ donde:}$$

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 se evaluó utilizando la prueba de Shapiro Wilks y la homocedasticidad a través de la prueba de Lavene.

Todas las variables relacionadas a la composición química de la leche se analizaron de acuerdo con el procedimiento para medidas repetidas en el tiempo, de las cuales el día de colecta la variable repetida. La elección de la estructura de covarianza más adecuada se basó en el valor más bajo del criterio de información de Akaike corregido. Debido a la alta probabilidad de ocurrencia del error tipo II, se adoptó un $\alpha = 0,05$.

Análisis económico. Para realizar el análisis económico, se utilizó la técnica del presupuesto parcial descrita por Murcia (1985).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan algunas características nutricionales del pasto y del suplemento consumido por los animales durante el periodo experimental. El contenido de PB de pasto fue inferior al

contenido de PB del suplemento [7.37 y 18,50 % de PB en la MS, respectivamente], lo cual era de esperarse debido a que el suplemento se formuló para tener un 19 % de PB.

Tabla 2. Composición química del suplemento y pasto consumido por los animales durante el experimento.

Ítem	Suplemento	<i>B. humidícola</i>
Materia seca (%)	94,85	88,12
Materia orgánica (% de la MS)	90,92	-
Proteína bruta (% de la MS)	18,50	7,37
Extracto etéreo (% de la MS)	2,00	-
Carbohidratos no fibrosos ¹ (% de la MS)	42,12	-
Fibra en detergente neutro (% de la MS)	28,30	-
Materia mineral (% de la MS)	9,08	-

$$^1\text{CNF} = 100 - (\% \text{PB} + \% \text{FDN} + \% \text{EE} + \% \text{MM})$$

Fuente: autores.

La suplementación a base de cascarilla de cacao incrementó [$p < 0,05$] la producción de leche total y la producción de leche corregida para el 4 % de grasa en los animales, con respecto al grupo control (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de la suplementación sobre la producción de leche de vacas mestizas en pastoreo.

Ítem	Tratamientos		DE	Valor- <i>P</i> ¹
	Con- trol	Suplementado		
<i>kg/día</i>				
Producción de Leche	8,47	11,68	0,699	0,011
Producción de Leche _{4G%}	7,39	10,98	0,612	0,003

Producción de Leche_{4G%}: Producción de leche corregida para el 4 % de grasa.

¹Significancia mediante la prueba t de estudiante.

Fuente: autores.

Estudios en bovinos alimentados con pasto, en condiciones tropicales (Lazarini et al., 2009; Sampaio et al., 2010; Souza et al., 2010), indican que la suplementación con proteína o proteína-energía puede elevar el contenido de PB de la dieta a un nivel próximo del 10 % en la MS, aumentando el consumo de



forraje. Después de este nivel de PB en la dieta [10 % PB en la MS], los requerimientos de compuestos nitrogenados de los microorganismos ruminales son atendidos por la degradación del forraje (Sampaio et al., 2010). Sin embargo, el contenido de PB del forraje consumido por los animales fue inferior al 10 % de PB en la MS, lo que posiblemente pudo ocasionar una menor degradación del forraje y, consecuentemente, menor consumo de MS por parte de los animales del grupo control.

Siguiendo este raciocinio, es posible que el suministro de suplemento resultara en un mayor aporte de nutrientes fundamentales para la síntesis de componentes en la glándula mamaria, promoviendo el aumento de la producción de leche y de la producción de leche corregida para el 4% de grasa de los animales, con relación a los animales del grupo control (Tabla 3). Resultados similares son reportados por Silva et al. (2017), Teixeira et al. (2019) y Lima et al. (2021), quienes evidenciaron un aumento de la producción de leche con el

suministro de diferentes tipos de suplementos energético-proteicos en vacas de leche, en condiciones tropicales.

En este estudio se verificó la interacción [$p < 0,05$] entre los tratamientos y los tiempos de colecta sobre la concentración de grasa, proteína, sólidos no grasos, minerales, sólidos grasos y densidad de la leche [Tabla 4]. El estudio de este efecto indica que la concentración de grasa [Figura 1], proteína [Figura 2], sólidos no grasos [Figura 5], sólidos totales [Figura 6] y densidad de la leche [Figura 7] solo aumentaron con el suministro del suplemento a base de cascari-lla de cacao. Adicionalmente, se observó un aumento de la concentración [$p < 0,05$] de lactosa y minerales en la leche con la suplementación a base de cascari-lla de cacao [Tabla 4]. Finalmente, se evidenció un efecto de los tiempos de colecta [$p < 0,05$] sobre la concentración de la lactosa y minerales [Tabla 4], de modo que sus concentraciones aumentaron a partir de la primera colecta [Fig. 3 y Fig. 4, respectivamente].

Tabla 4. Efecto de la suplementación sobre la composición química de la leche de vacas mestizas en pastoreo.

Ítem	Tratamientos		DE	Valor- P^1		
	Control	Suplementado		Trat	Col	Trat × Col
Grasa (%)	3,15	3,60	0,021	<0,001	<0,001	<0,001
Proteína (%)	2,84	3,09	0,034	<0,001	0,001	0,031
Lactosa (%)	4,26	4,57	0,045	0,001	0,004	0,105
Minerales (%)	0,64	0,69	0,006	<0,001	0,002	0,077
Sólidos no grasos (%)	7,50	8,38	0,087	<0,001	<0,001	0,002

Sólidos totales (%)	11,29	12,68	0,108	<0,001	<0,001	<0,001
Densidad (g/mL)	29,36	31,99	0,313	<0,001	<0,001	<0,001

¹**Trat:** efecto del tratamiento, **Col:** efecto de los días de colectas (se realizaron 4 colectas), **Trat × Col:** efecto de interacción entre tratamiento y días de colecta. Fuente: autores.

La composición de la leche puede ser influenciada por la dieta proporcionada a los animales. Según Wittwer (2000), los constituyentes de la leche que pueden modificarse de mayor a menor proporción son la grasa, proteína y lactosa. Así, la mayor concentración de grasa en la leche para los animales suplementados [Tabla 4 y Figura 1], con relación al grupo control, puede ser debido a una mayor degradación y consumo de fibra promovido por el suplemento a base de cascarilla de cacao y, consecuentemente, por una mayor producción de acetato a nivel ruminal, siendo este el principal precursor de la grasa en la leche

(Mattos, 2005). En este sentido, Mattos (2005) indica que el porcentaje de grasa en la leche está influenciado por varios factores interrelacionados, como la cantidad y calidad de la fibra, y la relación forraje-concentrado, los cuales afectan la producción de acetato, el cual es el principal precursor de la síntesis de ácidos grasos en la glándula mamaria para mantener el contenido graso de la leche. Resultados similares fueron reportados por García et al. (2010), Treptow et al. (2010) y Lima et al, (2021), cuando alimentaron vacas de leche con diferentes tipos de suplementos.

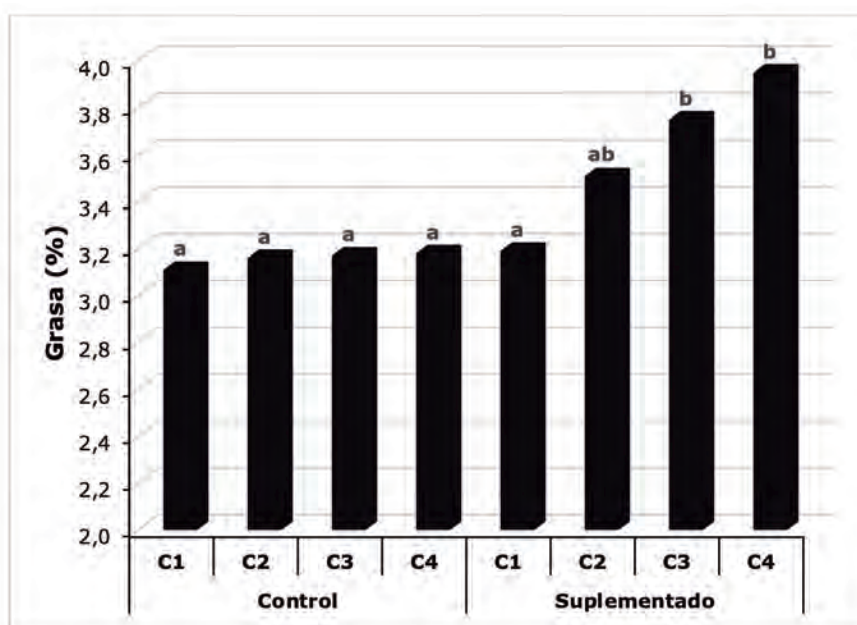


Figura 1. Concentración de grasa en la leche de los diferentes tratamientos de acuerdo con los días de colecta. **Fuente:** autores.



La mayor concentración de proteína en la leche observada en vacas suplementadas [Tabla 4 y Figura 2] puede ser debido a un mayor consumo de PB y CNF promovido por el suplemento, el cual presenta mayor concentración de estos nutrientes en comparación con el pasto [Tabla 2]. Se puede inferir que este comportamiento promueve posiblemente mayor suministro de sustratos esenciales para el crecimiento de los microorganismos ruminales y, consecuentemente, una mayor producción de proteína microbiana. De acuerdo con Mattos (2005), la excreción de proteína en la leche depende del flujo de proteínas en el intestino delgado, siendo la proteína microbiana la principal fuente de proteína para el intestino delgado.

Según Mattos (2005), la principal forma de aumentar la síntesis de proteína de la leche es maximizar la producción de proteína microbiana. Así, cuantos más aminoácidos se absorban a nivel intestinal, más sustrato habrá para la síntesis de caseínas y proteínas de la leche. Resultados similares a los obtenidos en este estudio fueron reportados por García et al. (2010), Teixeira et al. (2019) y Lima et al. (2021), sin embargo, Guimarães et al. (2014) y Silva et al. (2017), no observaron diferencia en la concentración de proteína en la leche cuando utilizaron diferentes tipos de suplementos con relación al grupo control.

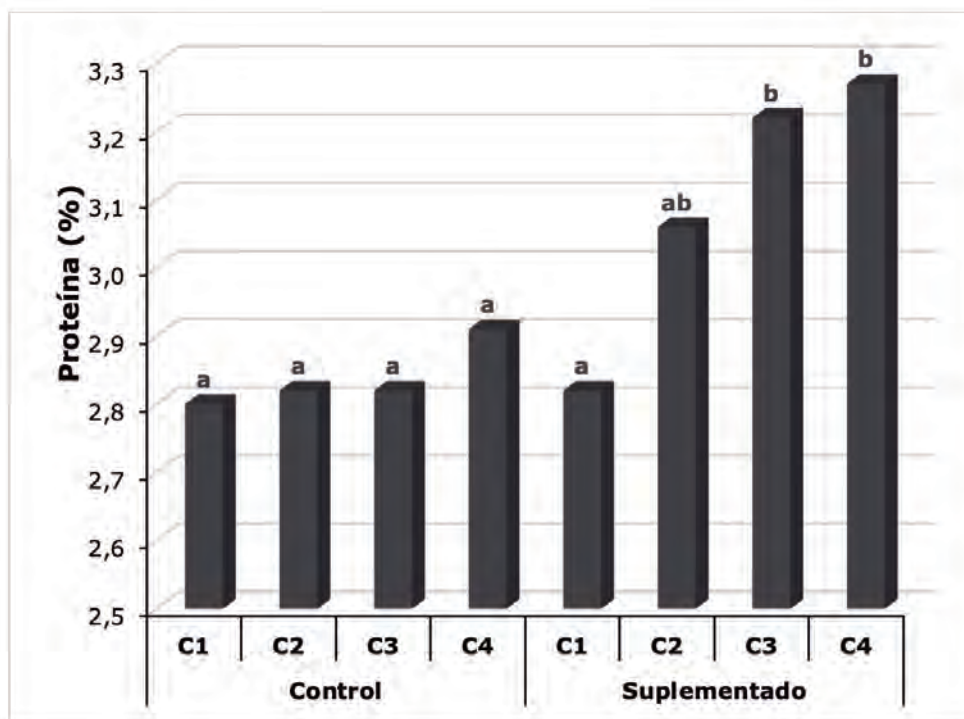


Figura 2. Concentración de proteína en la leche de los diferentes tratamientos de acuerdo con los días de colecta. **Fuente:** autores.



La lactosa es uno de los componentes más estables de la leche, aproximadamente el 5 % (Brito et al., 2007), sin embargo, las mayores concentraciones de lactosa en la leche de vacas suplementadas [Tabla 4 y Fig. 3] puede estar relacionada posiblemente con el mayor consumo de CNF a partir del suplemento, lo que resulta en una mayor cantidad de sustrato para la producción de propio-nato en el rumen y, consecuentemente,

en un aumento de la disponibilidad de glucosa en la glándula mamaria (NRC, 2001), así como una mayor síntesis de lactosa (Reis et al., 2000). Treptow et al. (2010), Silva et al. (2017) y Lima et al. (2021) también observaron un aumento en la concentración de lactosa en la leche de vacas en pastoreo suplementadas con concentrados proteicos y energético-proteicos.

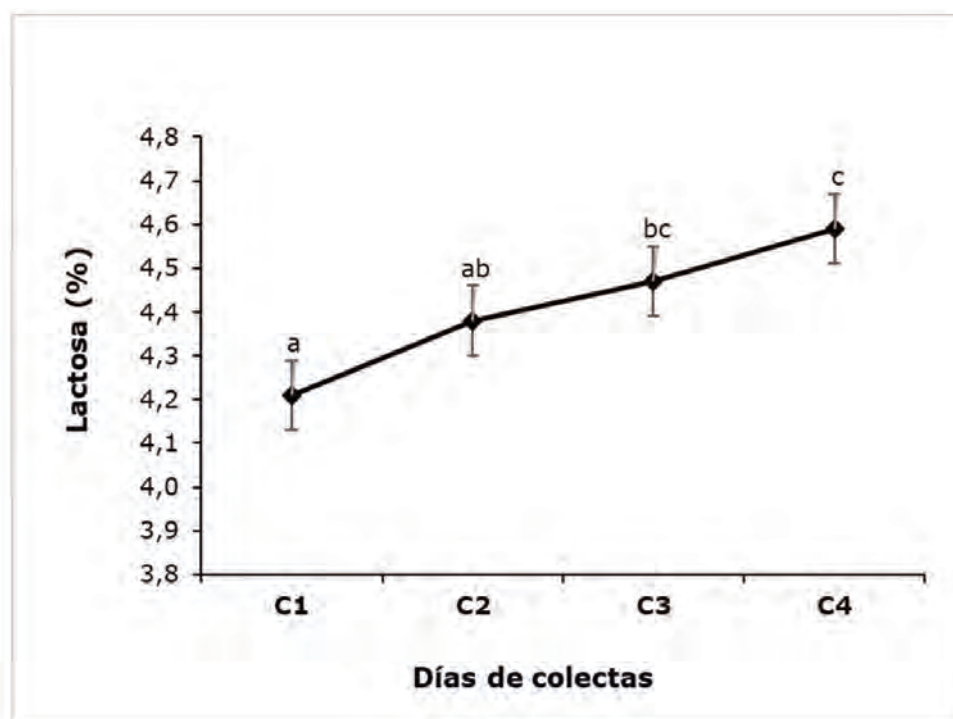


Figura 3. Concentración de lactosa en la leche durante el periodo experimental para ambos tratamientos de acuerdo con los días de colectas. Medias seguidas de letras diferentes difieren [$P < 0,05$]. **Fuente:** autores.

La excreción de minerales está relacionada positivamente con el consumo de estos. En este contexto, la mayor concentración de minerales en la leche de vacas de ambos tratamientos, al final

del experimento, puede estar asociada a un mayor consumo de minerales, debido al aporte adicional de estos por el suplemento a base de cascarilla de cacao [Tabla 2 y Fig. 4].

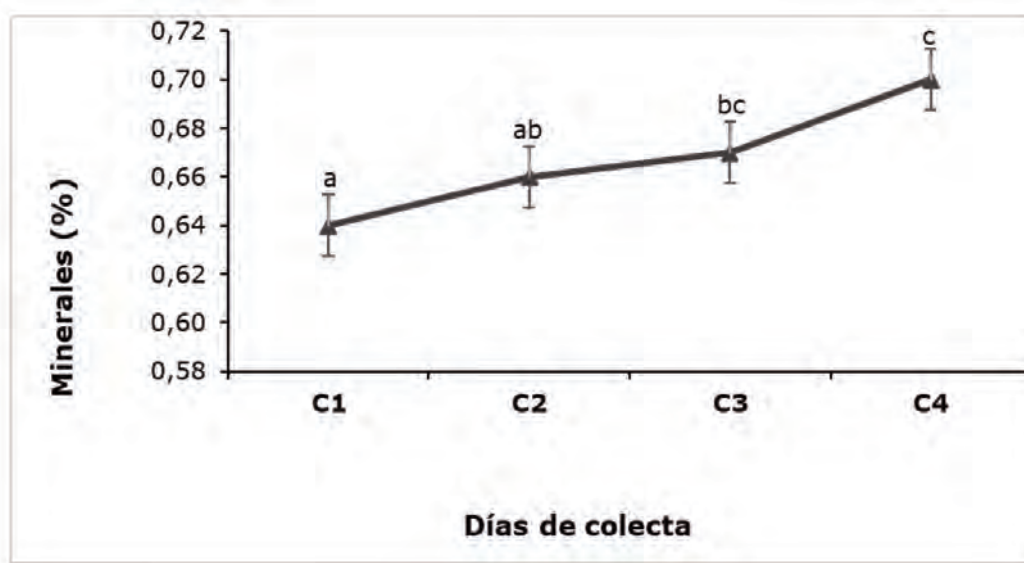


Figura 4. Concentración de minerales en la leche durante el periodo experimental para ambos tratamientos de acuerdo con los días de colectas. Medias seguidas de letras diferentes difieren [$P < 0,05$]. **Fuente de consulta:** autores.

Las mayores concentraciones de grasa, proteína y lactosa en la leche de vacas suplementadas promovieron mayor concentración de sólidos no grasos en

la leche de los animales, en comparación con los del grupo control [Tabla 4 y Figura 5].

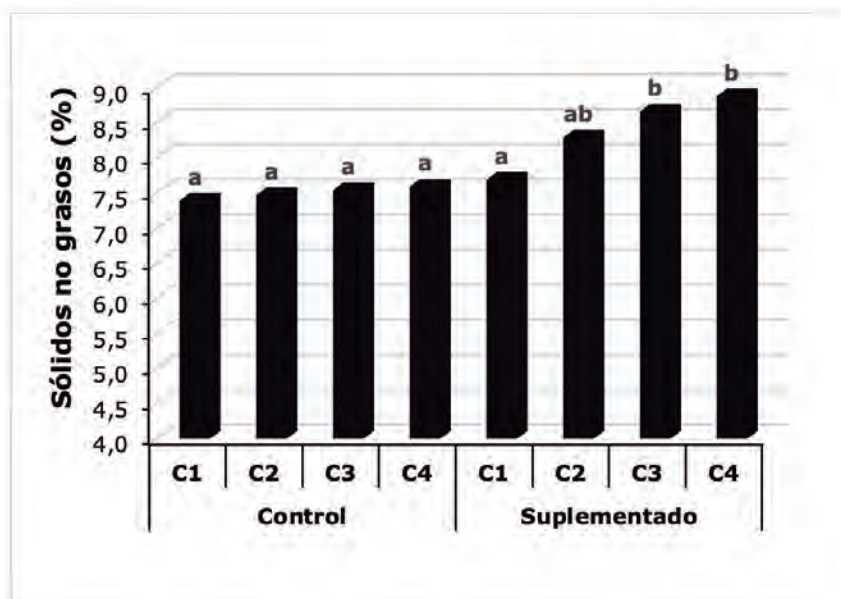


Figura 5. Concentración de sólidos no grasos en la leche de los diferentes tratamientos de acuerdo con los días de colecta. **Fuente:** autores.

El aumento en la concentración de sólidos totales y densidad de la leche en vacas suplementadas a base de cascari-lla de cacao [Fig. 6 y 7] es resultado de la mayor concentración de grasa, pro-

teína, lactosa y minerales en la leche de estos animales [Tabla 4]. Resultados si-milares fueron obtenidos por García et al. (2010), Treptow et al. (2010), Silva et al. (2017) y Lima et al. (2021).

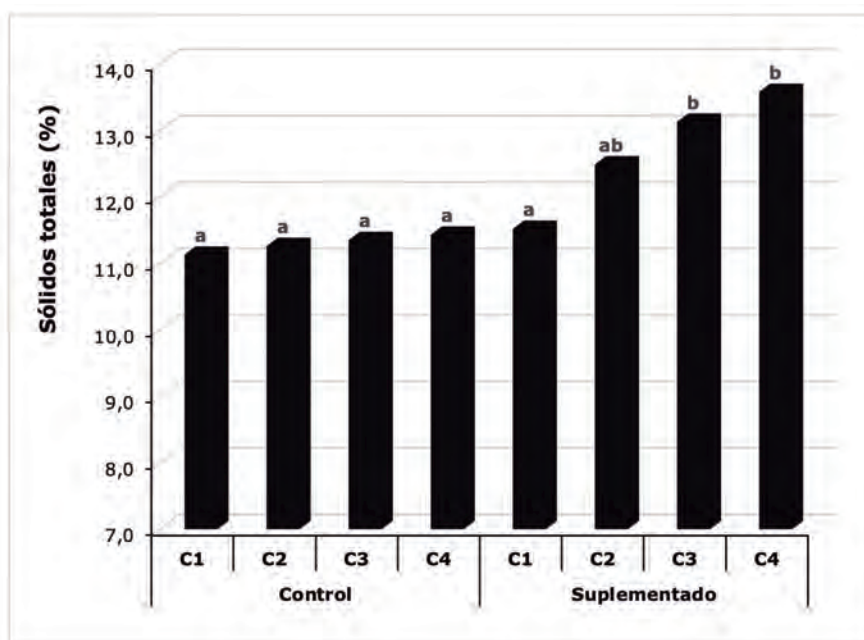


Figura 6. Concentración de sólidos totales en la leche de los diferentes tratamientos de acuerdo con los días de colecta. **Fuente de consulta:** autores.

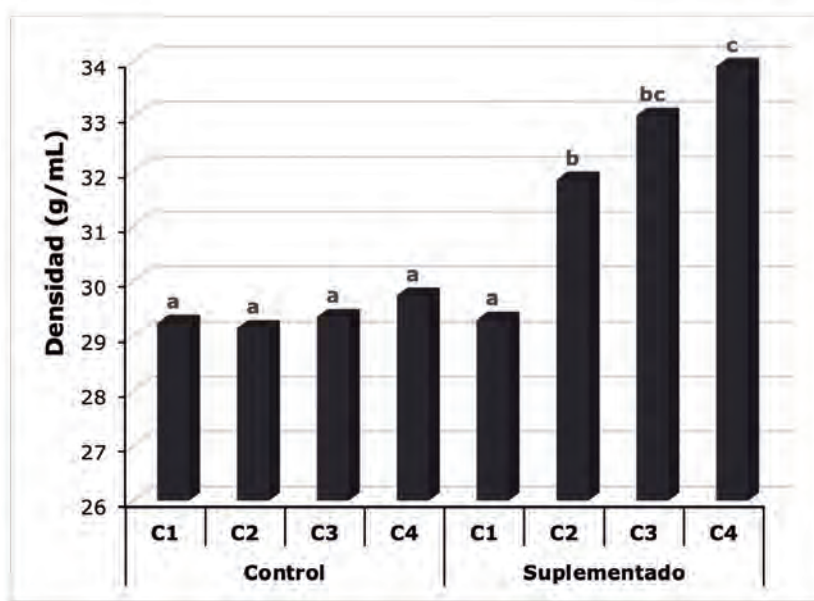


Figura 7. Densidad de la leche de los diferentes tratamientos de acuerdo con los días de colecta. **Fuente:** autores.



En la tabla 5 se evidencia el análisis económico realizado en este estudio, en el que se tuvo en cuenta la producción total de leche, el precio del kg de leche, el ingreso por venta de leche, el costo de

la suplementación a base de cascarilla de cacao, la relación costo-beneficio de la suplementación considerando el ingreso por venta de la leche y el ingreso neto por cada uno de los tratamientos.

Tabla 5. Análisis económico en función de los diferentes tratamientos.

Variables	Tratamientos	
	Control	Suplementado
Producción total de leche (kg)	8,47	11,68
Precio del kg de leche (USD\$)	0,34	0,34
Ingreso por venta de leche (USD\$)	2,89	3,98
Costo de la suplementación (USD\$)	0,00	0,47
Relación costo de la suplementación con ingreso por venta de la leche (%)	0,00	11,72
Ingreso neto (USD\$)	2,89	3,52

1 dólar americano [USD\$] equivale a \$ 4 400 colombianos. **Fuente:** autores.

Con relación al análisis económico, se verificó un incremento en la producción de leche con la suplementación de los animales [Tabla 5], obteniendo una diferencia de 3,21 kg/vaca/día con respecto al tratamiento control. Esto resultó en un ingreso adicional por la venta de leche, de las vacas que consumieron el suplemento, de USD\$ 1,09. La relación del costo de la suplementación con los ingresos por venta de leche fue de 11,72 % [Tabla 5]; es decir, el precio del kg de leche fue de USD\$ 0,34, las producciones totales de leche fueron de 8.47 y 11,68 kg/vaca/día y el costo de

la suplementación fue de USD\$ 0.47; teniendo en cuenta estas variables, se generó un ingreso neto por animal de USD\$ 2,89 y USD\$ 3,52 para el grupo control y suplementado, respectivamente. En ese contexto, la suplementación de los animales promovió un ingreso neto adicional de USD\$ 0,63 por animal al día. Lo anterior, evidencia la importancia de alcanzar un equilibrio entre los niveles de producción y los costos de suplementación para aumentar la eficiencia bioeconómica de los sistemas productivos de bovinos de leche.



4. CONCLUSIONES

La suplementación a base de cascarilla de cacao mejora la producción y calidad composicional de la leche de vacas mestizas, alimentadas con pastos *Brachiaria humidicola*, generando unos mayores ingresos netos por la comercialización del producto. Por eso se re-

comienda el uso de la suplementación a base de cascarilla de cacao para las vacas alimentadas de esta manera, ya que este suplemento constituye una alternativa nutricional para disminuir los costos, teniendo en cuenta el valor de los concentrados comerciales.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, conceptualización, escritura, borrador original. **Segundo autor:** investigación, análisis de datos, escritura, revisión y edición. **Tercer autor:** inves-

tigación, análisis de datos, escritura, revisión y edición. **Cuarto autor:** análisis de datos, revisión y edición. **Quinto autor:** investigación, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los propietarios de la finca El Manantial por permitir el desarrollo de la investigación. De la misma manera,

a los semilleros de investigación NUTRES, SIPAS y SIRAUP de la Universidad de Pamplona por apoyar el desarrollo del trabajo.

LITERATURA CITADA

Brito, M. A., Brito, J. R., Arcuri, E. F., Lange, C. C., Silva, M. R. & Nunes, G. (2007). *Composição do leite*. https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/gado_de_leite/pre-producao/qualidade-e-seguranca/qualidade/composicao

Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares, S. C. & Huhtanen, P. (2014). 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/10.5433/1679-0359.2014v35n4Suplp2829>

Detmann, E., Costa, L. F., Cipriano, G., Nobre, M. N. & Pacheco, J. P. (2012). *Métodos para análise de alimentos* (2ª ed.). Editorial UFV.



- Flórez, D. F., Capacho, A. E., Quintero, S. M. y Báez, P. (2019). Efecto de la suplementación con ensilaje de Naranja sobre la composición de la leche bovina. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 71-79. <https://doi.org/10.22490/21456453.2974>
- García, G. A. G., Reis, R. B., Pereira, A. B. D., Saturnino, H. M., & Coelho, S. G. (2010). Produção e composição do leite de vacas em pastagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) suplementado com diferentes fontes de carboidratos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62(4), 875-882. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000400017>
- González-Vázquez, A., Ponce-Figueroa, L., Alcivar-Cobeña, J., Valverde-Lucio, Y. & Gabriel-Ortega, J. (2020). Suplementación alimenticia con promotores de crecimiento en pollos de engorde Cobb 500. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 7(1), 3-16. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2020.070100003>
- Guimarães, A., Souza, V., de Arruda, G. R., dos Santos, D. C., Oliveira, F. L., Santana, J. A. & Silva, J. S. (2014). Desempenho de vacas leiteiras sob pastejo suplementadas com níveis de concentrado e proteína bruta. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(6), 3287-3304. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p3287>
- Lazzarini, I., Detmann, E., Batista, C., Paulino, M. P., Valadares, S. C., de Souza, M. A. & Albani, F. (2009). Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(10), 2021-2030. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001000024>
- Lima, T. M. R., Ruas, J. R. M., Gomes, V. M., Rocha, V. R., Monção, F. P., Silva, C. B., Rigueira, J. P. S., Carvalho, C. C. S., Sales, E. C. J., Rufino, L. D. A., Silva, E. A., Queiroz, D. S. & Alencar, A. M. S. (2021). Effect of protein supplementation on yield and milk composition of F1 Holstein x Zebu cows kept in deferred pasture of brachiaria grass. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 73(2), 477-486. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12090>
- Mageste, D. A., Marcondes, M. I., Navajas, L., Vieira, L., Avelino, H., Soares, L., Contreras, D. E., Velez, F., Castaño, F. A., Acevedo, M., Maza, R., Garces, J. E., Neves, V. L. & Fonseca, M. P. (2018). Estimation of daily milk yield of Nelore cows grazing tropical pastures. *Tropical Animal Health and Production*, 50(8), 1771-1777. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1617-4>
- Mattos, W. (2005). Influência da nutrição sobre a composição de sólidos totais no leite [Conferencia]. *V Simpósio sobre bovinocultura leiteira*, São Paulo, Brasil.
- Murcia, H. (1985). *Administración de empresas asociativas de producción agropecuaria*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- National Research Council [NRC]. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* [7^a ed.]. National Academies Press.
- Reis, R. B., San Emeterio, F., Combs, D. K., Satter, L. D. & Costa, H. N. (2001). Effects of corn particle size and source on performance of lactating cows



- fed direct-cut grass-legume forage. *Journal of Dairy Science*, 84, 429-441. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74493-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74493-1)
- Sampaio, C. B., Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares, S. C., de Souza, M. A., Lazzarini, I., Rodrigues, P. V. & de Queiroz, A. C. (2010). Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical Animal Health and Production*, 42(7), 1471-1479. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9581-7>
- Sánchez, V., Ahmed, E., Yépez, M., Mosquera, C., Arizaga, R. & Cadena, N. (2018). Elaboración de alimento balanceado para pollo broiler a base de subproductos de cacao (cáscara, cascarilla y placenta). *Espirales: revista multidisciplinaria de investigación*, 2(13), 105-113. <https://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/173/115>
- Silva, J. A., Miranda, C. G., de Paula, D. P., de Paula, N. F., da Silva, A. P., Gomes, B., da Costa, W. S., Bianchi-Zanette, I. E., Viana, R. & Weich, R. (2017). Supplementation strategies for dairy cows kept in tropical grass pastures. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(1), 401-416. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445749994032>
- Souza, M. A., Detmann, E., Paulino, M. F., Sampaio, C. B., Lazzarini, I., Valadares, S. C. (2010). Intake, digestibility, and rumen dynamics of neutral detergent fibre in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogen and/ or starch. *Tropical Animal Health and Production*, 42(6), 1299-1310. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9566-6>
- Teixeira, R. M. A., Martins, J. M., Silva, N. G., Silva, E. A., Fernandes, L. O., Oliveira, A. S., Salvador, F. M. & Faria, D. J. G. (2019). Suplementação proteica de vacas leiteiras mantidas em pastagem de Tifton 85 durante o período de seca. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(3), 1027-1036. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9805>
- Treptow, L., Fischer, V., Balbinotti, M., Rocha, M. E., Stumpf, W. & Manzke, N. (2010). Fornecimento de suplementos com diferentes níveis de energia e proteína para vacas Jersey e seus efeitos sobre a instabilidade do leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(12), 2724-2730. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001200024>
- Wittwer, F. (2000). Diagnóstico dos desequilíbrios metabólicos de energia. En F. H. D. Gonzalez, J. Barcellos, H. Ospina & L. A. Ribeiro (Eds.) *Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais* (9-22). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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: 04/11/2022

Fecha de aceptado: 16/03/2023

DOI: 10.22490/21456453.6452

VARIACIÓN DE LA CAPTURA POR UNIDAD DE ESFUERZO (CPUE) DE LA PESCA ARTESANAL Y SU SUSTENTABILIDAD EN RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

CATCH PER UNIT OF EFFORT (CPUE) VARIATION AND SUSTAINABILITY OF ARTISANAL FISHING IN RELATION TO ENVIRONMENTAL VARIABLES IN COLOMBIAN PACIFIC

Jairo Alberto González Camilo ¹

Diego Esteban Gamboa-García ²

Guillermo Duque ³

¹Zootecnista. Universidad Nacional de Colombia [Palmira, Colombia]

²Estudiante de doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Ecología y Contaminación Acuática (ECONACUA), Universidad Nacional de Colombia, [Palmira, Colombia]

³Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, [Palmira, Colombia]

¹albgonzalezcam@unal.edu.co

²degamboag@unal.edu.co

³gduquen@unal.edu.co

Citación: González, J., Gamboa-García, D. y Duque, G. (2023). Variación de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la pesca artesanal y su sustentabilidad en relación con las variables ambientales en el pacífico colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 189 - 215.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6452>

RESUMEN

Contextualización: la pesca artesanal en el Pacífico colombiano se posiciona como una de las principales fuentes de ingresos de las comunidades asentadas en las costas. Por eso existe una fuerte presión en los recursos pesqueros, con artes de pesca poco selectivos como el trasmallo y la línea de anzuelo de mano, ya que capturan individuos que no se han reproducido y que pertenecen a capturas incidentales y de descarte.

Vacío de investigación: en el Pacífico colombiano no se ha explorado las relaciones espaciotemporales entre las capturas de objetivo y las de descarte, en la pesca artesanal, según las variables ambientales.

Propósito del estudio: evaluar la dinámica espaciotemporal de la captura por unidad de esfuerzo [CPUE] y la sustentabilidad de la pesca artesanal asociada a las variables ambientales, en la bahía de Tumaco [Pacífico colombiano], con el fin de valorar sus impactos ambientales.

Metodología: se realizaron cuatro muestreos a lo largo del año 2020 y 2021, dos en época seca y dos en época de lluvia, con los artes de pesca trasmallo y línea de anzuelo de mano en las áreas interna y externa; asimismo se realizaron muestras de variables físico-químicas.

Resultados y conclusiones: dentro de la captura de objetivo, las familias *Aridae* y *Sciaenidae* fueron las más representativas; *Pristigasteridae* y *Gerreidae* lo fueron en la pesca incidental; y *Engraulidae* y *Cynoglosidae*, en el descarte. Con el anzuelo, 94.60 % fue captura de objetivo, 3.90 %, incidental y 1.48 % perteneció al descarte; con trasmallo, 49.07 % fue descarte, 41.78 % fue captura objetivo y 9.15 % fue captura incidental. El trasmallo capturó individuos de menor tamaño (17.49 ± 4.26 cm), lo cual puede indicar que es un arte poco selectivo al no respetar las tallas mínimas de captura. La CPUE total fue mayor con el anzuelo de mano (8.84 ± 5.42 kg h⁻¹). Las variables de salinidad, sólidos totales disueltos y transparencia presentaron una correlación negativa con la captura por unidad de esfuerzo total en el trasmallo, mientras que con anzuelo presentaron una asociación positiva. Se recomienda regular el uso de trasmallo en el área interna de la bahía y en época de lluvias, ya que captura especies comerciales juveniles que, luego, se descartan.

Palabras clave: pesca a pequeña escala, rendimiento pesquero, artes de pesca, soberanía alimentaria, estuario tropical.



ABSTRACT

Contextualization: artisanal fishing in the Colombian Pacific is positioned as one of the main sources of income for the communities settled on the coasts; therefore, there is a strong pressure on fishing resources, with non-selective fishing gears such as the trammel netting and the hand linehook, capturing individuals that have not experienced any reproductive events and that belong to incidental and discard fishery.

Knowledge gap: in the Colombian Pacific, the spatiotemporal relationships have not been explored between target and discard fishing, according to the environmental variables.

Purpose: evaluate the spatiotemporal dynamics of catch per unit of effort [CPUE] and the sustainability of artisanal fishing associated with environmental variables, in Tumaco Bay [Colombian Pacific], to value their environmental impact.

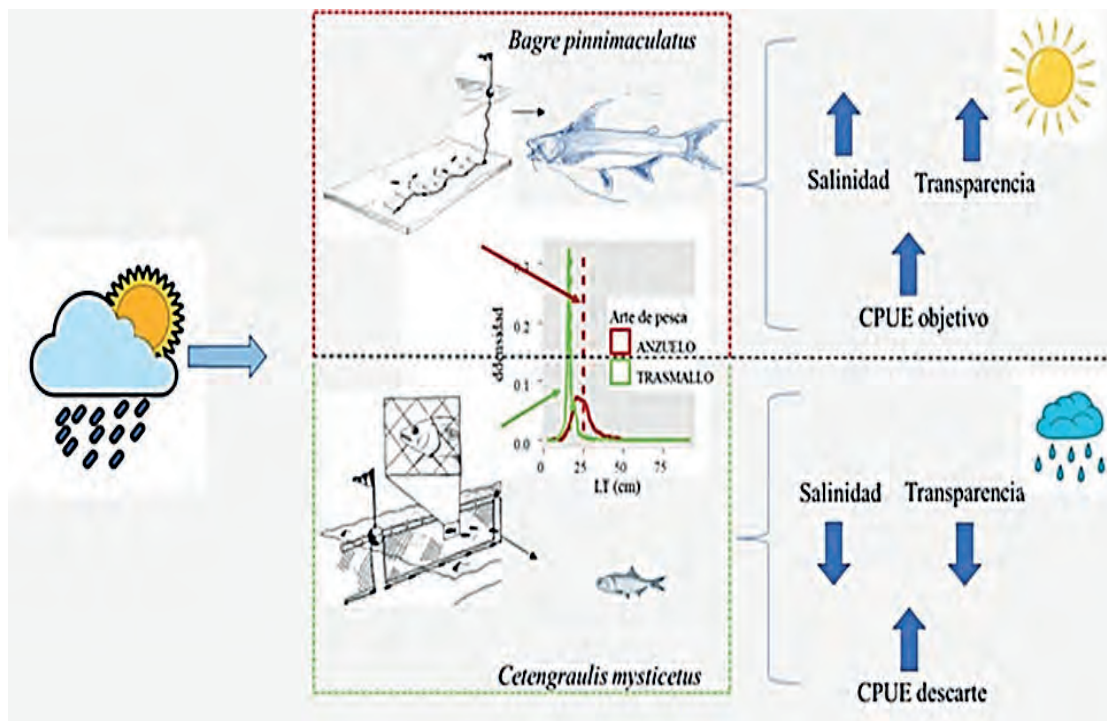
Methodology: four samplings were conducted throughout the year 2020 and 2021, two in the dry season and two in the rainy season, with the trammel and hand hook line fishing gears in the internal and external zone of the Tumaco bay. Samples of physical-chemical variables were carried out.

Results and conclusions: within the target catch, the families *Ariidae* and *Sciaenidae* were the most representative, *Pristigasteridae* and *Gerreidae* in the bycatch and *Engraulidae* and *Cynoglosidae* in the discard. With the hand hook line, 94.60% was target catch, 3.90% bycatch and 1.48% belonged to discard; while with trammel netting, 49.07 % was discarded, 41.78 % was target catch and 9.15 % was bycatch. The trammel net caught smaller individuals (17.49 ± 4.26 cm), which may indicate that it is a little selective gear as it does not respect the minimum catch sizes. The total catch per unit of effort was higher with the hand hook fishing gear (8.84 ± 5.42 kg h⁻¹). The variables of salinity, total dissolved solids and transparency presented a negative correlation with the total catch per unit of effort in the trammel net, while with the hook they presented a positive association. It is recommended to regulate the use of trammel nets in the internal area and in the rainy season due to the fishing gear captures juvenile commercial species that are discarded.

Keywords: small-scale fisheries, fishing yield, fishing gear, food sovereignty, tropical estuary



RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La pesca artesanal marina y de subsistencia aportan aproximadamente el 80 % del pescado fresco que se consume en Colombia (Villanueva et al., 2016) y son el principal medio de sostenimiento de las poblaciones de pescadores asentadas en las costas del país (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2020). La producción total constituye aproximadamente 60 % de la pesca en el país y se realiza principalmente en Buenaventura, Tumaco, Guapi y Bahía Solano (Borda y Cruz, 2004). Dado a la alta dependencia socioeconómica

de la pesca en estos territorios, se han desarrollado estrategias de áreas marinas protegidas para salvaguardar los servicios ecosistémicos asociados a la pesca (Duque et al., 2018). Sin embargo, existe una fuerte presión sobre los recursos pesqueros debido a las artes de pesca que no respetan tallas, la pesca incidental excesiva y la sobreexplotación de los recursos pesqueros, lo cual genera un impacto ecológico y económico afectando la sustentabilidad de la pesca (World Wide Fund for Nature [WWF], 2020).



Algunas de las especies de peces objetivo en las faenas de pesca artesanal [en el Pacífico colombiano] son el ñato (*Notarius troschelii*), el róbalo o gualajo (*Centropomus armatus*) y el barbinche (*Bagre panamensis*) (Servicio Estadístico Pesquero Colombiano [SEPEC], 2020). Estos recursos pesqueros son capturados mediante las principales artes de pesca artesanal, de las cuales 95 % corresponde a redes de enmalle (trasmallos) y el restante 5 % se compone de diferentes formas, entre ellas la pesca con anzuelo (Casanova-Rosero et al., 2015). Sin embargo, estas artes de pesca ejercen presiones negativas sobre los ecosistemas marinos puesto que son poco selectivas en el tamaño de los recursos capturados, afectando la disponibilidad en el futuro y por ende generando un impacto económico para los pescadores (Martínez-Viloria et al., 2006).

Adicionalmente, a pesar de que se consideran artes de pesca con alta efectividad por su captura de biomasa, requieren un alto esfuerzo pesquero puesto que las faenas pueden presentar una duración mayor a doce horas (Benavides y Hernández, 2014). Por esta razón, se hace necesario evaluar el rendimiento por medio de la captura por unidad de esfuerzo [CPUE], la cual se utiliza como medida de eficiencia económica y como índice de abundancia. Esta se representa generalmente en kilogramos de biomasa capturada por esfuerzo (kg/día u horas de faena) (SEPEC, 2020).

La CPUE a nivel mundial se ha usado con las unidades kg h^{-1} principalmente. No obstante, la unidad de esfuerzo

puede utilizar medidas como el número de buques, días-barco, lances en redes de enmalle o de palangre, o el número de horas de anzuelo, arrastre o red de enmalle. Así mismo, la comparabilidad entre artes de pesca y sitios, mediante la CPUE, se ha discutido puesto que se debe realizar un monitoreo en el cual se mantengan constantes las artes de pesca, los pescadores y las embarcaciones para evitar el sesgo de dicha información (Morgan & Burgess, 2005). Por otra parte, existen indicadores de desempeño pesquero como el porcentaje de pesca objetivo, incidental y de descarte, teniendo en cuenta que hay un total capturado del cual el descarte representa lo que se devuelve al mar, la pesca incidental son individuos con menor valor económico o demanda y la pesca objetivo muestra el conjunto de especies que se tiene la intención de capturar (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura Y La Alimentación [FAO], 1997).

El porcentaje de descarte puede representar una presión pesquera sobre las especies marinas y los hábitats y ecosistemas marinos. Por ejemplo, los peces juveniles que por su tamaño no son de interés comercial hacen parte de la pesca de descarte y son devueltos al mar, la mayoría de veces muertos (Crean & Symes, 1994). Esto puede tener consecuencias socioeconómicas y ecológicas al generar pérdidas en la pesca potencial para consumo humano, generando repercusiones económicas para los habitantes que dependen de la pesca como fuente principal de ingresos (WWF, 2020) y afectando la soberanía

alimentaria de los pescadores. A nivel ecológico, la captura de peces juveniles implica que estos no han tenido eventos reproductivos, repercutiendo en el tamaño poblacional y en el desempeño ecológico de la población, lo cual puede tener un impacto en el ecosistema (Narváez et al., 2012). De esta forma, la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2013) propone las tallas mínimas de captura para que los animales capturados estén por encima de las tallas medias de madurez, lo cual puede contribuir a que al menos el 50 % de los individuos hayan presentado eventos reproductivos.

Desde el punto de vista ecosistémico, el ambiente, la comunidad de organismos y su interacción pueden afectar los rendimientos pesqueros (Defeo, 2015). Por ejemplo, las variables fisicoquímicas y de calidad del agua [como nitritos, nitratos, sólidos disueltos totales, pH, oxígeno disuelto y temperatura] pueden afectar la biomasa e intervenir en el conjunto de peces capturados, lo que varía de acuerdo con la zona y la época climática (Duque et al., 2020, 2021), y, de manera indirecta, puede influir sobre los porcentajes de captura y sobre la biomasa de interés comercial.

Debido a las implicaciones ecológicas y socioeconómicas que causa la sobreexplotación de los recursos pesqueros y

la importancia que tiene la pesca artesanal como fuente de subsistencia para los habitantes del Pacífico colombiano, el objetivo de este estudio fue evaluar la dinámica de la captura por unidad de esfuerzo [CPUE] y la sustentabilidad de la pesca artesanal asociada a las variables ambientales en la bahía de Tumaco, en el Pacífico colombiano.

Se espera que las faenas de pesca en la zona estuarina tengan un mejor desempeño en la CPUE de objetivo, incidental y descarte; pues, debido a que son zonas con mayores variaciones fisicoquímicas en el agua, poseen gran diversidad y una alta producción biológica, por lo cual el desarrollo de diversas poblaciones y la riqueza en recursos pesqueros es mayor. En cuanto a los artes de pesca, puede haber una mayor CPUE total con el uso del trasmallo, debido a que es menos selectivo, mientras que la mayor CPUE de objetivo se puede obtener mediante el anzuelo. Finalmente, se espera que debido a que el estuario se presentan fluctuaciones muy fuertes en las variables fisicoquímicas del agua, por los cambios en los regímenes de precipitación (Mondragón-Díaz et al., 2022), puede que existan algunas variables fisicoquímicas del agua que pueden afectar la distribución de las especies y repercutir en las capturas de los pescadores.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La bahía de Tumaco se encuentra ubicada en el extremo sur de la costa Pacífica colombiana, en el departamento de Nariño, entre la latitud $1^{\circ} 45'$ y $2^{\circ} 00'$ N y la longitud $78^{\circ} 30'$ y $78^{\circ} 45'$ O, la cual comprende un área aproximada de 350 km². Se presenta una precipitación me-

dia anual de 3000 a 4000 mm (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010) y se divide en dos áreas claramente diferenciadas: una de tipo oceánico al noroeste de la bahía, donde las profundidades son superiores a cuarenta metros, y una interna, de menores profundidades [0-10 m] (Rodríguez, 2011).

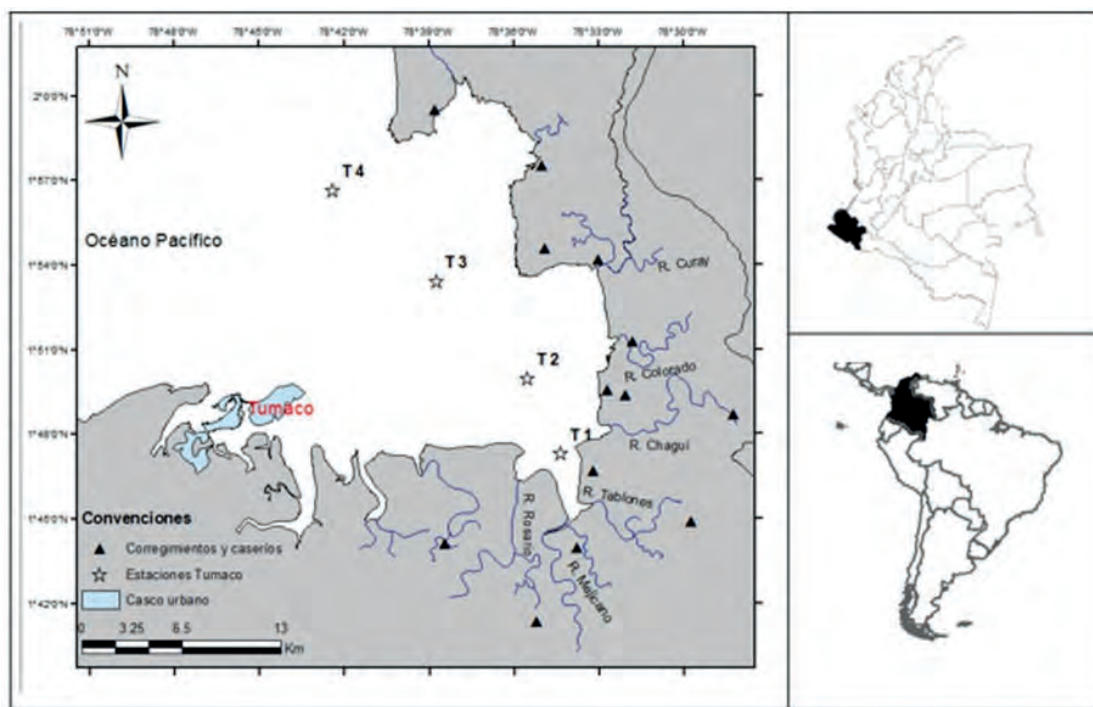


Figura 1. Bahía de Tumaco: área de estudio y muestreo. La convención de estrellas representa los sitios de muestreo, T1 y T2 pertenecen al área interna y T3 y T4 al área externa de la bahía.

Fuente: autores.

2.2 Fase de campo

Se realizaron cuatro campañas de muestreo, durante el 2020 y 2021, para abarcar diferentes condiciones hidrológicas. Se realizaron dos réplicas

en época de lluvia [febrero-marzo] y dos en época seca [noviembre-diciembre] (Morales, 2003). Las muestras de los recursos pesqueros artesanales se obtuvieron mediante las artes de pesca artesanal conocidas como trasmallo y

línea de anzuelo de mano en las zonas interna y externa de la bahía [Figura 1].

El trasmallo consta de redes agalleras hechas con fibras sintéticas, que se dejan sobre la columna de agua. Su principio de captura es por enmallamiento, facilitado por la construcción de paneles de redes sujetas a la misma cuerda con baja tensión, lo que le permite generar bolsas que facilitan la captura de individuos. Se utilizaron de 360 a 900 m de red, de profundidad 3 m, y con ancho de ojo de malla de 5 cm. En contraste, la línea de anzuelo de mano o palangre estuvo conformada por una línea principal de material sintético a la cual se fijan líneas secundarias separadas cada 1.5 m en cuyos extremos se colocan anzuelos (Bjorndal, 2005). Este palangre tuvo como objetivo los peces demersales, ya que los anzuelos y su carnada estuvieron suspendidos entre 1.2 y 2 m del fondo, en aguas de 7 m de profundidad. La carnada utilizada fue camarón pomadilla [*Protrachypene precipua*].

En cada sitio se registró el tiempo efectivo de pesca, mediante la hora de inicio y la hora final del lance. En cada sitio se tomaron tres réplicas, con un esfuerzo de un tercio de la cantidad total de paneles para el trasmallo, y 200 anzuelos de calibre 10. Para garantizar esfuerzos de pesca comparables, en cada sitio y época, se usaron el mismo aparejo de pesca y lancha con dos pescadores. Las capturas se estandarizaron por número de anzuelos y por tiempo de faena, obteniendo la captura por unidad de esfuerzo o CPUE (Rico-Mejía y Rueda,

2007). Adicionalmente, en las áreas de pesca se realizaron medidas *in situ*, por triplicado, de las variables fisicoquímicas del agua como: salinidad, transparencia, sólidos totales disueltos [TDS], temperatura, pH, OD [oxígeno disuelto] y % OD [porcentaje de saturación de oxígeno disuelto]. Los peces se almacenaron en frío y, posteriormente, se transportaron al laboratorio de peces de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

2.3 Fase de laboratorio

Todos los peces fueron identificados y contados. Se determinó su longitud total, longitud estándar, peso y se identificó el estado de madurez sexual, cuando fue posible, con el objetivo de caracterizar la estructura de las poblaciones. La identificación taxonómica de los peces se realizó siguiendo las fichas de identificación certificadas. Adicionalmente, se usaron bases de datos FishBase (Froese & Pauly, 2022) y Smithsonian Tropical Research Institute (Robertson & Allen, 2015)

2.4 Tratamiento de datos

Se trabajó con las variables de rendimiento asignadas a la Captura por Unidad de Esfuerzo [CPUE] (kg h^{-1}) (Rico-Mejía y Rueda, 2007). Las capturas obtenidas por los pescadores artesanales se discriminaron así: totales, de objetivo, de descarte e incidentales. Como pesca de descarte se tomó la de los peces menores de 15 cm [longitud total] y como incidental, la de aquellos



con alguna importancia económica que no acostumbran a ser capturados en la faena (Zambrano et al., 2018).

Se analizaron las tallas medias de captura [TMC] y las tallas medias de madurez [TMM] (Del Cid et al., 2015), y a través de un histograma se determinaron el porcentaje de individuos por debajo de la TMM usando el software R studio [R Core Team]. Adicionalmente, se realizó un análisis permutacional de varianza [PERMANOVA] (Molina et al., 2020),

teniendo como fuente de variación la época, la zona [interna y externa de la bahía] y la interacción entre ambas. Para este análisis se utilizó el software PRIMER (Clarke & Gorley, 2015). Finalmente, se emplearon correlaciones por rango de Spearman, que permitieron verificar las asociaciones significativas entre los diferentes tipos de CPUE y el conjunto de las variables fisicoquímicas del agua (Martínez et al., 2009).

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización de la fauna

Durante la época de muestreo se capturaron un total de 2335 individuos, con un total de 245.90 kg capturados, de los cuales 81.55 % fue captura de objetivo, 13.25 % fue descarte y 5.20 % incidental. Dentro de la captura objetivo se presentaron especies de 10 familias, de las cuales Ariidae y Sciaenidae fueron las de mayor contribución a la biomasa capturada. En la familia Ariidae, *Bagre pinna-maculatus* presentó 40.16 % del total de las capturas, con 98.76 kg, seguido por *Notarius troschelii* con 7.31 % y *Ariopsis simonsi* con 5.84 % [Tabla 1]; mientras que en la familia Sciaenidae predominó *Stellifer typicus*, con 6.94 kg [2.82 %], *Larimus argenteus* [2.23 %] y *Cynoscion squamipinnis* [2.1 %] del total de las capturas. Los individuos capturados de las

familias restantes representaron 4.56 % del total capturado [Tabla 1].

Por otro lado, en la captura incidental se obtuvieron especies pertenecientes a ocho familias, siendo Pristigasteridae, Gerreidae y Haemulidae las más representativas con 1.65 %, 1.29 % y 1.27 % de la captura total, respectivamente. Del conjunto de la captura incidental, la especie *Ilisha fuerthii* representó 29.32 %, *Diapterus brevirostris* 24.32 % y *Pomadasys branickii* 19.62 % (Tabla 1). Finalmente, en la pesca de descarte, las principales familias capturadas fueron *Engraulidae*, *Cynoglosidae* y *Ephippidae*, siendo *Engraulidae* la más representativa con 67.25 % de los 32.58 kg obtenidos en el descarte. De esta última familia, la especie *Cetengraulis mysticetus* fue la que presentó mayor captura, con 8.18 % del total de las capturas descarte [Tabla 1].

3.2 Distribución de las tallas de las capturas con relación a las tallas medias de madurez [TMM]

Durante 2020 y 2021 se obtuvieron 110 y 135.5 kg de peces, respectivamente, 75 % se capturó con anzuelo y 25 % con trasmallo para un total de 109 especies. Respecto a los tipos de pesca, con anzuelo 94.60 % fue de objetivo, 3.90 % fue incidental y 1.48 % perteneció al descarte; por otro lado, con el trasmallo, 49.07 % fue de descarte, 41.78 % fue de objetivo, mientras que 9.15 % fue incidental.

Al realizar el análisis se pudo determinar que, en general, el arte de pesca con anzuelo captura los peces más grandes en longitud total [LT] [25.16 ± 7.59 cm], en comparación con el arte de pesca de trasmallo [17.49 ± 4.26 cm]. Esto puede indicar que el arte de pesca de anzuelo puede tener menor impacto sobre el ecosistema al obtener individuos que hayan tenido eventos reproductivos [Figura 2A]. Adicionalmente, se observó que en el área externa de la bahía se obtuvieron individuos de mayor tamaño [23.39 ± 8.40 cm] que en el área interna [19.86 ± 5.57 cm] en las faenas con ambos artes de pesca [Figura 2B].

Tabla 1: Principales especies obtenidas según el peso [kg], el tipo de pesca y la abundancia relativa [%].

CAPTURA	FAMILIA	ESPECIES	PESO (kg)	ABUNDANCIA RELATIVA
OBJETIVO	Ariidae	<i>Bagre pinnimaculatus</i>	98.76	40.16
		<i>Notarius troschelii</i>	17.98	7.31
		<i>Ariopsis simonsi</i>	14.37	5.84
		<i>Bagre panamensis</i>	6.94	2.82
		otras especies	19.18	7.8
			157.23	63.94
	Sciaenidae	<i>Stellifer typicus</i>	6.94	2.82
		<i>Larimus argenteus</i>	5.5	2.23
		<i>Cynoscion squamipinnis</i>	5.15	2.1
		<i>Cynoscion stolzmanni</i>	3.23	1.31
		otras especies	11.31	4.6
			32.12	13.06
INCIDENTAL	otras familias (8)		11.22	4.56
	total		200.57	81.57
	Pristigasteridae	<i>ilisha fuerthii</i>	3.75	1.53
		<i>Opisthopterus dovii</i>	0.28	0.11
		otras especies	0.02	0.01
			4.05	1.65
	Haemulidae	<i>Haemulopsis nitidus</i>	0.44	0.18
		<i>Pomadasys branickii</i>	2.51	1.02
		otras especies	0.16	0.07
			3.12	1.27
	Gerreidae	<i>Diapterus brevirostris</i>	3.11	1.26
		<i>Fucinostomus currani</i>	0.07	0.03
			3.17	1.29
	otras familias (5)		2.45	1
	total		12.79	5.2



DESCARTE	Engraulidae	<i>Cetengraulis mysticetus</i>	20.13	8.18
		<i>Anchoa spinifer</i>	0.94	0.38
		<i>Anchovia macrolepidota</i>	0.49	0.2
		otras especies	0.35	0.14
			21.91	8.91
	Cynoglosidae	<i>Symphurus chabanaudi</i>	1.31	0.53
	Ephippidae	<i>Parapsettus panamensis</i>	1.28	0.52
	Paralichthyidae	<i>Syacium ovale</i>	0.19	0.08
		<i>Citharichthys gilberti</i>	0.06	0.03
			0.25	0.1
	otras familias (15)		7.82	3.18
total		32.58	13.25	
TOTAL			245.9	100

Fuente: autores.

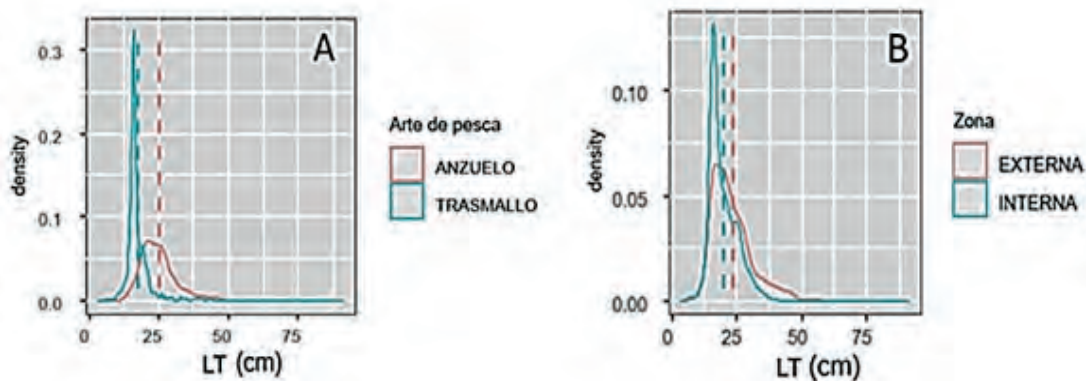


Figura 2A. Distribución de tallas [cm] de peces capturados con los artes de pesca de anzuelo y trasmallo. **Figura 2B.** Distribución de tallas [cm] de peces capturados en las áreas interna y externa de la bahía de Tumaco con ambos artes de pesca. **Fuente:** autores.

De las especies objetivo más representativas del Pacífico colombiano, se capturaron 840 individuos de *Bagre pinna-maculatus*, de los cuales 100% estuvo por debajo de la TMM [51.2 cm] (Del Cid et al. 2015). No obstante, los individuos más grandes se obtuvieron en el área externa [25.56 ± 6.92 cm], en comparación con la zona interna [23.80 ± 4.07 cm] en ambos artes de pesca [Figura 3A]. Asimismo, se identificó que to-

dos los individuos de *Bagre panamensis* estuvieron por debajo de la TMM [32.6 cm] (Del Cid et al., 2015). Sin embargo, se presentó la tendencia de que los individuos de mayor tamaño estuvieron en el área interna de la bahía [23.07 ± 1.53 cm] en comparación con el área externa [19.72 ± 1.66 cm] [Figura 3B]. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre zonas respecto al tamaño de ambas especies.

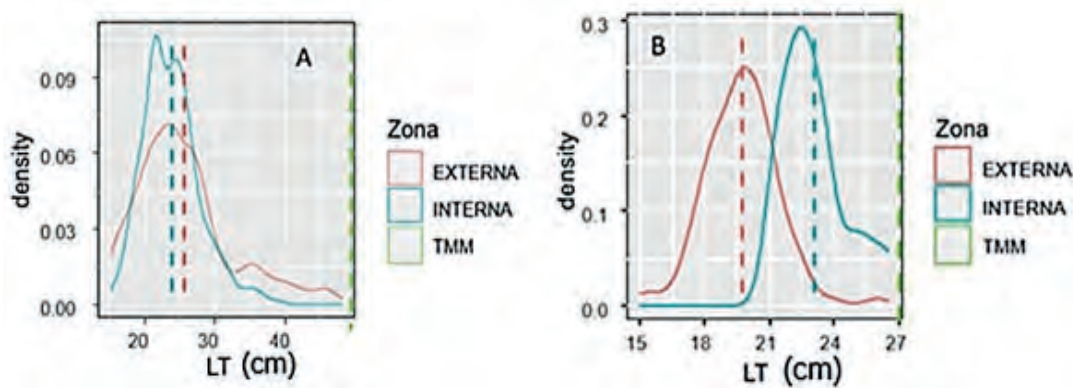


Figura 3A. Distribución de tallas (cm) de peces *Bagre pinnimaculatus* capturados por los artes de pesca anzuelo y trasmallo. **Figura 3B.** Distribución de tallas [cm] de peces *Bagre panamensis* capturados en las áreas interna y externa de la bahía de Tumaco con los artes de pesca de anzuelo y trasmallo [B]. **Fuente:** autores.

3.3 Variación espaciotemporal de la CPUE por arte de pesca, tipo de captura y variables ambientales

La CPUE total fue mayor al utilizar el arte de pesca línea de anzuelo de mano [$8.84 \pm 5.42 \text{ kg h}^{-1}$] en comparación con el arte de pesca trasmallo [$4.14 \pm 6.10 \text{ kg h}^{-1}$]. Adicionalmente, con el arte de pesca de anzuelo se presentaron mayores rendimientos en la época de lluvia [$9.57 \pm 5.85 \text{ kg h}^{-1}$] que en la seca [$8.13 \pm 5.12 \text{ kg h}^{-1}$]. Al igual que con el trasmallo, el cual presentó una mayor CPUE total en la época de lluvia [$5.08 \pm 9.26 \text{ kg h}^{-1}$], en comparación con la época seca [$3.52 \pm 2.65 \text{ kg h}^{-1}$].

Se presentó una diferencia espacial de las capturas obtenidas por arte de pesca; puesto que, con la línea de anzuelos, en el área externa, se presentó mayor rendimiento [$10.51 \pm 4.31 \text{ kg h}^{-1}$] que en el área interna [$7.9 \pm 6.08 \text{ kg h}^{-1}$];

mientras que con el trasmallo se obtuvo una mayor CPUE total, en el área interna [$4.40 \pm 3.27 \text{ kg h}^{-1}$] que en la externa [$3.88 \pm 8.14 \text{ kg h}^{-1}$]. Del mismo modo, se pudo observar que el tipo de pesca predominante con el anzuelo fue la de objetivo, [$8.45 \pm 5.39 \text{ kg h}^{-1}$], mientras que con el trasmallo fue la de descarte [$2.02 \pm 2.61 \text{ kg h}^{-1}$]. Por otro lado, los valores más bajos presentados con el anzuelo se encontraron en la pesca de descarte [$0.11 \pm 0.19 \text{ kg h}^{-1}$], mientras que con el trasmallo fue en la incidental [$0.38 \pm 1.02 \text{ kg h}^{-1}$].

Por otra parte, con el anzuelo se presentaron diferencias espaciales en la CPUE en la pesca incidental y de descarte [$p(\text{Perm}) < 0.05$], siendo significativamente mayores en el área externa [Tabla 2]. Mientras que, con el trasmallo, la CPUE de descarte presentó diferencias entre zonas [$p(\text{Perm}) < 0.05$] con el valor más alto en la época seca de la zona interna [$3.14 \pm 2.11 \text{ kg h}^{-1}$].



Tabla 2: Promedio y error estándar obtenido de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en la época de lluvia y en la seca, en la zona interna y externa del estuario, y las interacciones entre ambas, mediante la pesca con anzuelo y trasmallo en las capturas de objetivo, incidental y de descarte. Las letras se leen verticalmente y representan los grupos formados estadísticamente por Permanova ($p(\text{Perm}) \leq 0.05$).

		LÍNEA DE ANZUELOS			TRASMALLO		
		Objetivo	Incidental	Descarte	Objetivo	Incidental	Descarte
Época	Lluvia	9.17 ± 5.77	0.39 ± 0.58	0.11 ± 0.22	2.14 ± 4.92	0.91 ± 1.77	2.25 ± 3.43
	Seca	7.74 ± 5.14	0.38 ± 0.54	0.11 ± 0.15	1.7 ± 2.04	0.21 ± 0.28	1.86 ± 1.99
Zona	Interna	7.05 ± 6.01	0.21 ± 0.22 b	0.03 ± 0.05 b	1.27 ± 1.87	0.41 ± 0.65	2.88 ± 2.53 a
	Externa	9.85 ± 4.51	0.47 ± 0.64 a	0.18 ± 0.25 a	2.79 ± 4.87	0.50 ± 1.34	1.15 ± 2.48 b
Época x Zona							
	Lluvia Interna	6.56 ± 5.63	0.18 ± 0.17 c	0.01 0.03	0.41 ± 0.52	0.68 ± 1.06	2.50 ± 3.24 ab
	Lluvia Externa	11.78 ± 5.00	0.50 ± 0.70 abc	0.20 ± 0.30	3.87 ± 6.77	1.02 ± 2.12	2.01 ± 3.90 b
	Seca Interna	7.55 ± 6.87	0.24 ± 0.31 bc	0.05 ± 0.07	1.84 ± 2.25	0.28 ± 0.42	3.14 ± 2.11 a
	Seca Externa	7.93 ± 3.28	0.44 ± 0.65 a	0.16 ± 0.20	1.72 ± 1.89	0.16 ± 0.13	0.57 ± 0.53 b

Fuente: autores.

Tabla 3: Promedio y error estándar de las variables ambientales en temporada seca y lluviosa, en las áreas interna y externa, y la interacción entre ambas. Las letras representan los grupos formados estadísticamente por Permanova ($p(\text{Perm}) \leq 0.05$) en las que “a” es mayor que “b”.

Variables ambientales	Época		Zona		Época x Zona			
	Lluvia	Seca	Interna	Externa	Lluvia Interna	Lluvia Externa	Seca Interna	Seca Externa
Salinidad (psu)	23.78 ± 4.67	24.37 ± 3.12	21.66 ± 3.85 b	26.50 ± 2.03 a	20.11 ± 3.75 b	27.46 ± 1.20 a	23.20 ± 3.58 bc	25.53 ± 2.33 ac
Oxígeno Disuelto (%)	97.92 ± 11.07	97.70 ± 20.61	86.49 ± 6.53 b	109.13 ± 15.00 a	90.19 ± 4.79 b	105.65 ± 0.17 a	82.79 ± 6.17 c	112.6 ± 19.05a
Oxígeno Disuelto (mg/l)	6.73 ± 0.83	6.74 ± 1.35	6.01 ± 0.51 b	7.46 ± 1.06 a	6.28 ± 0.35 b	7.18 ± 0.96 a	5.74 ± 0.52 c	7.75 ± 1.16 a
pH	7.26 ± 1.12	7.63 ± 0.56	6.83 ± 1.11	7.94 ± 0.30	6.66 ± 1.34	7.86 ± 0.35	7.18 ± 0.41	8.08 ± 0.09
Temperatura (°C)	27.86 ± 1.64	27.40 ± 0.60	27.87 ± 0.94	27.39 ± 1.47	28.20 ± 1.19	27.52 ± 2.05	27.53 ± 0.51	27.27 ± 0.71
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	24.41 ± 4.35	24.87 ± 2.94	22.43 ± 3.61 b	26.85 ± 2.00 a	21.00 ± 3.53 c	27.81 ± 1.13 a	23.86 ± 3.35 bc	25.89 ± 2.29 ab
Transparencia (cm)	80.92 ± 33.45 a	48.30 ± 38.01b	36.13 ± 24.18b	93.08 ± 28.11 a	52.00 ± 13.56 c	109.8 ± 6.45 a	20.26 ± 22.30 d	76.33 ± 28.19b

Fuente: autores.

En cuanto a variables ambientales, se observó que existen diferencias significativas en la salinidad en cuanto a la zona [$p(\text{Perm}) = <0.05$], siendo menor en el área estuarina [21.66 ± 3.85 psu] que en la externa [26.50 ± 2.03 psu]. La

mayor salinidad se registró durante la época de lluvia en el área externa, la cual fue de 27.46 psu, mientras que la más baja fue en la época de lluvia en la zona interna (20.11 psu).



Respecto a la saturación de oxígeno disuelto, se observó que hubo diferencias entre las zonas [$p[\text{Perm}] = <0.05$], cuyo valor más alto se presentó en la zona externa [$109.13 \pm 15.00 \%$] en comparación con la zona estuarina de la bahía [$86.49 \pm 6.53 \%$]. Asimismo, se evidenciaron diferencias espaciales con el oxígeno disuelto [$p[\text{Perm}] = <0.05$], cuyo valor más alto se obtuvo en el área marina en la época seca [$7.75 \pm 1.16 \text{ mg l}^{-1}$] y fue más bajo en el área interna en época seca.

Los sólidos totales disueltos se presentaron valores entre 21.00 y 27.81 mg l^{-1} y se presentaron diferencias significativas respecto a las zonas [$p[\text{Perm}] = <0.05$], la zona externa presentó un valor más alto [$26.85 \pm 2.00 \text{ mg l}^{-1}$] que la zona interna [$22.43 \pm 3.61 \text{ mg l}^{-1}$]. Finalmente, respecto a la transparencia, se presentaron diferencias entre las áreas [$p[\text{Perm}] = <0.05$] con valores más altos en la zona externa ($93.08 \pm 28.11 \text{ cm}$), mientras que en el área interna se obtuvo un valor menor [$36.13 \pm 24.18 \text{ cm}$]. Adicionalmente, se presentaron diferencias entre épocas [$p[\text{Perm}] = <0.05$],

siendo la época de lluvia la de mayor transparencia [80.92 cm] [Tabla 3].

3.4. Relación entre variables fisicoquímicas y la captura por unidad de esfuerzo

La CPUE presentó asociaciones significativas, a nivel general, con la salinidad, saturación de oxígeno, temperatura, sólidos totales disueltos y transparencia. Con el trasmallo, la captura en general aumentó cuando la salinidad, sólidos totales y transparencia fueron bajas; adicionalmente, la CPUE de descarte se relacionó negativamente con la transparencia. En contraste, con el arte de línea de anzuelo, la CPUE total presentó una correlación positiva con la salinidad, los sólidos totales disueltos y el porcentaje de oxígeno; la CPUE de objetivo fue mayor cuando se presentaron altos valores de salinidad, saturación de oxígeno y sólidos totales disueltos y, además, la CPUE incidental tuvo correlación negativa con la temperatura [Tabla 4].

Tabla 4. Correlaciones por rango de Spearman entre la captura por unidad de esfuerzo [CPUE] y las variables ambientales, usando los artes de pesca de trasmallo y anzuelo, en las capturas totales, de objetivo, incidentales y descarte.

Arte de pesca	CPUE	Salinidad	Saturación de Oxígeno (%)	Oxígeno Disuelto (mg l^{-1})	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Sólidos Totales Disueltos (mg l^{-1})	Transparencia (cm)
Trasmallo	Total	-0.390 *	-0.22	-0.24	-0.13	-0.37 *	-0.49 **
	Objetivo	0.02	0.13	0.1	-0.01	-0.03	-0.04
	Incidental	0.01	0.14	0.11	0.05	0	-0.06
	Descarte	-0.26	-0.21	-0.16	0.11	-0.24	-0.52 **



Anzuelo	Total	0.41*	0.42*	0.38	-0.13	0.41*	0.27
	Objetivo	0.41*	0.36	0.31	-0.03	0.41*	0.18
	Incidental	-0.33	-0.16	-0.14	-0.61**	-0.36	0.17
	Descarte	-0.06	0.04	0.08	-0.15	-0.06	0.2

[P < 0.05*, P < 0.01*]. Fuente: autores.

4. DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la fauna

En general, las especies de la familia Ariidae han tenido un alto valor comercial en el Pacífico colombiano. En este estudio, la especie *Bagre pinnimaculatus* representó el 40.16 % del total de las capturas, presentando una longitud total promedio de 24.60 cm, la cual está por debajo de la talla media de madurez [TMM] [51.2 cm] (Del Cid et al., 2015). *B. pinnimaculatus* es obtenido principalmente por redes de arrastre y líneas de anzuelos; que esta especie tenga un porcentaje tan alto de capturas se puede explicar dado a los hábitos costeros que ésta especie tiene y las preferencias a las zonas con variabilidad en la salinidad [eurihalina] (Mosquera y Tavera, 2019).

Por otro lado, de la captura total que se obtuvo en las faenas de pesca artesanal, hay algunas especies que por su tamaño o limitado valor comercial son devueltos al mar en forma de descarte o son comercializados por un menor valor y se consideran como captura incidental. Las capturas incidentales y de descar-

te se consideran una amenaza para la fauna marina, puesto que pueden truncar las poblaciones debido a las capturas de individuos juveniles que no han tenido eventos reproductivos (Alava et al., 2019).

De la captura total, 18.45 % correspondió a capturas incidentales y de descarte. La familia Engraulidae, con la especie *Cetengraulis mysticetus*, representó 20.13 kg de los 32.58 kg provenientes de la captura de descarte; estos recursos fueron capturados exclusivamente con el arte de pesca de trasmallo. Adicionalmente, 76.04 % fue capturado en la zona interna con una longitud total promedio de 16.11 cm; esto posiblemente se deba al tamaño del ojo de la red del arte de pesca, que es poco selectivo con los recursos capturados. Su presencia mayoritaria en la zona estuarina se puede explicar dados sus hábitos alimentarios en la etapa juvenil (<17 cm de LT) en la que prefiere zonas con alta disponibilidad de plancton y materia orgánica (Aguilar, 1992; Duque & Acero, 2003a, 2003b; Duque y Acero, 2006).

4.2. Distribución de las tallas de las capturas con relación a TMM

La línea de mano de anzuelo fue el arte de pesca que presentó mayor captura de objetivo, lo cual coincide con las investigaciones de Anguila y Hernández (2011). Además, se evidenció que casi 60 % de la captura por medio del arte de pesca de trasmallo fue de capturas incidentales y de descarte, lo cual está relacionado con otras investigaciones en las que se demostró que las redes de enmalle capturan un mayor porcentaje de recursos no aprovechables (Díaz et al., 2016). Así mismo, los resultados están acordes con la alta presión que se está ejerciendo sobre los recursos pesqueros (Bustos et al., 2012), puesto que, de diez especies, nueve estuvieron por debajo de la talla media de madurez [TMM]. Esto también se evidenció en el presente estudio, en el cual el 100 % de los individuos capturados estuvieron por debajo de TMM en las especies altamente comerciales.

Por lo anterior, se relaciona el arte de pesca de trasmallo con un alto impacto en la biodiversidad marina, debido a su baja selectividad intra e interespecífica para los recursos capturados. Por otro lado, el arte de pesca de línea de anzuelo se ha considerado, de acuerdo con evaluaciones sobre los rangos de gravedad de los artes de pesca, como un arte amable con los recursos capturados y su tamaño (Salazar, 2018), lo cual permite que los peces alcancen la talla media de madurez y presenten eventos reproductivos antes de ser capturados.

De esta forma no se compromete la sustentabilidad de esas especies.

4.3. Variación espacio-temporal de la CPUE por arte de pesca:

Para cada arte de pesca, la CPUE total y objetivo no presentaron diferencias significativas por época y zona, indicando rendimientos en las faenas artesanales independientes de la época y los gradientes ambientales. Esto puede explicarse porque la pesca artesanal en el Pacífico colombiano es multiespecífica y los pescadores aprovechan la gran cantidad de especies para uso comercial o de subsistencia (Zambrano et al., 2018). Sin embargo, la composición de las capturas sí puede variar, debido a que durante la época seca y en la zona externa tienden a capturarse especies comerciales marinas; en contraste, durante la época de lluvia y zona interna predominan las especies comerciales estuarinas (Gamboa-García et al., 2018a). No obstante, en ambos artes de pesca se presentó una mayor CPUE total promedio en la época lluviosa, lo cual concuerda con otras investigaciones (Párraga et al., 2010) y puede ser explicado por el aumento de la productividad primaria que, por ende, ocasiona un pulso en la transferencia de energía y materia en las redes tróficas (Bustos et al., 2012, Molina et al., 2020).

Al comparar espacialmente, se observó que con el anzuelo se obtuvo una mayor CPUE total en la zona externa del estuario. Esto, en parte, puede atribuir-



se a un bajo rendimiento pesquero en la zona interna por la influencia de la contaminación proveniente de los asentamientos costeros (Arteaga et al., 2021; Duque y Cogua, 2016; Gamboa-García et al., 2018b; García, 2010; García et al., 2021; Tafurt et al., 2021; Vásquez-Molano et al., 2021; Vidal et al., 2021). Adicionalmente, se debe tener en cuenta el desplazamiento a las áreas de pesca puesto que, en la zona externa, se presentó un leve aumento en la CPUE de objetivo, pero es un área lejana que puede implicar más gastos de combustible. Esto se conoce como el efecto del círculo de pobreza, ya que al realizar las faenas en zonas más alejadas en busca de mayores capturas se afecta el rendimiento por el consumo de combustible en el desplazamiento (Zambrano et al., 2018). En contraste, el arte de pesca con trasmallo presentó diferencias significativas por área en comparación con la CPUE descarte.

La CPUE de descarte fue significativamente mayor en la zona interna, aquí también se presentó la menor transparencia. Esto puede explicarse por el modo de acción del arte de pesca como, también, por las características ambientales del área de la bahía. Por una parte, las redes de enmalle pueden ser más efectivas para la extracción de biomasa en zonas con mayor turbidez y menor visibilidad, ya que esto afecta la detección visual de la malla por parte de los peces, lo que favorece su captura (Bjordal, 2005). Adicionalmente, en la zona interna del estuario puede haber alta variabilidad en las especies de bajas tallas porque sirve de guarde-

ría y sala-cuna de muchas especies que hacen parte del stock pesquero, artesanal e industrial (Barletta & Valença, 2016; Duque et al., 2006; Restrepo et al., 2004). Estos individuos son juveniles y al ser capturadas por el trasmallo pasan a ser descarte debido a que no alcanzan tallas apetecibles. De esta forma, el efecto combinado del modo de acción poco selectivo del trasmallo con la mayor turbidez del agua de la zona interna puede generar una mayor captura de estos recursos no aprovechables (Hernández et al., 2020). Por lo tanto, se recomienda una regulación del uso del trasmallo con este ojo de malla en la zona interna del estuario, debido a que puede generar mayores impactos negativos en los servicios ecosistémicos asociados a la pesca artesanal.

4.4 Relación entre variables fisicoquímicas y el tipo de CPUE

Se observó que la salinidad, saturación de oxígeno, temperatura, sólidos totales disueltos y transparencia presentaron una correlación directa con la CPUE total. Estas correlaciones entre la abundancia de recursos pesqueros con las variables fisicoquímicas del agua han sido ampliamente estudiadas (Duque et al., 2020; Egertson & Downing, 2011; Gamboa-García et al., 2018a; Molina et al., 2020). Las variables de salinidad, sólidos totales disueltos y transparencia presentaron una correlación negativa con la CPUE total en el trasmallo, lo cual concuerda parcialmente con algunos estudios en el Pacífico colombiano

en donde se observó que los sólidos totales disueltos están relacionados negativamente con la abundancia y riqueza de los recursos pesqueros; sin embargo, al aumentar la salinidad también incrementó el ensamblaje de macroinvertebrados (Duque et al., 2021).

En la bahía de Tumaco, la mayor CPUE total con trasmallo se presentó en la época de lluvia y en áreas con alta turbidez del agua. Durante esta época, y en esta parte de la bahía, se puede presentar un efecto leve del fenómeno de surgencia de la corriente de Humboldt, la cual puede proveer de nutrientes el agua para el incremento en las capturas (Ramos et al., 2022). En contraste, en el área estuarina, durante la época de lluvia, las capturas con trasmallo fueron más bajas debido a que el efecto de surgencia puede que no alcance esta zona y, por lo tanto, sólo estarían especies residentes estuarinas de bajo interés comercial y menores tallas (Molina et al, 2020), lo cual disminuiría el rendimiento pesquero, pero incrementaría el descarte.

Durante la época de lluvia en el área interna, la precipitación y entrada de agua dulce de los ríos puede disminuir la transparencia y la salinidad, lo cual puede disminuir la calidad del agua (Duque et al., 2020) y en consecuencia reducir las CPUE de objetivo e incrementar las de descarte; asimismo, se observó la relación negativa entre la salinidad y la CPUE de descarte en el trasmallo. Esta correlación se puede explicar debido a que las bajas salinidades en el área estuarina están asocia-

das con el incremento en la presencia y abundancia de especies de la familia Engraulidae, las cuales pueden estar emigrando hacia áreas con mayor disponibilidad de alimento (Tafurt et al., 2021). Esta familia representó el 67.25% del descarte. Adicionalmente, se ha reportado que las poblaciones de carduma o *Cetengraulis mysticetus*, son fuente de alimento de peces comerciales como jureles (*Caranx spp*), atunes (Familia Scombridae) y otros (García, 2009), por lo que la captura y descarte de la carduma puede repercutir sobre los rendimientos de la pesca artesanal e industrial en otros momentos y áreas de la cuenca (Díaz, 2012). Por esta razón, según los resultados de este estudio, se sugiere que durante la época de lluvia y en el área interna se regulen los artes de pesca y el tamaño de ojo de malla para evitar capturar y descartar especies planctófagas, lo que podría generar un efecto *bottom-up*, afectando las poblaciones y capturas de especies de mayor nivel trófico que dependen energéticamente de dichas especies planctófagas.

En contraste con el arte de pesca de línea de mano de anzuelo, las variables salinidad, saturación de oxígeno y sólidos totales disueltos presentaron una correlación positiva con la CPUE total, teniendo en cuenta que las mayores capturas en este arte se presentaron en el área externa y que estas variables aumentaron en dicha área. Esto puede indicar que los organismos capturados, por medio de este arte, presentaron preferencias por el área marina en la bahía. Además, 85.22 % de los recursos capturados con ese arte fueron pertenecientes



a la familia *Ariidae*, cuyas especies están caracterizadas por tener mayor preferencia por las aguas profundas (Beltrán, 2019) y pueden dominar el área más externa del estuario por el aprovechamiento de recursos alimenticios que salen y entran del estuario (Ayala-Pérez et al., 2012). Asimismo, la CPUE objetivo aumentó directamente con la salinidad, saturación de oxígeno y sólidos totales disueltos, posiblemente por la dominancia de las especies de la familia *Ariidae* en las capturas. En contraste, la captura incidental en este arte au-

mentó cuando la temperatura fue menor [característica del área externa de la bahía], lo cual coincide con lo mencionado en otros estudios (Carruthers et al., 2011). Aunque la deposición de nutrientes en el área estuarina o interna es alta, generalmente se utiliza como área de desove; por ello es posible que estos recursos ya hayan presentado eventos reproductivos [LT > 15 cm], lo cual les permite emigrar a zonas marinas y es lo que, quizá, haya posibilitado sus capturas (Sandoval et al., 2014).

5. CONCLUSIONES

En el Pacífico colombiano, el trasmallo y el palangre [líneas de anzuelos de mano] son algunos de principales artes de pesca utilizados para la pesca artesanal, los cuales son poco selectivos en la obtención de los recursos pesqueros y generan un impacto ecológico con las capturas incidental y de descarte, siendo las especies de las familias *Engraulidae*, *Haemulidae* y *Pristigasteridae* las más afectadas en este tipo de capturas. Adicionalmente, este estudio permitió evidenciar el impacto sobre la sustentabilidad ambiental que se está generando mediante la pesca artesanal en la actualidad, con la captura de individuos que no han manifestado eventos reproductivos, lo cual podría afectar la soberanía alimentaria en las generaciones futuras.

El arte de pesca de anzuelo de línea de mano presentó mayor CPUE en compa-

ración con el trasmallo, dado que este arte capturó individuos de mayor tamaño. Además, este arte presentó mayores capturas de individuos objetivo, principalmente pertenecientes a las familias *Ariidae* y *Sciaenidae*; también se evidenció que las CPUE de objetivo, incidentales y de descarte con anzuelo fueron mayores en el área externa. Con trasmallo, las CPUE de objetivos e incidentales fueron mayores en el área externa y el descarte fue mayor en el área estuarina; además, las capturas incidentales y descarte en el área interna de la bahía, en la época seca, fueron mayores en comparación con la CPUE objetivo, lo cual sugiere que se debe realizar un control en el uso de este aparejo, puesto que tiene altos impactos negativos sobre la fauna en el área estuarina de la bahía al capturar individuos que

no cumplen con las tallas mínimas de captura.

Se observó que la salinidad, saturación de oxígeno, temperatura, sólidos totales disueltos y transparencia explicaron el tipo de CPUE y su sentido de correlación, dependió del arte de pesca. Con el arte de pesca con anzuelos, la mayor CPUE objetivo se asoció de manera significativa con mayores salinidades, lo

que sugiere el uso de este arte en el área externa y durante época seca. Para el trasmallo, la mayor CPUE descarte se asoció de manera significativa con la baja transparencia del agua, lo cual sugiere la regulación de este tipo de pesca en época de lluvia y en áreas internas del estuario debido a las implicaciones sobre la sustentabilidad del ecosistema y sus afectaciones a la pesca artesanal.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original, consulta bibliografía. **Segundo autor:** metodología, muestreo, investigación, conceptualización, análisis

de datos, escritura, revisión y edición. **Tercer autor:** conceptualización, adquisición de recursos, administrador del proyecto, logística, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación Ecología y Contaminación Acuática y a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, en donde se llevó a cabo el

proyecto “Evaluación del rendimiento y riesgo de sobreexplotación de la pesca artesanal en Bocas de Iscuandé, Pacífico colombiano”, Código Hermes 52218.

LITERATURA CITADA

Aguilar, F. (1992). *Situación actual y perspectivas del recurso Chuhueco (Cetengraulis mysticetus) en Ecuador*. <https://aquadocs.org/handle/1834/3082?locale-attribute=es>

Alava, J., Tatar, B., Barragán, M. J., Castro, C., Rosero, P., Denking, J.,

Jiménez, P. J., Carvajal, R. & Samaniego, J. (2019). Mitigating cetacean bycatch in coastal Ecuador: Governance challenges for small-scale fisheries. *Marine Policy*, 110. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2017.05.025>



- Anguila, R. y Hernández, L. (2011). *Evaluación de la captura incidental de tiburones asociada a la actividad pesquera en Bocas de Ceniza departamento del Atlántico, Caribe colombiano* [Tesis de pregrado, Universidad del Atlántico]. Archivo digital. https://www.academia.edu/19563998/evaluaci%3%93n_de_la_captura_incidental_de_tiburones_asociada_a_la_actividad_pesquera_en_Bocas_de_Ceniza_departamento_del_Atl%3%81ntico_caribe_colombiano
- Arteaga, L.F., Arango, A., Sanclemente, O.E., Ararát, M.C. y García, M. (2021). Relación de uso del suelo agropecuario con el proceso de eutrofización por algas y presencia de caracoles en sistema de potabilización del corregimiento El Vínculo (Buga - Valle del Cauca). En *Relaciones Agroambientales en Sistemas Productivos Rurales* (pp. 47- 70). Sello editorial Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP]. (2013). *Tallas mínimas de captura*. <http://sepec.aunap.gov.co/Home/VerPdf/17>
- Ayala-Pérez, L. A., Terán-González, G. J., Flores-Hernández, D., Ramos-Miranda, J. y Sosa-López, A. (2012). Variabilidad espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces en la costa de Campeche, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(1), 63–78.
- Barletta, M. & Valença, D. (2016). Fish assemblages. En M. J. Kennish. (Ed.). *Encyclopedia of Estuaries* (pp. 317–326). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_138
- Beltrán, G. (2019). *Etnoictiología de los bagres marinos (familia Ariidae) comercializados en San Clemente, Manabí* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20043>
- Benavides, L. D. y Hernández, S. C. (2014). *Impacto socio ambiental del uso de técnicas de pesca no sostenibles en la población de pescadores artesanales del complejo cenagoso de María la Baja-departamento de Bolívar* [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Bolívar]. Repositorio UTB. <https://hdl.handle.net/20.500.12585/2875>
- Bjordal, A. (2005). Uso de medidas técnicas en la pesca responsable: regulación de artes de pesca. En K. L. Cochrane. (Ed.). *Guía del administrador pesquero: medidas de ordenación y su aplicación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura Y La Alimentación.
- Borda, C. A. y Cruz, R. (2004). Pesca artesanal de bivalvos (*Anadara tuberculosa* y *A. similis*) y su relación con eventos ambientales. Pacífico colombiano. *Revista de Investigaciones Marinas*, 25(3). <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-Web/planaccion/biblioteca/pordinario/Colombia/Docs%20INCODER/Anadara%20Pesca%20artesanal%20%282004-197%29.pdf>

- Bustos, D. M., Grijalba, L. M., Novoa, A. M., Posada, C. y Santafé, A. M. (2012). La pesca artesanal marina del Departamento del Magdalena, Colombia: manejo y conservación. *Mutis*, 2(2), 1-25. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/10173>
- Carruthers, E. H., Neilson, J. D. & Smith, S. C. (2011). Overlooked bycatch mitigation opportunities in pelagic longline fisheries: Soak time and temperature effects on swordfish (*Xiphias gladius*) and blue shark (*Prionace glauca*) catch. *Fisheries Research*, 108(1), 112–120. <https://doi.org/10.1016/J.FISHRES.2010.12.008>
- Casanova-Rosero, R. F., Suárez-Vargas, N. P. y Zambrano-Ortiz, M. M. (2015). Valoración de algunas variables fisicoquímicas indicadoras de la calidad del agua en las principales bahías de la costa pacífica colombiana-2009. *Boletín Científico CIOH*, 33, 195–214. <https://doi.org/10.26640/22159045.286>
- Clarke, K. & Gorley, R. (2015). *PRIMER v7: User Manual/Tutorial*. http://updates.primere.com/primer7/manuals/User_manual_v7a.pdf
- Crean, K. & Symes, D. (1994). The discards problem: towards a European solution. *Marine Policy*, 18(5), 422–434. [https://doi.org/10.1016/0308-597X\(94\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0308-597X(94)90037-X)
- Defeo, O. (2015). Enfoque ecosistémico pesquero: Conceptos fundamentales y su aplicación en pesquerías de pequeña escala de América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura Y La Alimentación.. <https://aquadocs.org/handle/1834/7413>
- Del Cid, V., Posada, J. M., Ross, R., Morales, I., Alfaro, J., Neira, A., Rivera, A. y Díaz, J. M. (2015). *Estándar de Responsabilidad Ambiental para la Comercialización de Pescado de Mar: Guía de especies*. https://marviva.net/wp-content/uploads/2021/11/afminiguia_estandar_marviva_colombia.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2020). *Boletín Técnico: Producto Interno Bruto (PIB)*. <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas>
- Díaz, A. (2012). Distribución espacio - temporal del recurso peces en el golfo de Tribugá, Pacífico colombiano [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10554/11878>
- Díaz, J., Neira, A., González, G., Melo, G. y Velandia, M. (2016). Diagnóstico de las pesquerías artesanales en el norte del Pacífico chocoano. <https://www.researchgate.net/publication/304900945>
- Duque, G. y Cogua, P. (2016). Mercurio en peces de la bahía de Buenaventura. *Ingenium*, 10(29), 11-17. https://www.researchgate.net/publication/341089091_Mercurio_en_peces_de_la_bahia_de_Buenaventura



- Duque, G. & Acero, A. (2003a). Food habits of *Anchovia clupeioides* (Pisces: Engraulidae) in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Gulf of Mexico Science*, 21(1), 1-9. <https://doi.org/10.18785/goms.2101.01>
- Duque, G. & Acero, A. (2003b). Feeding Selectivity of *Anchovia clupeioides* (Pisces: Engraulidae) in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. *Gulf and Caribbean Research*, 15, 21:26. <https://doi.org/10.18785/gcr.1501.04>
- Duque, G. y Acero, A. 2006. Ración diaria y consumo de alimento de la población de *Anchovia clupeioides* (Pisces: Engraulidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 35, 207-221. <https://doi.org/10.25268/bimc.inve-mar.2006.35.0.224>
- Duque, G., Gamboa-García, D. E., Molina, A. & Cogua, P. (2021). Influence of water quality on the macroinvertebrate community in a tropical estuary (Buenaventura Bay). *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(3), 796-812. <https://doi.org/10.1002/ieam.4521>
- Duque, G., Gamboa-García, D. E., Molina, A. & Cogua, P. (2020). Effect of water quality variation on fish assemblages in an anthropogenically impacted tropical estuary, Colombian Pacific. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 25740-25753. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08971-2>
- Duque, G., Garzón-Ferreira J. y Rodríguez, G. (2006). Funcionamiento y monitoreo de sistemas marinos. En M. E. Chaves y M. Santamaría . (Eds.). 2006. *Informe nacional sobre el avance en el conocimiento y la información de la biodiversidad 1998-2004* (pp. 352-364). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Duque, G., Panesso-Guevara, M. y Cogua, P. (2018). Áreas Marinas Protegidas, ¿Son efectivas?, caso Bahía Málaga. En P. Lavelle, y J. G. León. (Eds.). *Ingeniería Ambiental: Manejo de ecosistemas, concepción de políticas públicas y reciclaje de materiales* (pp. 159-183). Universidad Nacional de Colombia.
- Egertson, C. J. & Downing, J. A. (2011). Relationship of fish catch and composition to water quality in a suite of agriculturally eutrophic lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(9), 1784-1796. <https://doi.org/10.1139/F04-109>
- Froese, R., & Pauly, D. (2022). FishBase. <https://www.fishbase.se/search.php>
- Gamboa-García, D. E., Duque, G. & Cogua, P. (2018a). Structural and compositional dynamics of macroinvertebrates and their relation to environmental variables in Buenaventura Bay. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 47(1), 67-83). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08971-2>

[tps://doi.org/10.25268/bimc.inve-mar.2018.47.1.738](https://doi.org/10.25268/bimc.inve-mar.2018.47.1.738)

Gamboa-García, D. E., Duque, G., Cogua, P. & Marrugo-Negrete, J. L. (2020). Mercury dynamics in macro-invertebrates in relation to environmental factors in a highly impacted tropical estuary: Buenaventura Bay, Colombian Pacific. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4044-4057.

Gamboa-García, D. E., Duque, G., Cogua, P. y Freire-Tigreros, M. E. (2018b). Mercurio total en plumas de *Pelecanus occidentalis* en el Pacífico vallecaucano. En D. Restrepo-Rodríguez. y M. E. Freire-Tigreros. (Comp.). *Comunidades Epistemológicas (Tomo II): Investigando la Actualidad desde Diversas Disciplinas* (pp. 33-42). Universidad Santiago de Cali. <https://repository.usc.edu.co/bitstream/20.500.12421/3162/1/Mercurio%20total%20en%20plumas%20de%20pelecanus%20occidentalis.pdf>

García, C. B. (2010). Conocimiento tradicional: lo que los pescadores artesanales del Caribe colombiano tienen para decirnos. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(1), 78-90. [https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_5\(1\)_78-90.pdf](https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_5(1)_78-90.pdf)

García, E., Molina, A. y Duque, G. (2021). Hábitos tróficos del lenguado *Citharichthys gilberti* (Paralichthyidae) y su relación con la dinámica ambiental en la Bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50,(2), 133-155.

<https://doi.org/10.25268/bimc.inve-mar.2021.50.2.1078>

García, F. J. (2009). *Cambios espaciales y estacionales en la estructura trófica y consumo del lobo marino de California, *Zalophus californianus*, en la región de las Grandes Islas, Golfo de California* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio digital IPN. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3053>

Hernández, J., Capetillo-Piñar, N., Vélez-Arellano, N., Aranceta-Garza, F., Ortiz-Aldana, J., Navas-Beteta, A. y Herrarte-Müller, I. (2020). Variación espacial en la composición y abundancia de las especies capturadas por las pesquerías de pequeña escala en el litoral del Pacífico de Guatemala. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático*, 4(1), 19-43. <https://www.revistayuam.com/variacion-espacial-en-la-composicion-y-abundancia-de-las-especies-capturadas-por-las-pesquerias-de-pequena-escala-en-el-litoral-del-pacifico-de-guatemala/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2010). *Atlas Interactivo Climatológico*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Martínez-Viloria, H., Narváez, J. C., Rivera, R. y Solano, O. D. (2006). Evaluación de la selectividad del trasvallo en la pesquería artesanal de la zona deltaica estuarina del río Sinú, Caribe colombiano. *Intropica*, 33-41.



- <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica>
- Martínez, R. M., Tuya, L. C., Martínez, M., Pérez, A. y Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180414044017>
- Martínez, O. D., Molina, A. E. y Duque, G. (2019). Influencia de la materia orgánica en la abundancia de poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la bahía de Buenaventura, pacífico colombiano. Pp. 139-164. En: N. H. Campos y A. Acero. (Eds.). *Ciencias del Mar: una mirada desde la Universidad Nacional de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. https://www.researchgate.net/publication/338775273_Influencia_de_la_materiaorganica_en_la_abundancia_de_poliquetos_Annelida_Polychaeta_de_la_bahia_de_Buenaventura_Pacifico_colombiano
- Molina, A., Duque, G. & Cogua, P. (2020). Influences of environmental conditions in the fish assemblage structure of a tropical estuary. *Marine Biodiversity*, 50(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12526-019-01023-0>
- Mondragón-Díaz, L. F., Molina, A. E. & Duque, G. (2022). Influence of environmental variables on the spatio-temporal dynamics of water quality in Buenaventura Bay, Colombian Pacific. *Environmental Monitoring and Assessment*, 720(2022). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10388-y>
- Morales, D. (2003). Análisis de las condiciones oceanográficas y meteorológicas de la bahía de Tumaco y su relación con eventos de escala global. *Boletín Científico CCCP*, 9, 1-21. <https://ojs.dimar.mil.co/index.php/CCCP/article/view/351>
- Morgan, A. C. & Burgess, G. H. (2005). Fishery-dependent sampling: total catch, effort and catch composition. En J. A. Musick & R. Bonfil. *Management techniques for elasmobranch fisheries* (pp. 182-200). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Mosquera, C. A. y Tavera, J. (2019). Aspectos biológicos de *Bagre pinnimaculatus* y *Bagre panamensis* provenientes de los desembarcos artesanales de la bahía de Buenaventura [Tesis de pregrado, Universidad del Valle]. Biblioteca digital. <http://hdl.handle.net/10893/15577>
- Narváez, J. C., De la Hoz, J. M., Blanco, J. R., Bolívar, F., Rivera, R. M., Álvarez, T. y Riascos, C. (2012). *Tallas mínimas de captura para el aprovechamiento sostenible de las principales especies de peces comerciales de Colombia*. Universidad del Magdalena. https://www.researchgate.net/publication/261712663_Tallas_m%C3%ADimas_de_captura_para_el_aprovechamiento_sostenible_de_las_principales_especies_de_peces_comerciales_de_Colombia
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura Y La Alimentación [FAO]. (1997). Las capturas incidentales y los descartes en la pesca.

- <https://www.fao.org/3/w3862s/w3862s.htm>
- Párraga, D. P., Cubillos, L. A. y Correa-Ramírez, M. A. (2010). Variaciones espacio-temporales de la captura por unidad de esfuerzo en la pesquería artesanal costera del pargo rayado *Lutjanus synagris*, en el Caribe colombiano y su relación con variables ambientales. *Revista de biología marina y oceanografía*, 45(1), 77–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572010000100007>
- Ramos, J. E., Tam, J., Aramayo, V., Briceño, F. A., Bandin, R., Buitrón, B., Cuba, A., Fernández, E., Flores-Vallente, J., Gómez, E., Jara, H. J., Ñiquen, M., Rujel, J., Salazar, C. M., Sanjinés, M., León, R. I., Nelson, M., Gutiérrez, D. & Pecl, G. T. T. (2022). Climate vulnerability assessment of key fishery resources in the Northern Humboldt Current System. *Scientific Reports*, 12(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08818-5>
- Restrepo, J., Espinoza, R., Copete, M., Ruiz, M., Arrollo, M., Calderón, G. y Duque, G. (2004). Estado de los estuarios y manglares en Colombia. *Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia* (pp. 125-146). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/EAMC_2004/06Estuariosmanglares.pdf
- Rico-Mejía, F. y Rueda, M. (2007). Evaluación experimental bioeconómica de cambios en la tecnología de captura de camarón con redes de arrastre en aguas someras del Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 36(1), 79-109.
- Robertson, D. R., & Allen, G. R. (2015). Smithsonian Tropical Research Institute. Peces Costeros Del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de Información En Línea. <https://biogeodb.stri.si.edu/sftep/es/pages>
- Rodríguez, D. (2011). Distribution of Enterococci as indicators of fecal contamination in waters of Tumaco Bay, Colombian Pacific Coast. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 50(2), 136–148. <http://scielo.sld.cu136>
- Salazar, C. (2018). *Impacto ecosistémico de las artes de pesca artesanal peruana: propuestas de investigación tecnológicas y manejo pesquero* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio digital Imarpe. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10469>
- Sandoval, E., Madrigal, X., Escalera, L., Medina, M. y Domínguez, M. (2014). Vista de Estructura de la comunidad de peces en cuatro estuarios del Pacífico mexicano central. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(4). <https://doi.org/10.7550/rmb.42105>
- Servicio Estadístico Pequero Colombiano [SEPEC]. (2020). *Estadísticas de desembarco y esfuerzo de las pesquerías artesanales de Colombia durante el año 2020*. http://sepec.aunap.gov.co/Archivos/Boletines-2020/SEPEC_Boletin_Pesca_Artesanal_2020.pdf



- Tafurt, D., Molina, A. & Duque, G. (2021). Feeding habits of three species of sole fish (Pleuronectiformes: Achiridae) in Buenaventura Bay, Colombian Pacific. *Revista de Biología Tropical*, 69(3), 1055–1068. <https://doi.org/10.15517/RBT.V69I3.41922>
- Vásquez-Molano, D., Molina, A. y Duque, G. (2021). Distribución espacial y aumento a través del tiempo de microplásticos en sedimentos de la Bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50(1), 27-42. <https://doi.org/10.25268/bimc.inveemar.2021.50.1.1021>
- Vidal, L., Molina, A. y Duque, G. (2021). Aumento de la contaminación por microplásticos en aguas superficiales de la Bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50(2), 113-132. <https://doi.org/10.25268/bimc.inveemar.2021.50.2.1032>
- Villanueva, J., Benítez, G. y Nava, A. F. (2016). *Contribución de la pesca artesanal a la seguridad alimentaria, el empleo rural y el ingreso familiar en países de América del Sur*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/b-i5768s.pdf>
- World Wide Fund for Nature [WWF]. (2020). *Amenazas de la pesca artesanal*. https://www.wwf.org.mx/que_hacemos/programas/golfo_california/amenazas/
- Zambrano, E., Loaiza, J., Barrera, A., Hernández, S., Riascos, C., y Puentes, V. (2018). Actualidad de la pesca artesanal de la Zona Centro del Pacífico colombiano. En N. Gallardo, S. Hernández, H. Mojica y V. Puentes (Eds.). *Avances de Acuicultura y Pesca (Volumen IV). Especial: Caracterización de Pesquerías en Colombia* (pp. 151–179). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. https://www.academia.edu/38509623/Actualidad_de_la_Pesca_Artesanal_de_la_Zona_Centro_del_Pacifico_Colombiano_Current_Status_of_Small_Scale_Fisheries_in_the_Central_Area_of_the_Colombian_Pacific_Coast

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: 12/08/2022

Fecha de aceptado: 20/02/2023

DOI: 10.22490/21456453.6074

IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LAS HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA

ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSOCIATED WITH HYDROELECTRIC PLANTS IN COLOMBIA

Juan Manuel Andrade Navia ¹

Alfredo Olaya Amaya ²

¹ Doctor en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible. Docente de planta de la Universidad Surcolombiana, Colombia.

² Doctor en Ingeniería, énfasis en Recursos Hidráulicos. Docente de planta de la Universidad Surcolombiana, Colombia.

¹ juanmanuel.andrade@usco.edu.co

² alolaya@usco.edu.co

Citación: Andrade J. y Olaya, A. (2023). Impactos ambientales asociados a las hidroeléctricas en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 217 - 250. <https://doi.org/10.22490/21456453.6074>

RESUMEN

Contextualización: las hidroeléctricas son una de las principales fuentes generadoras de energía eléctrica en el mundo. Aunque su construcción en Norteamérica y Europa inició a mediados del siglo XX, en continentes como América, Asia y África su ola de expansión tuvo su génesis a partir del año 2000, la cual fue estimulada por el crecimiento acelerado de las economías emergentes como Brasil, Colombia, China, Sudáfrica e India, entre otras, además del crecimiento demográfico experimentado durante los últimos 10 años. Se estima que el mundo tiene más de 40 mil grandes hidroeléctricas, siendo Asia el continente con mayor cantidad de represas seguido de Suramérica.

Vacío de investigación: actualmente no existe un inventario de impactos que permita identificar y clasificar las afectaciones positivas y negativas ocasionadas por la construcción y operación de hidroeléctricas en el país. Lo anterior debido a que no hay un estudio integral que consolide los impactos generados por las hidroeléctricas en Colombia; no obstante, se reportan investigaciones que identifican impactos de las hidroeléctricas en casos aislados.

Propósito del estudio: clasificar los impactos ambientales [positivos y negati-

vos] generados por la presencia de hidroeléctricas en Colombia.

Metodología: para el desarrollo de la investigación se tomó como guía orientadora la metodología Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses [PRISMA]. Al respecto, la revisión sistemática comprendió las etapas de identificación, filtración, selección e inclusión de documentos de Scopus para literatura especializada internacional, Google Scholar para la literatura científica nacional [en bases de datos diferentes a Scopus] y los repositorios institucionales universitarios para la literatura gris.

Resultados y conclusiones: se realizó un inventario y clasificación de los impactos bióticos, abióticos [físicos] y socioeconómicos generados por la construcción y operación de hidroeléctricas en Colombia registrados en la literatura científica [artículos de investigación] y literatura gris [tesis de pregrado, maestrías y doctorados]. Posteriormente, se pudo establecer que existen diversas afectaciones causadas por los proyectos hidroeléctricos en el país, siendo predominantes las de naturaleza socioeconómica.

Palabras clave: hidroeléctricas, represas, afectaciones, impactos.



ABSTRACT

Contextualization: hydroelectric plants are one of the main sources of electricity generation in the world. Although its construction in North America and Europe began in the middle of the 20th century, in continents such as America, Asia and Africa its wave of expansion began in the year 2000, stimulated by the accelerated growth of emerging economies such as Brazil, Colombia, China, South Africa and India, among others, in addition to the demographic growth experienced during the last 10 years. It is estimated that the world has more than 40,000 large hydroelectric plants, with Asia being the continent with the largest number of dams, followed by South America.

Knowledge gap: there is currently no impact inventory to identify the positive and negative effects caused by the construction and operation of hydroelectric plants in the country, since there is no comprehensive study that consolidates the impacts generated by hydroelectric plants in Colombia; however, there are investigations that identify impacts of hydroelectric plants in isolated cases.

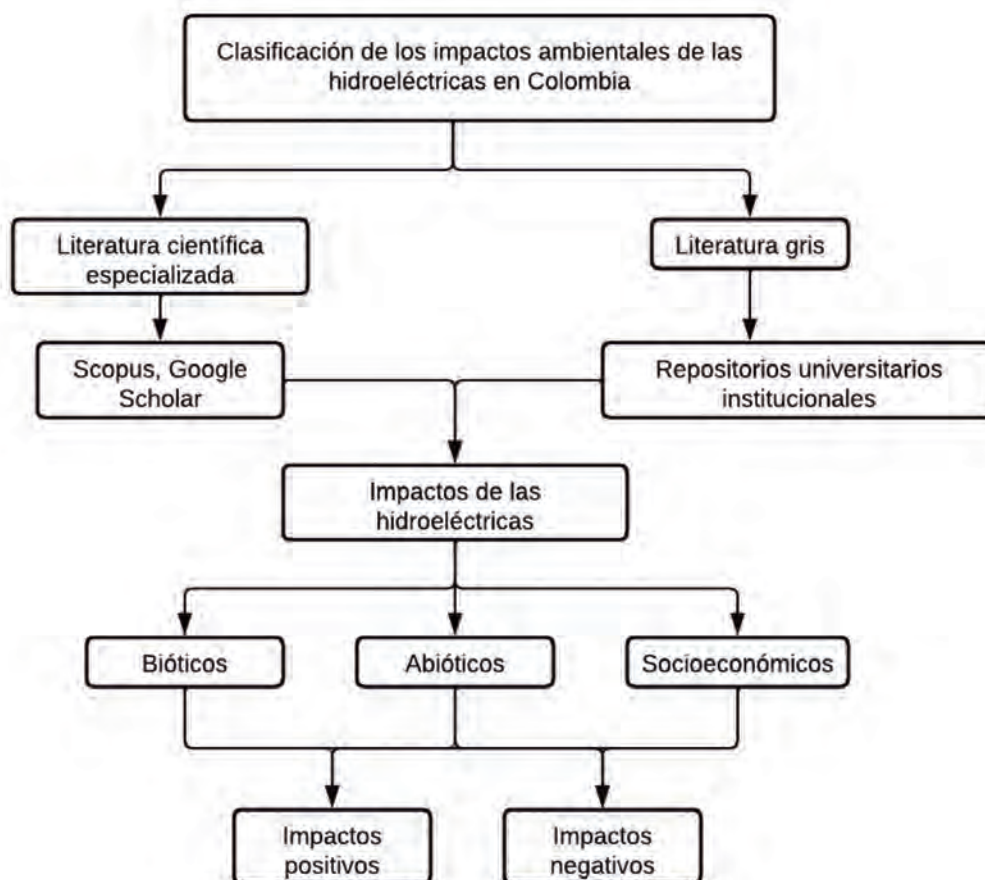
Purpose: classify the environmental impacts [positive and negative] generated by the presence of hydroelectric plants in Colombia.

Methodology: for the development of the research, the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses [PRISMA] methodology was used as a guide. In this regard, the systematic review included the stages of identification, filtration, selection, and inclusion of documents from Scopus for international specialized literature, Google Scholar for national scientific literature [in other databases than Scopus] and university institutional repositories for gray literature.

Results and conclusions: an inventory and classification of the biotic, abiotic [physical] and socioeconomic impacts generated by the construction and operation of hydroelectric plants in Colombia registered in the scientific literature [research articles] and gray literature [undergraduate, master's and doctorates theses] was carried out. Subsequently, it was possible to establish that there are diverse affectations caused by hydroelectric projects in the country, being predominant those of socioeconomic nature.

Keywords: hydroelectric, dams, affectations, impacts.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores

1. INTRODUCCIÓN

Las hidroeléctricas generaron alrededor del 16 % de la electricidad que se consumió en el mundo durante el año 2021 y más del 50 % de la electricidad proveniente de fuentes de energías renovables (Agencia Internacional de la Energía [AIE], 2022); con China como el principal país productor, contribuyendo con el 31 % del total de la generación

de energía eléctrica (Ember, 2022). Las hidroeléctricas empezaron a construirse desde el siglo XIX en Europa y durante el siglo XX lograron su apogeo en los Estados Unidos; no obstante, a partir de 1990, el crecimiento demográfico y la alta demanda energética, jalonada principalmente por los países emergentes (AIE, 2016), precipitaron una ola de



construcciones de grandes represas con fines hidroeléctricos, especialmente en regiones como Asia y Suramérica (Andrade y Olaya, 2021).

Según la Comisión Mundial de Represas (CMR, 2000), las hidroeléctricas se clasifican en grandes, medianas y pequeñas. Las grandes hidroeléctricas tienen un muro principal mayor a 15 metros de altura o una capacidad de almacenamiento mayor a 3 millones de metros cúbicos y una generación de energía por encima de los 100 MW; las medianas tiene un muro principal con una altura de 10 a 15 metros o una capacidad para almacenar entre 1 y 3 millones de metros cúbicos y una generación de 10 MW a 100 MW; finalmente, las pequeñas poseen un muro principal con menos de 10 metros de altura o capacidad para almacenar menos de 1 millón de metros cúbicos y una generación menor a los 10 MW (Comisión Internacional de Grandes Represas [ICOLD], 2017).

Las grandes hidroeléctricas se construyen con el fin de generar beneficios a la sociedad como producir altos volúmenes de energía y, en algunos casos, suministrar agua para personas o cultivos (Grigg, 2019). Sin embargo, los impactos negativos ocasionados por este tipo de infraestructura son abundantes y polémicos (Dopico et al., 2022). En ese orden, a nivel mundial son múltiples los estudios que ponen en evidencia dichos impactos en ámbitos como el cambio climático (Lu et al., 2020), la fragmentación y la interrupción de los flujos de los ríos (Harper et al., 2020;

Yang et al., 2022), afectación del recurso pesquero (Keppeler et al., 2022) y pérdida de cobertura vegetal (Nickerson et al., 2022), entre otros.

Para el caso colombiano, el desarrollo energético nacional ha sido significativo a partir del año 2000, debido a la creciente dinámica de construcciones de grandes hidroeléctricas. En el año 2020, estaban en funcionamiento 28 grandes hidroeléctricas y 115 pequeñas centrales que aportaron alrededor del 70 % de la oferta energética del país (Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME], 2020). A pesar de lo anterior, en comparación con otras regiones, el volumen de las investigaciones relacionadas con los impactos [positivos y negativos] ocasionados por la construcción y operación de las hidroeléctricas es relativamente discreto, especialmente cuando se refieren a investigaciones de alto impacto y rigurosidad. Adicionalmente, es preciso anotar que gran cantidad de las investigaciones realizadas son estudios de caso, es decir, que abordan casos puntuales de una hidroeléctrica y sus problemáticas, existiendo un vacío general en la identificación integral de los impactos bióticos, abióticos y socioeconómicos generados por las hidroeléctricas y, por tanto, de un inventario de impactos genéricos ocasionados por dichos proyectos de infraestructura en Colombia.

Con motivo de lo anterior, es conveniente consolidar y clasificar un listado de los impactos ambientales resultantes de la implementación de hidroeléctricas en el país. En ese orden, es impe-

rativo definir el significado y alcance del término impacto. Para la legislación colombiana, específicamente en el Decreto 1076 de 2015, el impacto ambiental es “cualquier alteración en medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad” (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Por otra parte, la Organización Internacional de Normalización ([ISO], 2015) lo define como un “cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización” (p. 3). En ese sentido, los aspectos ambientales de una organización comprenden el desarrollo de actividades y productos [bienes y servicios] en el marco de su interacción con el medio ambiente.

Wathern (1988) plantea que, a partir de la segunda mitad del siglo XX, el tér-

mino impacto ambiental adquirió una connotación de acción fuerte y perjudicial, ya que se comprende como el resultado, sobre el entorno, de la actividad humana adelantada en un periodo de tiempo y espacio determinado. Por eso se infiere que el impacto ambiental engloba una serie de consecuencias negativas sobre los elementos de los sistemas naturales, el clima y la sociedad debido a las acciones de las personas, la explotación excesiva de los recursos naturales, la mala disposición de residuos, la emisión gases a la atmósfera y la sobreutilización de suelos, entre otros aspectos (Perevochtchikova, 2013). A partir de lo expuesto, la presente investigación se propuso elaborar un inventario de los impactos ambientales [positivos y negativos] generados por la construcción y operación de grandes centrales hidroeléctricas en Colombia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio corresponde a una revisión sistemática [enmarcada en una investigación de tipo documental] que identificó los principales impactos generados por las hidroeléctricas en Colombia, teniendo en cuenta lo establecido en documentos publicados entre 1990 y 2022 (Figura 1). El periodo de búsqueda se estableció debido a que rastreos previos advirtieron que, en Colombia, sobre la década de 1990 empezó a emerger un interés académico e

investigativo acerca de los fenómenos acaecidos a partir de la construcción de hidroeléctricas. Por otra parte, el diseño y ejecución de esta investigación tuvo como guía orientadora la metodología Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses – PRISMA (Urrutia y Bonfill, 2010) y se siguieron los pasos a continuación.

Identificación y estrategia de búsqueda: En la primera etapa se adelantó la



revisión de la base de datos especializada Scopus para revistas internacionales de alto impacto, el buscador Google Scholar para las revistas académicas nacionales y los repositorios institucionales universitarios para el rastreo de la literatura gris. Para la búsqueda en Scopus se utilizaron los siguientes algoritmos: "impact" OR "affectations" AND "dams" OR "hydroelectric" OR "reservoirs" AND "Colombia" y se obtuvieron 189 documentos. Para el caso de Google Scholar se usaron los algoritmos: "impacto" OR "afectación" OR "afectaciones" OR "consecuencia" AND "represa" OR "hidroeléctrica" OR "embalse" AND "Colombia" y se obtuvieron 83 documentos. Finalmente, en el caso de los repositorios institucionales se recurrió a los siguientes algoritmos: "impacto" OR "afectación" OR "afectaciones" OR "consecuencia" AND "represa" OR "hidroeléctrica" OR "embalse" y se obtuvieron 271 documentos.

Filtraje y elección: Los documentos vinculados inicialmente a la búsqueda correspondieron a investigaciones – se excluyeron editoriales – que incluyeron los términos de búsqueda en su título, resumen o palabras clave. Posteriormente, se excluyeron los documentos

que no estuvieran dentro del rango temporal de búsqueda, documentos duplicados o con enfoques e intereses diferentes a los impactos ocasionados por las hidroeléctricas; ni el idioma ni el lugar de origen de la publicación constituyeron criterios de exclusión sobre los documentos encontrados. Se debe mencionar que [para prevenir cierto nivel de sesgo] no se realizó un inventario previo de las hidroeléctricas existentes en Colombia, ni se propuso que la documentación cubriera a todas las existentes en el país, por lo que es posible que para algunas hidroeléctricas haya más estudios, mientras que para otras no haya documentos que siquiera las mencionen; con esto se buscó prevenir que los autores concentraran su análisis en ciertos casos.

Inclusión: Finalmente, la revisión incluyó investigaciones originales, reportadas en la literatura científica especializada nacional e internacional, y literatura gris. Frente a la literatura gris, se debe resaltar que su criterio de selección tuvo dos motivaciones: la escasa cantidad de estudios encontrados en la literatura especializada, y el interés por realizar una identificación integral de los impactos ocasionados por las hidroeléctricas en Colombia.

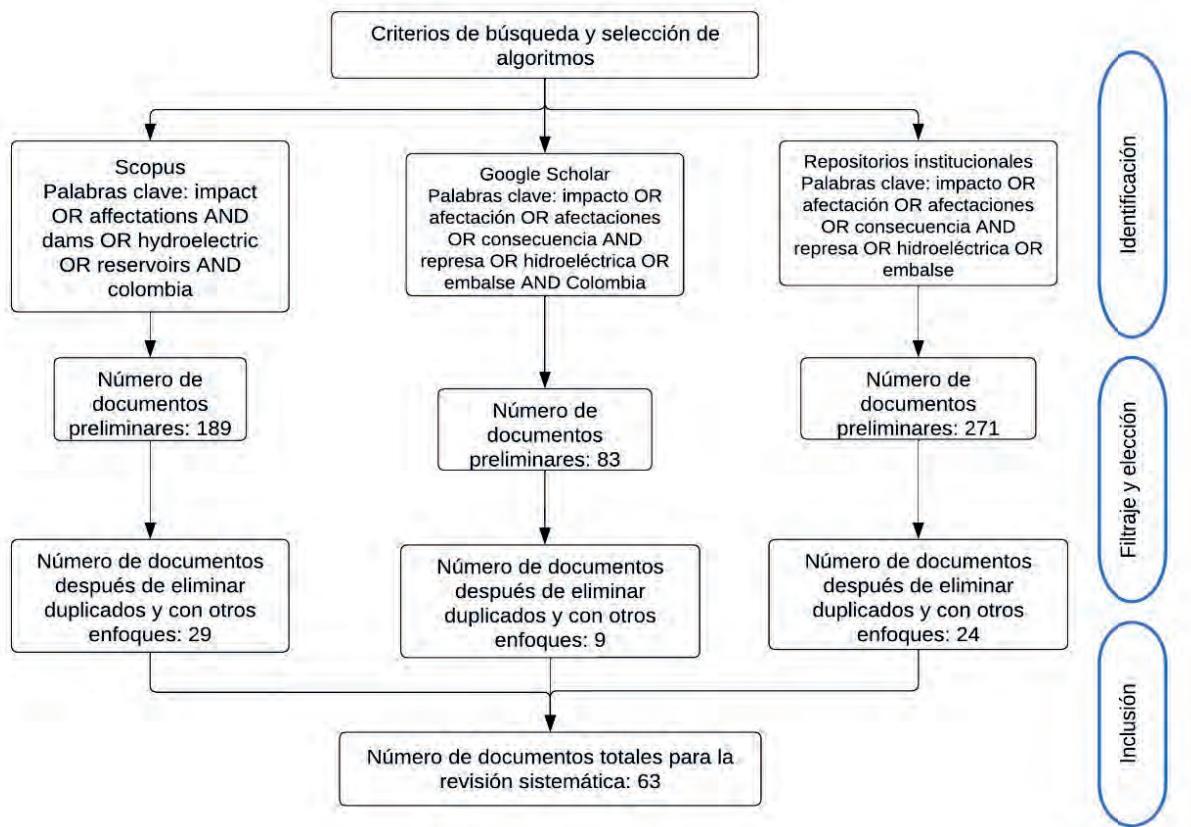


Figura 1. Flujograma de búsqueda y selección de documentos para la revisión de acuerdo con las fases de la guía PRISMA. Fuente. Autores

3. RESULTADOS

3.1 Descripción de los documentos encontrados

Como resultado, se identificaron 543 documentos de investigación en la búsqueda primaria realizada en las fuentes establecidas; posteriormente, se realizó un tamizaje basado en la lectura de títulos, resúmenes y palabras clave, del cual solo 63 documentos cumplieron con el protocolo para su inclusión en el análisis definitivo. En la Figura 2 se muestra la aparición de documentos de

investigación relacionados con los impactos de las grandes hidroeléctricas en Colombia encontrados durante la búsqueda de literatura gris y especializada en el periodo establecido; al respecto se evidencia una tendencia creciente en la relación de documentos, con una cantidad máxima de diez [10] estudios encontrados en el año 2020. Algunos años no registraron documentos, por lo que no están relacionados en la respectiva figura.

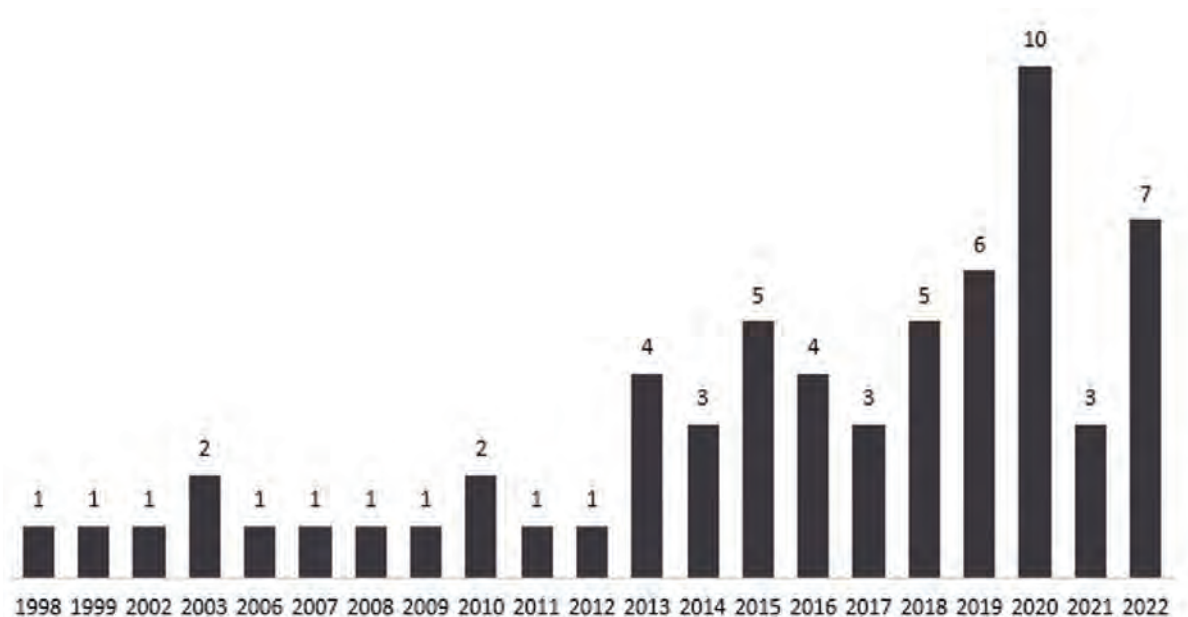


Figura 2. Documentos publicados 1990-2022

Fuente: Autores

A continuación, se realiza la identificación de los impactos generados por las hidroeléctricas en Colombia, a partir de la revisión sistemática de los documentos seleccionados. Para una mejor comprensión, los impactos se discriminaron –de acuerdo con la normatividad nacional que estipula tres ámbitos de impacto– en bióticos, abióticos [físicos] y socioeconómicos; no obstante, se debe señalar que, en algunas ocasiones, no resulta sencillo establecer la naturaleza del impacto debido a la complejidad y alcance de este, de tal suerte que un impacto puede tener su génesis en el ámbito físico y transformarse rápidamente en uno de tipo socioeconómico. De acuerdo con esa lógica, se le dio mayor prioridad a su identificación sobre su clasificación.

3.2 Impactos bióticos

Zuluaga et al. (2012) adelantaron una vigilancia de insectos vectores de enfermedades tropicales en el marco de la construcción de las hidroeléctricas Porce II y Porce III; hallaron que la presencia del embalse, más otros depósitos de aguas propios de obras de construcción a gran escala, incrementaron significativamente el riesgo de proliferación de mosquitos transmisores de malaria y leishmaniasis. Viviescas-Santana (2014) estudió los impactos derivados de las hidroeléctricas El Quimbo, Ituango, Porce IV y Sogamoso, encontrando impactos genéricos como la pérdida de cobertura vegetal debido a la eliminación de bosques nativos, la desaparición de fauna terrestre y acuática a causa de eliminación de sus hábitats y a la fragmentación de sus ecosistemas, y la alteración de zonas de desove y de di-

námicas reproductivas en las comunidades de peces.

Carvajal-Quintero et al. (2017), en un estudio que implicó varias represas, determinaron el incremento del riesgo para la supervivencia de las especies acuáticas de los ecosistemas del río Magdalena, como consecuencia de las hidroeléctricas construidas a lo largo de este; así se estableció que, por lo menos, una docena de especies endémicas de peces presentaba un incremento en el riesgo de desaparición y extinción. Asimismo, Angarita et al. (2018) analizaron las variaciones sobre los regímenes hidrológicos que ha experimentado el río Magdalena después de la construcción de diferentes embalses, encontrando un alto nivel de variación en los caudales del río. Por otra parte, Arismendi-González et al. (2021) identificaron la presencia de cianobacterias de alta toxicidad en el embalse de la hidroeléctrica Río grande II, destacando que esta contaba con las condiciones ambientales aptas para su proliferación.

Valencia-Rodríguez et al. (2022) registraron los cambios en los inventarios de peces del río Porce luego de la construcción de la hidroeléctrica Porce III, encontrando una reducción de especies nativas y la aparición de especies exóticas. Así, evidenciaron la desaparición de cuatro especies y la aparición de 12 nuevas especies; indirectamente, el estudio resaltó los cambios generados en los hábitats acuáticos ocasionados por la hidroeléctrica. Finalmente, Restrepo-Santamaría et al. (2022) investigaron la necesidad de reubicación de los

peces que habitan aguas abajo de la hidroeléctrica Porce III debido al alto nivel de mortalidad que presentan por cuenta de la fragmentación de sus hábitats, especialmente cuando el río se desvía temporalmente para la construcción de las obras de ingeniería.

3.3 Impactos abióticos o físicos

Buenaventura y Vélez (2003) realizaron una investigación sobre la calidad del agua del río Porce, antes y después de la hidroeléctrica Porce II, con el fin de establecer su nivel de contaminación. Así se determinó que el río Porce alcanza altos niveles de contaminación provenientes de la ciudad de Medellín, debido a la contaminación de sus tributarios; sin embargo, después del embalse, el agua del río presenta una mejora en sus parámetros puesto que las aguas contaminadas son retenidas en el embalse y este funge como un lago de oxidación en el que se degrada la materia orgánica. En consecuencia, se aprecia una mejoría en el agua del río aguas abajo de Porce II.

Feria et al. (2010) estudiaron las concentraciones de metales pesados presentes en los sedimentos del río Sinú, aguas abajo del embalse Urrá I, encontrando presencia importante de cobre, níquel, cromo y zinc. Los investigadores consideran que la presencia de estos metales es natural en el entorno; sin embargo, el embalse cumple una función de recipiente de acumulación, por lo que se reportan altos niveles de concentración en la presa y aguas abajo. Asi-



mismo, Marrugo-Negrete et al. (2015) monitorearon los niveles de mercurio total en peces, aguas abajo del embalse Urrá I, tomando muestras entre los años 2004 y 2009 y encontraron que los niveles de concentración de mercurio en los peces aumentaron notablemente con el embalse, constituyéndose en un riesgo para la población. Por su parte, Wilches et al. (2020) analizaron datos [entre 2008 y 2014] en siete estaciones ubicadas en el cauce del río Sinú, aguas abajo del embalse Urrá I, con el fin de establecer las características fisicoquímicas del agua, midiendo parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno [DBO5], oxígeno disuelto [OD], temperatura y pH. El estudio concluye que parámetros como el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura promedio se encuentran dentro de los niveles normales en las zonas en las que se recolectó la información.

Sailor & Rosen (1998) construyeron un modelo atmosférico [numérico] para simular el clima de la región en el embalse de Hidrosogamoso y su potencial afectación sobre los cultivos [especialmente para los de café y cacao] altamente sensibles al incremento de la temperatura en la zona. El modelo arrojó que, eventualmente, la temperatura en la zona perimetral del embalse tendría un incremento, con diferenciales durante la temporada de lluvias, lo que traería como consecuencia la variación de rendimientos, con tendencia negativa, en los cultivos. Ardila (2014) registra que, entre las consecuencias ocasionadas por Hidrosogamoso, el impacto más evidente radica en la pérdida, por

inundación, de alrededor de 7 000 ha de tierra en zonas altamente productivas; también resalta la obstrucción del trayecto natural del río, la degradación paisajística y la destrucción de importantes sistemas naturales. Igualmente, se evidencian los impactos sobre las personas que hacen uso del río debido a los residuos químicos, explosivos, aceites y demás combustibles usados en la construcción de las obras que contaminan las fuentes hídricas y disminuyen la pesca. En el año 2011 se realizó una encuesta a los habitantes de la región, en esta el 66 % de las personas afirmaron que, antes de la hidroeléctrica, el entorno silvestre se encontraba en mejores condiciones: los cultivos crecían mejor, predominaba la fauna acuática, había menor ruido, el acceso a las fuentes hídricas superficiales era más fácil, el clima era más predecible, el aire estaba más puro y el paisaje era más atractivo (Ardila, 2014).

Álvarez y Avellaneda (2015) identificaron los impactos generados sobre el sector agrícola colindantes al embalse de Chivor destacando variaciones en el clima desde la construcción del embalse, lo que afecta un área de 278,81 km². El cambio en el clima se evidenció con el incremento de la precipitación y la humedad, el descenso de la temperatura media anual y la disminución de la evapotranspiración potencial. Estos cambios resultaron en afectaciones a los cultivos de naranja, mandarina, chirimoya, plátano y maíz. Por otra parte, Mayor (2016) midió los niveles de emisión de CO₂ generados por las hidroeléctricas en Colom-

bia, destacando que las hidroeléctricas con los mayores niveles de generación anual de este gas corresponden a las hidroeléctricas Guavio, Quimbo, Troneras, Urrá I y Sogamoso. Estos niveles de emisión se encuentran directamente relacionados con el área inundada destinada al embalse de las hidroeléctricas.

Peña y Sánchez (2016) calcularon las inundaciones en el periodo comprendido entre 1987 y 2015, aguas abajo, de la Hidroeléctrica Betania, llegando a la conclusión de que las acciones de la central eléctrica fueron contrarias a lo establecido en su manual de operaciones. Durante la temporada de lluvias, la hidroeléctrica descargó masivamente sus aguas acumuladas con el fin restablecer los niveles permitidos, impulsando los fenómenos de inundaciones que ocurrieron y afectaron a los habitantes ribereños y sus actividades económicas, por lo que estos se vieron obligados a diversificar sus fuentes de sustento. Marín (2018) realizó una investigación sobre la afectación del clima de la zona circundante a la hidroeléctrica Guatapé; se estudiaron las variables de precipitación, temperatura y humedad del área de influencia encontrando datos que dan indicios sobre el incremento de la humedad, temperatura y precipitación, aunque no fueron concluyentes.

Martínez y Suárez (2019) analizaron la afectación que generan los sedimentos sobre la cobertura vegetal, aguas abajo de la hidroeléctrica Pescadero-Ituango, descubriendo que la baja sedimentación genera pérdida de vegetación y erosión del suelo con incidencia sobre

la agricultura, especialmente sobre los cultivos de café y maíz. Otro de los impactos identificados, por la baja sedimentación, fue la disminución de la calidad del suelo debido a la remoción de tierra realizada durante la construcción, lo que afectó la estabilidad del suelo. En cuanto a los peces, hubo consecuencias como la inflamación de sus órganos respiratorios, lo que ocasionó la disminución de su resistencia a enfermedades y sus índices de crecimiento; asimismo, se afectó sus niveles de reproducción por el entierro y sofocamiento de los huevos, y la desaparición de zooplancton, invertebrados e insectos que constituían su alimento, reduciendo la oferta pesquera aguas abajo.

Lizarazo et al. (2020) midieron la concentración de ocho tipos de metales pesados presentes en vegetales producidos en zonas circundantes al embalse del Muña, de los cuales tres [arsénico, cromo y plomo] reportaron concentraciones superiores a los límites permitidos por las normas internacionales con presencia en diferentes partes de las plantas. Por su parte, Gómez et al. (2020) realizaron una simulación para estimar las emisiones de CO₂ en el embalse de Hidrosogamoso, a partir de la identificación de la materia orgánica [ciclo de carbono] y la calidad del agua, para lo cual se utilizaron catorce variables [entre parámetros de calidad del agua y CO₂]. Los investigadores encontraron que la producción de CO₂ se debe principalmente a la descomposición del carbono orgánico perteneciente a los suelos inundados y al agua de los tributarios, dentro de un proceso que



puede durar entre 5 y 10 años después de la inundación. De igual manera, Rodríguez y Peñuela (2022) evaluaron los niveles de emisión de dióxido de carbono y metano por degradación biológica en Hidrosogamoso durante siete años, encontrando altos niveles de generación de gases de efecto invernadero en comparación con embalses nacionales como Betania, El Quimbo, Guatapé y Urrá I, especialmente en las etapas de llenado y operación.

Ramírez et al. (2010) estudiaron el régimen de caudales del río Cauca, antes y después de la construcción de la hidroeléctrica Salvajina, destacando la labor del embalse en el control de inundaciones en temporada de lluvias e incrementando el caudal del río mediante el aumento del flujo en temporada de sequía. De igual manera, Cerón et al. (2021) determinaron la afectación que generó la hidroeléctrica de Salvajina sobre el nivel de precipitaciones aguas abajo del embalse, mediante un análisis de precipitaciones entre los años 1986 y 2019, concluyendo que los eventos de aumento o disminución de precipitaciones se hicieron más pronunciados en la zona después de la construcción del embalse. Finalmente, Zamora et al. (2020) analizaron los posibles efectos climatológicos derivados de la construcción de la hidroeléctrica Prado. Los resultados del estudio no fueron concluyentes, por lo que no se puede afirmar que, luego de la construcción de la hidroeléctrica, el microclima de la zona hubiese experimentado variaciones.

3.4 Impactos socioeconómicos

Quintero (2007) revisó dos estudios realizados por Interconexión S. A. [ISA] en 1989 y 1992 y encontró un registro de los beneficios, compensaciones e impuestos de las centrales hidroeléctricas Calderas y San Carlos. De acuerdo con los estudios, existen algunos aportes en obras de infraestructura, como carreteras, puentes, escuelas, centros de salud, acueductos y alcantarillados, entre otros. Para el año 2000, las centrales eran de propiedad de ISAGEN y uno de los informes señala que invirtieron en proyectos recreativos, culturales, educativos; además de saneamiento básico, vivienda de interés social y proyectos productivos. Finalmente, los municipios de Granada y San Carlos recibieron 427 y 5 819 millones de pesos respectivamente, en transferencias.

Égré & Senécal (2003) establecieron que los impactos sociales asociados a la construcción de la represa Urrá I estuvieron especialmente ligados al desplazamiento de comunidades indígenas y a la pérdida de actividades de sustento como la pesca y caza. Igualmente, los autores reconocieron efectos negativos como la generación de estrés y conflictos con las comunidades debido a la incertidumbre experimentada. De igual manera, Bustamante (2008) y Leguizamón (2015) estudiaron los impactos ambientales ocasionados por Urrá I; ellos encontraron que el embalse inundó alrededor de 7 400 hectáreas, ocasionando el desplazamiento de la comunidad Embera Katíos del Alto Sinú y comprometiendo su economía de caza, pesca,

recolección y cultivos itinerantes. Algo parecido identificaron con los colonos de la zona, quienes fueron desplazados de sus fincas y experimentaron desintegración familiar y una fuga migratoria y desordenada, aguas arriba del embalse; por su parte, los pescadores tuvieron que cambiar sus sitios de faena.

En el plano económico, la afluencia temporal de personal [contratistas y operarios] a la zona de Urrá I, con motivo de la construcción del proyecto, ocasionó variaciones en el empleo, salarios y producción, lo que generó un efecto de inflación microzonal que influyó gravemente a las comunidades campesinas del área; sin embargo, se identificó un impacto positivo para las finanzas municipales dado que el propietario de la hidroeléctrica pagaba anualmente los impuestos prediales de los terrenos inundados y ocupados (Bustamante, 2008; Leguizamón, 2015). Frente a la misma hidroeléctrica, Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015) estimaron que su construcción desplazó a más de 12000 personas y afectó a otros 60000 pescadores, aguas abajo del embalse, que perdieron la fuente primordial de su subsistencia sin recibir una clara compensación económica, comprometiendo gravemente sus ingresos y, en consecuencia, deteriorando su calidad de vida. La Asociación de Productores para el Desarrollo Comunitario de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú [Asprocig] (2002) también estableció una serie de impactos de la hidroeléctrica Urrá I, como la disminución del inventario de especies de peces de valor comercial significativo, lo que redundó en la re-

ducción de los ingresos económicos de los pescadores de la zona, aumento del desempleo, desplazamiento progresivo de personas hacia los centros poblados, aumento de la inseguridad alimentaria de población vulnerable y pérdida de biodiversidad acuática.

Restrepo (2011) concluyó que la construcción de los embalses en el oriente antioqueño, como San Carlos, Calderas y Urrá I, ocasionó, por un lado, el crecimiento poblacional acelerado, el aumento de dinero circulante y la construcción de infraestructura; mientras por otro lado, generó el desplazamiento de personas debido a la inundación de tierras, la modificación de las dinámicas productivas, la destrucción de los lazos de cohesión y el surgimiento de nuevos estilos de vida. Así como cambios abruptos en los patrones familiares, aumento del hacinamiento, pérdida de los valores tradicionales, aumento en el costo de vida, contaminación de fuentes de agua y pérdida de bosques.

Torres (2013) analizó los cambios territoriales generados por la hidroeléctrica Ituango, identificando cambios en la tenencia de la tierra y en las relaciones sociales y comunitarias. Sobresale el descontento social por el hecho de que el censo no incluyera a todos los propietarios de la tierra y porque el valor del m² de tierra pagado no les permitiera a las personas comprar un predio de características similares en municipios cercanos. Esto afectó gravemente la calidad de vida de las personas desplazadas (Torres, 2013). Otro cambio experimentado fue en la tenencia de la tierra



debido a los obstáculos para transitar por los caminos tradicionales dentro del territorio, especialmente para los mineros puesto que no podían acceder al río para realizar sus actividades tradicionales. Por otro lado, se registró el abandono del campo por parte de los campesinos para trabajar en el proyecto; aunque la generación de empleo es un impacto positivo, una vez terminó la construcción del embalse fue difícil el retorno al campo para trabajar la tierra (Torres, 2013).

Úsuga (2014) abordó la percepción sobre las afectaciones generadas por la hidroeléctrica Ituango que tenían los líderes de la zona. La percepción sobre el proyecto fue favorable y los líderes consideraban que han sido mayores los beneficios, que las afectaciones negativas para la región. Sobresalen como aspectos positivos: generación de energía eléctrica, creación de empleo, construcción de infraestructura vial, incremento de los ingresos, mejoramiento de viviendas y construcción de acueductos, entre otros. Entre los aspectos negativos se destacaron: la poca vinculación de mano de obra local, incremento de inseguridad, aparición de problemáticas sociales [drogadicción, alcoholismo, prostitución y embarazos en menores de edad], aumento en la movilidad de automóviles, motocicletas, buses de servicio público y privado, incremento de accidentes de tránsito, pocos beneficios para la actividad comercial y falta de socialización de los proyectos con la comunidad.

Madera (2014) evaluó los impactos de la hidroeléctrica Urrá I sobre tres comunidades de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú. Las comunidades afectadas están asentadas a orillas de la ciénaga y sus actividades productivas dependen fundamentalmente de sus recursos. Al respecto, los pobladores de la zona perciben una notoria disminución en la producción de sus principales actividades de sustento [como la pesca y la agricultura] la disminución de la calidad del agua, las migraciones de los pobladores y la conformación de asociaciones. Así, la construcción de la represa alteró el ciclo de inundaciones tradicionales, generados por el río Sinú, a tal punto que las personas que deciden sembrar lo hacen bajo la incertidumbre de que sus cultivos se inunden o mueran por falta de agua. Lo anterior es afín a lo encontrado por Vélez et al. (2006) y Vélez (2009), quienes evidenciaron la alteración del régimen de caudales ocasionados por la operación de Urrá I sobre los procesos de adecuación de tierras para uso pecuario y agrícola, lo cual causa restricciones en la disponibilidad de agua para las plantas y pone en riesgo la supervivencia de especies de la zona y la germinación de semillas.

Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015) analizaron los efectos fiscales de las hidroeléctricas, específicamente de Peñol-Guatapé, Jaguas, Playas, Punchiná y Calderas, ubicadas en la cuenca de los ríos Negro y Nare, como consecuencia de la Ley 56 de 1981 (Congreso de Colombia, 1981) y el Decreto 2024 de 1982 (Congreso de Colombia, 1982). El comportamiento del impuesto predial

en los municipios afectados refleja una tendencia decreciente en la participación tributaria municipal; en el periodo comprendido entre 2000 y 2012, los municipios con más disminución en la participación fueron Santo Domingo (-26 %), San Roque (-25 %) y Concepción (-25 %), los cuales cuentan con hidroeléctricas. La compensación del impuesto predial surgió como medida para contrarrestar la afectación fiscal causada por el uso de los terrenos por las hidroeléctricas y busca que las empresas propietarias de las hidroeléctricas paguen los recursos que los municipios afectados dejan de percibir vía impuesto predial. Sin embargo, la norma establece un impuesto predial diferencial con una tasa fija del 6 por mil para las hidroeléctricas que contrasta con las tasas para el resto de la población, las cuales oscilan entre el 8 y el 12 por mil. Esto representa cerca del 45 % de diferencia, lo que es peculiar ya que se hace alusión a empresas altamente lucrativas (Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez, 2015).

Duarte-Abadía et al. (2015) identificaron los impactos sociales generados por Hidrosogamoso sobre los recursos territoriales, las prácticas de control del agua y la subsistencia de la comunidad compuesta por pequeños agricultores, pescadores, vendedores de pescado, migrantes y pequeños mineros. A pesar de las grandes dificultades emanadas de su informalidad, los afectados lograron visibilizarse bajo la figura «Movimiento Social por la Defensa del Río Sogamoso». Como consecuencia adicional, se han generado conflictos den-

tro de la comunidad entre quienes quieren vender e irse y quienes se resisten a abandonar la zona. Asimismo, Arias et al. (2016) y Urueña y Sánchez (2016) resaltaron los impactos producidos por Hidrosogamoso sobre las comunidades circundantes, especialmente aquellas que fueron desplazadas y reasentadas en otros predios. Ellos señalaron que el desplazamiento incluyó el área del embalse, las zonas perimetrales o de protección, las áreas inestables, las zonas de obras sustitutivas, las áreas utilizadas como fuentes de materiales de construcción, las zonas de depósito de materiales y residuos y las requeridas para la ubicación de los campamentos. Las afectaciones sociales se pueden describir en términos de la pérdida de espacios comunitarios y culturales, la disminución de las oportunidades de empleo e ingreso vinculadas con la tierra, los cambios en la demanda laboral debido a la solicitud de mano de obra para el proyecto, el debilitamiento de las redes comerciales para productos agropecuarios y la pérdida de cohesión y tejido social debido a la inmigración y el desplazamiento de los pobladores de la zona, entre otros (Arias et al., 2016; Urueña y Sánchez, 2016).

Hermosa (2018) analizó el impacto ambiental y socioeconómico generado por la hidroeléctrica El Quimbo sintetizándolo en tres aspectos: impacto ambiental originado por aguas contaminadas que disminuyeron la riqueza del río debido a la mortandad de peces en la represa, lo que puso en riesgo el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y terrestres; impacto social representado



en conflictos entre vecinos debido a la venta de los predios y al traslado hacia otros terrenos, así como la pérdida de espacios comunes y de lugares de recreación y esparcimiento; y el impacto económico evidenciado en factores económicos desfavorables como la pérdida de actividades de sustento [la pesca, la agricultura de sustento y pequeñas actividades agropecuarias] y el descenso de la actividad comercial.

Muñoz (2018) y Ramírez & Muñoz (2020) estudiaron la influencia de la construcción y operación de las centrales hidroeléctricas de Betania y El Quimbo sobre la sostenibilidad del departamento del Huila, concluyendo que Betania contribuyó, junto con la industria de extracción minera y los hidrocarburos, al Producto Interno Bruto [PIB] departamental; no obstante, el PIB departamental no ha sufrido incrementos significativos y presenta un patrón de estancamiento económico durante las últimas décadas. Asimismo, resaltan el déficit ecológico de los municipios en la zona de influencia de las hidroeléctricas, evidenciando que su presencia en el territorio huilense ha modificado negativamente el paisaje. Por último, el estudio destaca que Betania ha permitido el desarrollo de la agroindustria piscícola y, en menor grado, el turismo náutico.

Gutiérrez y Pinzón (2018) estudiaron las transformaciones territoriales sufridas por los pescadores artesanales en el Huila con motivo de la hidroeléctrica El Quimbo. Los autores realizaron múltiples entrevistas a los pescadores de una

asociación local, encontrando impactos como la pérdida de calidad del agua ya que esta no se considera apta para el consumo humano debido a que la madera talada no fue retirada del río, lo que ocasionó saturación de metano con la respectiva mortandad de peces, disminución del inventario de especies y enfermedades en pescadores que eventualmente tuvieron contacto con el agua. Asimismo, sobresale el cambio del cauce y el desplazamiento de los pescadores a orillas del río, afectando el sustento y seguridad alimentaria de varias familias y la pérdida de espacios comunes para la interacción social. Lo anterior redundó en el cambio del estilo de vida de la comunidad y sus integrantes, la pérdida del ingreso familiar y el deterioro de la estructura familiar y social.

Muñoz (2019) abordó el estudio de impacto ambiental de la central hidroeléctrica Porce III a partir de los efectos sociales ocasionados, entre los que sobresalen las afectaciones a más de 500 personas dedicadas a actividades mineras [extracción de oro de veta y aluvión]) y a jornaleros agropecuarios, aparceros, productores agropecuarios, cuidanderos, vaqueros y propietarios de negocios comerciales. El autor reportó impactos significativos como el cambio estructural de la población afectada directamente, la generación de empleo y el mejoramiento de las finanzas municipales. Asimismo, Jiménez et al. (2020) evaluaron la percepción de la comunidad frente a los impactos generados por la hidroeléctrica Porce III. Ellos identificaron impactos como deforestación y



pérdida de cobertura vegetal, erosión del suelo, desplazamiento de especies animales, proliferación de plagas y vectores, cambios en el microclima, entre otros. Los pobladores coinciden en que las transformaciones generadas por la construcción del embalse obligaron a cambiar la estructura organizacional y económica en la región. Finalmente, otra de las opiniones con gran consenso fue que el cambio del clima en la zona afecta el desarrollo y producción de cultivos. Montañó et al. (2019) destacan que la hidroeléctrica de Ituango generó un impacto ambiental que afectó a los habitantes de los 12 municipios que abarca el proyecto, comprometiendo su integridad, estilo de vida, territorio y ambiente en el que conviven; lo que ocasionó daños y afectaciones permanentes e irreversibles en el ecosistema y el entorno.

Barriga (2019) estudió los impactos socioambientales de la hidroeléctrica Tominé y los embalses de El Guavio, El Hato, El Sisga, Neusa, Chisacá, La Regadera, Chuza, Chingaza, El Muña y San Rafael. Frente a Tominé, sobresale el importante desarrollo turístico que generó, incluyendo los empleos, la integración municipal y las oportunidades en temas económicos, sociales y recreativos. El Guavio presenta una problemática social y ambiental que tuvo su génesis desde el represamiento de los ríos Guavio, Batatas y Chivor, lo que provocó la inundación y pérdida de tierras fértiles de la zona, afectando la economía de la población vecina y creando descontento generalizado. Asimismo, se registran efectos negativos

como el deterioro de la infraestructura vial, ruptura de las relaciones entre la comunidad y las autoridades locales, y el aumento de los daños a los cultivos por las frecuentes descargas de agua. En contraste, se identificaron impactos positivos como el aumento del valor de las tierras, la generación de empleo y el desarrollo turístico (Barriga, 2019). Con relación al embalse del Hato, se destacan las actividades turísticas que se vienen desarrollando y, por ende, la generación de empleo que dinamiza el mercado laboral de la zona (Arias y Bello, 2017). Los embalses de Neusa, Sisga y Chisacá-La Regadera presentan impactos ambientales mínimos e impactos socioeconómicos positivos debido al uso del agua para actividades agrícolas, pecuarias y recreativas, y a su labor en el control de inundaciones. Por otro lado, el embalse de Chuza tiene importancia porque abastece a la población de Bogotá transportando agua al embalse de San Rafael (Barriga, 2019).

Sarmiento et al. (1999) confirman el alto nivel de contaminación que tiene el embalse del Muña por cuenta de la presencia de materia orgánica y sustancias químicas, incluidos metales pesados. Así, advierten del riesgo de contaminación de la cadena trófica y, por ende, de la afectación del ser humano; no obstante, los investigadores no lograron establecer un vínculo directo entre las dinámicas de morbilidad y mortalidad, y las condiciones ambientales del embalse. El embalse del Muña es una fuente de energía importante para Bogotá, sin embargo, ha generado problemas en la población de Sibaté debido



a la mala calidad del agua; esta genera enfermedades y malos olores puesto que también es usada como sistema de riego, transportando los contaminantes a los alimentos (Funeme, 2017). Este embalse tuvo un inicio prometedor frente al turismo y las actividades náuticas, lo que permitió que los ingresos aumentaran y la economía de la zona mejorara en gran medida; no obstante, el bombeo de agua del río Bogotá empeoró la calidad del agua hasta que se prohibió todo tipo de actividad en el embalse (Barriga, 2019). Roa et al. (2019) destacan el aporte de la hidroeléctrica Chivor a la matriz energética nacional y a la economía regional, estimulando actividades como el ecoturismo y el turismo de aventura. Sin embargo, Roa et al. (2019) y Correa (2013) advierten que el proyecto desplazó alrededor de 250 familias e inundó más de 1.200 h, incrementó la temperatura y humedad de la zona, imposibilitó la siembra de ciertos cultivos, afectó la seguridad alimentaria, aumentó la erosión de ciertas superficies, acrecentó la pérdida de biodiversidad e incrementó el desarraigo de personas de la región y su posterior migración a la capital del país.

Aristizábal (2020) evaluó el impacto de la hidroeléctrica San Carlos sobre la economía campesina en Antioquia, destacando la pérdida de predios productivos vendidos a precios irrisorios en favor de la empresa propietaria del proyecto y, por consiguiente, el desplazamiento de personas. Asimismo, registra la desaparición de centros poblados de la zona y la aparición de enfermedades humanas, animales y vegetales ligadas

al agua del embalse, debido al incremento en la humedad de la zona. El autor destaca el notable nivel de organización de la población para enfrentar los efectos económicos y sociales generados por la hidroeléctrica San Carlos; sin embargo, se incrementó el nivel de violencia que sufrieron las organizaciones sociales a manos de grupos armados. Igualmente, sobresale el crecimiento poblacional experimentado [alrededor del 46 %] entre 1973 y 1985 por la inmigración de personal con motivo de las obras realizadas por la empresa (Aristizábal, 2020). Para Aristizábal (2020), aunque a los propietarios de los predios se le compraron los terrenos, la población reasentada se vio empobrecida debido a que hubo un desplazamiento de lo rural a lo urbano, con escasas posibilidades de empleo formal, engrosando la informalidad y pobreza en los cascos urbanos. La mano de obra del campo se fue desplazó hacia las ciudades y el campo se quedó sin fuerza de trabajo, por lo que se vio disminuida la producción agropecuaria.

Carmona & Puerta (2020) establecieron una serie de impactos generados por el embalse multipropósito El Cercado, entre los que sobresalen el suministro de agua para consumo humano y para riego en la agricultura, además de la generación eléctrica. El estudio advierte serios conflictos con la comunidad debido a las restricciones para el acceso al agua de las comunidades nativas. Finalmente, Patiño (2021) realizó un amplio análisis sobre las implicaciones sociales que tuvo la construcción de las hidroeléctricas de Guatapé, Calderas,

San Carlos, Jaguas y Playas, entre 1964 y 1998, en el oriente antioqueño. El autor estableció que la construcción de las represas necesarias para la generación de energía tuvo grandes impactos negativos a nivel social, como la concentración de tierras en pocas manos, el desplazamiento forzado, la privatización del agua y el exterminio de las organizaciones sociales de base que se opusieron a los proyectos.

3.5 Consolidación de impactos bióticos, abióticos y socioeconómicos

Como un ejercicio de síntesis, a continuación, se consolida el inventario de impactos, identificados en las investigaciones abordadas y generados por la construcción y operación de las hidroeléctricas en Colombia [Tabla 1].

Tabla 1. Inventario de impactos generados por las hidroeléctricas en Colombia

Bióticos			Abióticos (físicos)			Socioeconómicos		
Positivos								
Nombre	Hidroeléctrica	Fuente	Nombre	Hidroeléctrica	Fuente	Nombre	Hidroeléctrica	Fuente
			Mejoramiento de la calidad del agua del embalse	Porce II	Buenaventura y Vélez (2003)	Crecimiento poblacional de la zona	Urrá I, San Carlos, Calderas, Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce	Restrepo (2011), Vivi-escas-Santana (2014)
			Mejoramiento de la calidad del agua del río aguas abajo del embalse	Porce II, Urrá I	Buenaventura y Vélez (2003), Wilches et al. (2020)	Aumento de los ingresos de las entidades territoriales por transferencias	San Carlos, Calderas, Porce III, Urrá I	Quintero (2007), Muñoz (2019), Leguizamón (2015)
			Disminución de las inundaciones aguas abajo del embalse	Urrá I, Neusa, Sisga, Chisacá-La Regadera, Salvajina	Madera (2014), Barriga (2019), Ramírez et al. (2010)	Aumento de obras de infraestructura (carreteras, puentes y escuelas, entre otros)	San Carlos, Calderas, Urrá I, Ituango	Quintero (2007), Restrepo (2011), Úsuga (2014)
			Incremento en la disponibilidad de agua para riego de cultivos	Neusa, Sisga, Chisacá-La Regadera, Muña, El Cercado	Barriga (2019), Fumene (2017), Carmona & Puerta (2020)	Incremento de la actividad económica piscícola	Betania, Quimbo	Muñoz (2018), Ramírez y Muñoz (2020)
			Incremento en la disponibilidad de agua para consumo humano	Neusa, Sisga, Chisacá-La Regadera, Chuza, El Cercado	Barriga (2019), Carmona & Puerta (2020)	Aumento generalizado de los salarios en la zona	Urrá I	Bustamante (2008), Leguizamón (2015)
						Aumento de la inmigración de personas hacia la zona de influencia	Urrá I, Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce IV, San Carlos	Bustamante (2008), Vivi-escas-Santana (2014), Úsuga (2014), Aristizábal (2020)
						Aumento del empleo temporal en el proyecto	Urrá I, Ituango, Sogamoso, Porce III	Bustamante (2008), Úsuga (2014), Arias et al. (2016), Urueña y Sánchez (2016), Muñoz (2019), Jiménez et al. (2020), Leguizamón (2015)
						Aumento del empleo estable	Guavio, Tominé, El Hato	Barriga (2019), Arias y Bello (2017)



						Incremento de expectativas sobre beneficios del proyecto	Ituango	Úsuga (2014)
						Incremento de actividades económicas asociadas al turismo	Ituango, Betania, Tominé, Guavio, El Hato, Chivor	Úsuga (2014), Muñoz (2018), Barriga (2019), Arias y Bello (2017), Roa et al. (2019)
						Aumento de empresas prestadoras de servicios de transporte	Urrá I	Madera (2014)
						Incremento del precio de la tierra	Guavio	Barriga (2019)
						Aparición de nuevos estilos de vida	San Carlos, Calderas, Urrá I	Restrepo (2011)
						Aumento en la generación de energía eléctrica	Ituango, Muña, Chivor, El Cercado	Úsuga (2014), Funeme (2017), Roa et al. (2019), Carmona & Puerta (2020)
						Incremento en los niveles de organización social – asociaciones	Urrá I, Sogamoso	Madera (2014), Duarte-Abadía et al. (2015)
Bióticos			Abióticos (físicos)			Socioeconómicos		
Negativos								
Nombre	Hidroeléctrica	Fuente	Nombre	Hidroeléctrica	Fuente	Nombre	Hidroeléctrica	Fuente
Disminución de la biodiversidad	Urrá I, Sogamoso, Quimbo, Ituango, Betania, Porce IV, Chivor	Asproci (2002), Ardila (2014), Viviescas-Santana (2014), Úsuga (2014), Carvajal-Quintero et al. (2017), Hermosa (2018), Martínez y Suárez (2019), Montaña et al. (2019), Correa (2013), Roa et al. (2019)	Inundación de tierras	Urrá I, San Carlos, Calderas, Sogamoso, Guavio	Bustamante (2008), Restrepo (2011), Ardila (2014), Barriga (2019)	Disminución de los ingresos de las entidades territoriales por transferencias	Calderas, Peñol-Guatapé, Jaguas, Playas, Puchiná	Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015)
Interrupción de los ciclos de reproducción de peces	Quimbo, Betania, Ituango, Sogamoso, Porce IV	Viviescas-Santana (2014), Carvajal-Quintero et al. (2017), Martínez y Suárez (2019)	Deterioro de la calidad del agua del río aguas abajo del embalse	Urrá I, San Carlos, Calderas, Sogamoso, Quimbo	Restrepo (2011), Ardila (2014), Madera (2014), Hermosa (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018)	Aumento del desplazamiento humano	Urrá I, San Carlos, Calderas, Jaguas, Guatapé, Playas, Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce IV, Chivor	Bustamante (2008), Égré & Senécal (2003), Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015), Restrepo (2011), Viviescas-Santana (2014), Arias et al. (2016), Urueña y Sánchez (2016), Montaña et al. (2019), Patiño (2021), Leguizamón (2015), Roa et al. (2019), Correa (2013)
Aumento de la fauna exótica	Ituango, Porce III	Martínez y Suárez (2019), Montaña et al. (2019), Valencia-Rodríguez et al. (2022)	Deterioro de la calidad del agua del embalse	Quimbo, Urrá I	Marrugo-Negrete et al. (2015), Hermosa (2018)	Disminución del empleo agropecuario	Urrá I, Sogamoso, Quimbo, Porce III, San Carlos	Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015), Arias et al. (2016), Urueña y Sánchez (2016), Hermosa (2018), Muñoz (2019), Jiménez, Sánchez y Álvarez (2020), Aristizábal (2020)

Incremento de vectores de enfermedades	Porce II, Porce III	Zuluaga et al. (2012), Jiménez et al. (2020)	Disminución del atractivo paisajístico de la zona	Sogamoso, Betania, Quimbo	Ardila (2014), Muñoz (2018), Ramírez y Muñoz (2020)	Disminución del ingreso agropecuario	Urrá I, Sogamoso, Quimbo, San Carlos	Asprocig (2002), Arias et al. (2016), Urueña y Sánchez (2016), Hermosa (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Aristizábal (2020)
Fragmentación de ecosistemas	Quimbo, Betania, Ituango, Porce IV, Porce III, Sogamoso	Viviecas-Santana (2014), Restrepo-Santamaría et al. (2022), Carvajal-Quintero et al. (2017)	Pérdida de la conectividad del río	Sogamoso, Quimbo, Betania, Ituango, Sogamoso, Porce IV	Ardila (2014), Viviecas-Santana (2014), Carvajal-Quintero et al. (2017), Hermosa (2018)	Disminución del área de actividades económicas agropecuarias	Urrá I, Sogamoso, Quimbo, Porce III, Ituango, Chivor	Asprocig (2002), Madera (2014), Arias et al. (2016), Urueña y Sánchez (2016), Hermosa (2018), Muñoz (2019), Martínez y Suárez (2019), Montaña et al. (2019), Jiménez et al. (2020), Roa et al. (2019), Correa (2013)
Incremento del riesgo de extinción de especies nativas	Quimbo, Betania	Carvajal-Quintero et al. (2017)	Aumento de la contaminación del aire	Sogamoso, Guavio, Quimbo, Troneras, Urrá I	Ardila (2014), Mayor (2016), Gómez et al. (2020), Rodríguez & Peñuela (2022)	Disminución de sitios de pesca	Urrá I, Quimbo	Bustamante (2008), Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015), Hermosa (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Leguizamón (2015)
Aumento de cianobacterias de alta toxicidad en los embalses	Riogrande II	Arismendi-González et al. (2021)	Alteración del microclima de la zona	Sogamoso, Peñol-Guatapé, Salvajina, Chivor, Porce III	Ardila (2014), Cerón et al. (2021), Marín (2018), Sailor & Rosen (1998), Álvarez y Avellaneda (2015), Ramírez et al. (2010), Jiménez et al. (2020), Roa et al. (2019)	Incremento de la violencia contra la población civil	Calderas, Jaguas, Guatapé, Playas, San Carlos	Aristizábal (2020), Patiño (2021)
Aumento de la mortalidad fauna acuática nativa	Porce III	Restrepo-Santamaría et al. (2022), Valencia-Rodríguez et al. (2022)	Disminución del caudal del río aguas abajo del embalse	Urrá I, Quimbo, Betania, Sogamoso, Ituango	Vélez et al. (2006), Vélez (2009), Leguizamón (2015), Angarita et al. (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Martínez y Suárez (2019)	Aumento de la pobreza de la población reasentada	San Carlos	Aristizábal (2020)
Aumento de la mortalidad de flora acuática nativa	Porce III	Restrepo-Santamaría et al. (2022)	Incremento de las inundaciones aguas abajo del embalse	Betania	Peña y Sánchez (2016)	Disminución del recurso pesquero	Urrá I, Sogamoso, Quimbo, Ituango	Asprocig (2002), Ardila (2014), Madera (2014), Hermosa (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Martínez y Suárez (2019)
Aumento del desplazamiento de fauna terrestre	Porce III	Jiménez et al. (2020)	Disminución de la sedimentación del río aguas abajo del embalse	Ituango	Martínez y Suárez (2019)	Pérdida de prácticas culturales	Urrá I, Calderas, San Carlos, Sogamoso, Quimbo	Bustamante (2008), Restrepo (2011), Arias et al. (2016), Urueña y Sánchez (2016), Hermosa (2018), Montaña et al. (2019)



			Incremento de la erosión aguas abajo del embalse	Ituango, Porce III, Chivor	Martínez y Suárez (2019), Jiménez et al. (2020), Roa et al. (2019), Correa (2013)	Pérdida de espacios de interacción social y comunitario	Sogamoso, Quimbo, Guavio	Arias et al. (2016), Urueña y Sánchez (2016), Hermosa (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Montaña et al. (2019), Barriaga (2019)
			Aumento de la inestabilidad geológica	Ituango	Martínez y Suárez (2019)	Aumento del costo de vida	Urrá I, Calderas, San Carlos	Bustamante (2008), Restrepo (2011), Leguizamón (2015)
			Aumento en la generación de malos olores	Muña	Fumene (2017)	Disminución del área de tierras fértiles	Urrá I, Sogamoso, Guavio	Bustamante (2008), Ardila (2014), Barriaga (2019)
			Disminución del área de cobertura vegetal	Urrá I, San Carlos, Calderas, Quimbo, Betania, Ituango, Sogamoso, Porce IV, Ituango, Porce III	Restrepo (2011), Viviescas-Santana (2014), Úsuga (2014), Muñoz (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Montaña et al. (2019), Ramírez y Muñoz (2020), Jiménez et al. (2020)	Aumento de emigración de la población local a otras regiones	Urrá I, Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce IV, San Carlos, Chivor	Bustamante (2008), Viviescas-Santana (2014), Madera (2014), Arias et al. (2016), Urueña y Sánchez (2016), Aristizábal (2020), Leguizamón (2015), Roa et al. (2019), Correa (2013)
			Incremento en la acumulación de metales pesados en el embalse	Urrá I, Muña	Feria et al. (2010), Marrugo-Negrete et al. (2015), Lizarazo et al. (2020), Sarmiento et al. (1999)	Aumento de la presión sobre el empleo local	Urrá I, Ituango	Bustamante (2008), Úsuga (2014)
			Desaparición de corredores de acceso a los ríos	El Cercado, Sogamoso	Carmona & Puerta (2020), Ardila (2014)	Incremento del descontento social	Ituango	Torres (2013)
						Disminución de actividades económicas tradicionales – minería	Ituango, Porce III	Torres (2013), Muñoz (2019)
						Disminución de minifundios	Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce IV, Guatapé, Calderas, San Carlos, Jaguas, Playas	Viviescas-Santana (2014), Hermosa (2018), Patiño (2021)
						Incremento de la inseguridad y criminalidad	Ituango	Úsuga (2014)
						Incremento de los embarazos en adolescentes	Ituango	Úsuga (2014)
						Incremento de fenómenos de la drogadicción y alcoholismo	Ituango	Úsuga (2014)



						Aumento de la prostitución	Ituango	Úsuga (2014)
						Incremento del flujo vehicular en la zona urbana y rural	Ituango	Úsuga (2014)
						Incremento de la accidentalidad vial en la zona urbana y rural	Ituango	Úsuga (2014)
						Incremento de enfermedades de origen hídrico	Quimbo, Muña	Gutiérrez y Pinzón (2018), Fumene (2017)
						Aumento de hacinamiento	San Carlos, Calderas, Urrá I	Restrepo (2011)
						Incremento en el abandono de actividades agropecuarias tradicionales	Ituango, Urrá I	Égré & Senécal (2003), Torres (2013)
						Disminución de obras de infraestructura (carreteras, puentes y escuelas, entre otros)	Guavio	Barriga (2019)
						Aumento de los conflictos dentro de la comunidad	Urrá I, Quimbo, Sogamoso	Égré & Senécal (2003), Hermosa (2018), Duarte-Abadía et al. (2015)

Fuente. Autores

4. DISCUSIÓN

En el estudio realizado se identificaron, en total, setenta y seis [76] impactos ambientales generados por las hidroeléctricas en Colombia, registrados en literatura especializada y literatura gris. Se puede apreciar que, comparativamente, existe una mayor cantidad de impactos negativos identificados que positivos. En efecto, se clasificaron veinte [20] impactos como positivos, mientras cincuenta y seis [56] fueron calificados como negativos. Los impactos positivos se concentraron en el ámbito socioeconómico, representando el 75 % de los impactos positivos determinados, el otro 25 % se ubicó en el ambi-

to abiótico o físico, y el aspecto biótico no registró impactos positivos. Frente a este último fenómeno, se advierte que los estudios que se realizan en el plano biológico son especialmente críticos frente a la construcción de represas, debido a la inundación de grandes extensiones de tierra para construcción de los embalses, acarreando consecuencias como la destrucción de ecosistemas nativos, la fragmentación de los ríos y las grandes modificaciones de las cadenas tróficas.

Se puede inferir que el mayor volumen de impactos negativos está directamen-



te relacionado con el número de estudios seleccionados que tenían como objetivo la identificación y valoración de las afectaciones negativas generadas por las hidroeléctricas; en otras palabras, hay más impactos negativos identificados porque fue mayor el número de documentos que los expusieron. En contraste, los documentos que evidenciaron impactos positivos fueron escasos, ya que se reconocen transformaciones positivas como efectos residuales; es decir, los impactos positivos pocas veces fueron el objetivo central de los estudios. En la clasificación de impactos que se realizó, de acuerdo con los ámbitos establecidos por la normatividad nacional, diez [10] correspondieron al ámbito biótico; veintidós [22], al abiótico; y cuarenta y cuatro [44] al socioeconómico. Dentro de los bióticos, la totalidad de los impactos se categorizaron como negativos; en los abióticos, cinco [05] fueron positivos y diecisiete (17) negativos; y en los socioeconómicos, quince [15] fueron positivos y veintiocho [28] negativos.

La frecuencia de aparición de los impactos se midió reportando su presencia en los diferentes embalses analizados. Los impactos abióticos positivos de mayor frecuencia fueron el *incremento en la disponibilidad de agua para riego de cultivos*, presente en seis [6] embalses; seguido de la *disminución de las inundaciones aguas abajo del embalse* y el *incremento en la disponibilidad de agua para consumo humano*, ambos con reporte en cinco [5] embalses. Asimismo, en los impactos socioeconómicos positivos sobresalen el *crecimiento poblacional de la zona*, con

siete [7] embalses; seguido del *aumento de la inmigración de personas hacia la zona de influencia* y el *incremento de actividades económicas asociadas al turismo*, con seis [6] cada uno. De otra parte, dentro de los impactos bióticos negativos sobresale la *disminución de la biodiversidad*, presente en ocho [8] casos; seguido de la *fragmentación de ecosistemas* con seis (6) y la *interrupción de los ciclos de reproducción de peces* con cinco (5). En los impactos abióticos negativos sobresale la *disminución del área de cobertura vegetal*, presente en diez [10] represas, seguido de la *pérdida de la conectividad del río* con seis [6]. En cinco [5] casos se registraron: la *inundación de tierras*, el *deterioro de la calidad del agua del río aguas abajo del embalse*, el *aumento de la contaminación del aire*, la *alteración del microclima de la zona* y la *disminución del caudal del río aguas abajo del embalse*. Los impactos socioeconómicos, registrados con mayor frecuencia, fueron el *aumento del desplazamiento humano* registrado en once [11] represas, seguido de la *disminución de minifundios* en nueve [9] y el *aumento de emigración de la población local a otras regiones* en siete [7]

Las hidroeléctricas en la que se enfocaron la mayor cantidad de estudios fueron las ubicadas en el departamento de Antioquia, posiblemente por el número significativo de hidroeléctricas que concentra, en comparación con otros departamentos. Sin embargo, a nivel individual es probable que la hidroeléctrica Urrá I, ubicada en el departamento de Córdoba, sea la que más ha despertado el interés de la academia, probablemente por las problemáticas

y polémicas suscitadas. Existen otros casos como la hidroeléctrica de Betania [Huila], Salvajina [Cauca] y Prado [Tolima] que tienen un bajo nivel de estudio o la hidroeléctrica de Calima [Valle del Cauca] que no reportaron en la presente investigación ningún documento de estudio.

Se debe advertir que se encontraron un mayor número de documentos correspondientes a la literatura gris, frente a la literatura científica, con una notable cantidad de investigaciones de trabajos de pregrado, seguidas de las investigaciones a nivel de maestrías y muy pocas a nivel de doctorado. Los artículos de investigación, alojados en la base de datos Scopus, fueron escasos [cerca de 30 artículos] en comparación con los encontrados para otros países, como China y Brasil, con una mayor experiencia en el análisis de este tipo de fenómenos. Por su parte, la aparición de la mayoría de los documentos analizados se puede ubicar dentro de la década 2013-2022 [Figura 2], denotando un interés reciente y creciente de la academia por el estudio de las hidroeléctricas, en lo relacionado con las consecuencias generadas por su construcción y operación. Al respecto, hay dos tendencias fuertes en los estudios: el interés por el estudio

de hidroeléctricas que entraron en operación durante las dos últimas décadas o próximas a entrar en operación, con un alto grado de problemática social, como Urrá I [2000], Porce III [2011], Sogamoso [2014], Quimbo [2015] e Ituangó; y las hidroeléctricas de vieja data como Chivor [1982], San Carlos [1984], Betania [1987] y Guavio [1992], entre otras. No obstante, contrastado con la fecha de aparición de los estudios, es mayor el interés investigativo sobre las hidroeléctricas más recientes, soportado en la vigencia de los impactos aún presentes y manifiestos en el entorno.

Finalmente, con base en los impactos identificados y clasificados en el presente estudio, es posible afirmar [de manera preliminar] que múltiples impactos son comunes a los ocasionados por represas en otros países. Así, hay coincidencia en impactos negativos como el desplazamiento masivo de personas, la pérdida de áreas de tierra con vocación agropecuaria y la inundación de tierras, entre otros. De igual manera, se hallaron impactos positivos comunes como el suministro de agua para el consumo humano, las actividades agropecuarias y el control de las inundaciones, entre otros (Andrade y Olaya, 2021).

5. CONCLUSIONES

Las afectaciones ambientales generadas por las hidroeléctricas en Colombia fueron identificadas y clasificadas durante la revisión y análisis de las

múltiples fuentes documentales, en los que se estableció que existe predominancia de los impactos negativos sobre los positivos para el caso colombiano.



Asimismo, se advierte que el ámbito socioeconómico tiene un mayor volumen de impactos reconocidos. De igual manera, se aprecia una mayor cantidad de documentos extraídos de la literatu-

ra gris sobre la literatura especializada; lo que podría evidenciar un campo de conocimiento incipiente aún, dada la cantidad de estudios y la rigurosidad científica exhibida.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Juan Manuel Andrade Navia: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura [borrador original], revisión y edición.

Alfredo Olaya Amaya: metodología, investigación, análisis de datos y escritura [borrador original].

AGRADECIMIENTOS

Al programa de Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible de la Universidad Surcolombiana.

LITERATURA CITADA

Agencia Internacional de la Energía [AIE]. (2022). *Producción de electricidad a partir de fuentes hidroeléctricas (% del total)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.HYRO.ZS?end=2015&start=2000>

Agencia Internacional de la Energía [AIE]. (2016). *Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)*. <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.U-SE.ELEC.KH.PC>

Álvarez, R. y Avellaneda, M. I. (2015). *Identificación de impactos en el sector agrícola y en la energía disponible de central hidroeléctrica AES Chivor, asociados*

a la variación en el mesoclima producto de la formación antrópica de la lámina de agua del embalse La Esmeralda [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.la-salle.edu.co/ing_civil/40/

Andrade, J. M. y Olaya, A. (2021). Impactos económicos, sociales y ambientales generados por las grandes hidroeléctricas. Una revisión. *Interciencia*, 46(1), 19-25. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33965751003>

Angarita, H., Wickel, A. J., Sieber, J., Chavarro, J., Maldonado-Ocampo, J. A., Herrera, G., Delgado, J. & Purkey, D.

- (2018). Basin-scale impacts of hydro-power development on the Mompós Depression wetlands, Colombia. *Hydrology Earth System Sciences*, 22, 2839–2865. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2839-2018>
- Ardila, N. (2014). *Como el agua entre los dedos. Estudio de los impactos de un proyecto hidroeléctrico, y de las frágiles y débiles acciones colectivos en la defensa de un río: Caso Hidrosogamoso* [Tesis de maestría, Universidad del Rosario]. E-docUR. https://doi.org/10.48713/10336_4961
- Arias, L. M., Duque, A., Meneses, S. y Ramírez, J. E. (2016). *Estrategias de mitigación de impactos ambientales implementadas en el proyecto hidroeléctrico de Sogamoso* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Javeriana.
- Arias, J. A. y Bello, D. (2017). *Propuesta de actividades ecoturísticas para el parque El Hato entre Ubaté y Carmen de Carupa Cundinamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Agustiniana]. Repositorio Dspace. <http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl:8081/handle/123456789/1604976>
- Arismendi-González, L., Sepúlveda-Sánchez, M., Arboleda-Baena, C. M., Palacio-Betancur, H., Ramos, E., Muskus-López, C. E., Pohlón, E., Molina, M. E., Betancur, J. y Palacio, J. (2021). Evidence for toxic cyanobacteria in sediments and the water-sediment interface of a tropical drinking water reservoir. *Limnologica*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2021.125924>
- Aristizábal, I. M. (2020). *Transformaciones en la economía campesina: el caso de la hidroeléctrica San Carlos en Antioquia* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.51037>
- Asociación de Productores para el Desarrollo Comunitario de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú [Asprocig]. (2002). Urra I: más que energía un proyecto alienador [Conferencia]. *II Panel Internacional: Energía para Sociedades Sustentables*, Bogotá, Colombia.
- Barriga, J. A. (2019). *Evaluación de la calidad hídrica e impactos socioambientales de los embalses de Cundinamarca, Colombia* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/46757>
- Buenaventura, N. S., y Vélez, C. P. (2003). *Evaluación de la calidad del agua del Río Porce, teniendo en cuenta el aporte de aguas contaminadas de la ciudad de Medellín y la operación del proyecto hidroeléctrico Porce II* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1683/
- Bustamante, C. A. (2008). *Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse* [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre]. Repositorio digital. <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/292>



- Carmona, S. & Puerta, C. (2020). How do environmental impact assessments fail to prevent social conflict? Government technologies in a dam project in Colombia. *Journal of Political Ecology*, 20(1), 1072-1091. <https://doi.org/10.2458/v27i1.23223>
- Carvajal-Quintero, J. D., Januchowski-Hartley, S. R., Maldonado-Ocampo, J. A., Jézéquel, C., Delgado, J. & Tedesco, P. A. (2017). Damming Fragments Species' Ranges and Heightens Extinction Risk. *Conservation Letters*, 10(6), 708-716. <https://doi.org/10.1111/conl.12336>
- Cerón, W. L., Kayano, M. T., Ocampo-Marulanda, C., Canchala, T., Rivera, I. A., Avila-Diaz, A., Andreoli, R. V. & Parente, I. (2021). Spatio-Temporal Variability of Hydroclimatology in the Upper Cauca River Basin in Southwestern Colombia: Pre- and Post-Salvajina Dam Perspective. *Atmosphere*, 12(11), 1527. <https://doi.org/10.3390/atmos12111527>
- Comisión Internacional de Grandes Represas [ICOLD]. (2017). *Definition of large dam*. http://www.icold-cigb.net/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp
- Comisión Mundial de Represas [CMR] (2000). *Dams and Development: A New Framework for Decision-making*. Routledge
- Correa, M. Y. (2013). *La conquista hidrosocial del Valle de Tenza (Boyacá-Colombia): El paisaje hídrico de la región en el marco de la planeación y construcción de la represa del Chivor 1940-2010* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21557>
- Dopico, E., Arbolea, E., Fernández, S., Borrell, Y., Consuegra, S., García, C., Lázaro, G., Rodríguez, C. & García-Vázquez, E. (2022). Water security determines social attitudes about dams and reservoirs in South Europe. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10170-7>
- Duarte-Abadía, B., Boelens, R. & Roa-Avendaño, T. (2015). Hydropower, Encroachment and the Re-patterning of Hydrosocial Territory: The Case of Hidrosogamoso in Colombia. *Human Organization*, 74(3), 243-254. <https://doi.org/10.17730/0018-7259-74.3.243>
- Égré, D. & Senécal, P. (2003). Social impact assessments of large dams throughout the world: lessons learned over two decades. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 21(3), 215-224. <https://doi.org/10.3152/147154603781766310>
- Ember. (2022). *Global Electricity Review 2022*. https://ember-climate.org/app/uploads/2022/03/SP_Report-GER22.pdf
- Feria, J. J., Marrugo, J. L. & González, H. (2010). Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia, South America. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 55, 35-44. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n55/n55a04.pdf>
- Funeme, C. N. (2017). *Análisis de la calidad del agua del embalse de Muña para*

- su posible tratamiento [Tesis de pregrado, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”], Repositorio Institucional. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6660>
- Gómez, I. N., Vélez, F., y Peñuela, G. A. (2020). Application of multivariate methods and geostatistics to model the relationship between CO₂ emissions and physicochemical variables in the Hidrosogamoso reservoir, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, 1-13. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X1717>
- Grigg, N. S. (2019). Global water infrastructure: state of the art review. *International Journal of Water Resources Development*, 35(2), 181–205. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1401919>
- Gutiérrez, B. C. y Pinzón, E. A. (2018). *Prácticas de resistencias de los pescadores artesanales del Hobo en respuesta a las transformaciones territoriales por la hidroeléctrica “El Quimbo”* [Tesis de maestría, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio institucional. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/7844>
- Harper, M., Rytwinski, T., Taylor, J. J., Bennett, J. R., Smokorowski, K. E., y Cooke, S. J. (2020). How do changes in flow magnitude due to hydroelectric power production affect fish abundance and diversity in temperate regions? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 9, 14. <https://doi.org/10.1186/s13750-020-00198-5>
- Hermosa, J. A. (2018). *Impacto socioeconómico del proyecto “represa hidroeléctrica el Quimbo”. Una mirada desde la comunidad del municipio de Gigante, departamento del Huila* [Tesis de maestría, Universidad de Manizales]. Ridum. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4079>
- Jiménez, R. D., Sánchez, J. y Álvarez, L. (2020). *Análisis de la percepción de los impactos socio ambientales generados por el proyecto hidroeléctrico Porce III* [Tesis de pregrado, Tecnológico de Antioquia]. Repositorio Digital. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1451?show=full>
- Keppeler, F. W., Andrade, M. C., Trindade, P. A. A., Sousa, L. M., Arantes, C. C., Winemiller, Q. O., Jensen, O. P. & Giarrizzo, T. (2022). Early impacts of the largest Amazonian hydropower project on fish communities. *Science of The Total Environment*, 838(2) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155951>
- Leguizamón, Y. R. (2015). Conflictos ambientales y movimientos sociales: el caso del movimiento embera katío en respuesta a la construcción de la represa Urrá (1994-2008). *Memoria y Sociedad*, 19(39), 94-105. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.mys19-39.cams>
- Lizarazo, M. F., Herrera, C. D., Celis, C. A., Pombo, L. M., Teherán, A. A., Piñeros, L. G., Forero, S. P., Velandia, J. R., Díaz, F. E., Andrade, W. A. & Rodríguez, O. E. (2020). Contamination of staple crops by heavy metals in Sibaté,



- Colombia. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04212>
- Lu, S., Dai, W., Tang, Y. & Guo, M. A. (2020). A review of the impact of hydropower reservoirs on global climate change. *Science of The Total Environment*, 711. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134996>
- Madera, E. L. (2014). *Deshaciendo el encanto: impactos de la represa de Urrá I sobre tres comunidades de la Ciénaga Grande de Lorica*. [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Séneca. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/12658>
- Marín, D. A. (2018). *La influencia del embalse el peñol Guatapé, Antioquia en los patrones climáticos y meteorológicos a escala local y regional* [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3258>
- Marrugo-Negrete, J., Navarro-Frómeta, A. & Ruiz-Guzmán, J. (2015). Total mercury concentrations in fish from Urrá reservoir (Sinú river, Colombia). Six years of monitoring. *Revista MVZ Córdoba*, 20(3), 4754-4765.
- Martínez, A. C., y Suarez, J. K. (2019). *Valoración económica de los impactos ambientales generados por la sedimentación aguas abajo del embalse de la central hidroeléctrica Ituango, ubicada en el departamento de Antioquia* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Craiusta. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16571?show=full>
- Mayor, F. (2016). *Estimación de la emisión histórica de gases de efecto invernadero por embalses hidroeléctricos en Colombia y su potencial impacto en el factor de emisión de la generación eléctrica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58910>
- Ministerio del Medioambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Decreto 1076 de 2015, 26 de mayo. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>
- Montaño, A. D., Reina, D. A. y Rodríguez, D. M. (2019). Crisis social y ambiental a causa del proyecto hidroeléctrico Ituango. *Boletín Semillas Ambientales*, 13(1), 75– 81.
- Muñoz, L. A. (2018). *Influencia del sector hidroeléctrico en el desarrollo sostenible del territorio huilense* [Tesis doctoral, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional, Colombia.
- Muñoz, G. A. (2019). El estudio de impacto ambiental como elemento de construcción de realidad. El caso de la central hidroeléctrica Porce III. *Territorios*, 41, 223-243. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.6535>
- Nickerson, S., Chen, G., Fearnside, P. M., Allan, C. J., Hu, T., de Carvalho, L. M. T. & Zhao, K. (2022). Forest loss is significantly higher near clustered small dams than single large dams per megawatt of hydroelectricity installed in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 17(8), 084026. <https://doi.org/10.1088/1755-9706/abf000>

- [tps://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8236](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8236)
- Organización Internacional de Normalización ([ISO], 2015). *Norma Internacional ISO 14001: 2015. Sistemas de Gestión Ambiental – Requisitos con orientación para su uso. Traducción certificada*. https://sigi.sic.gov.co/SIGI/files/mod_documentos/anexos/886/NORMA%20ISO%2014001.2015.pdf
- Patiño, I. (2021). Repression and dispossession in the implementation of the Eastern Antioquia hydroelectrical complex. *Analecta Política*, 11(21), 315-332. <http://dx.doi.org/10.18566/apolit.v11n21.a07>
- Peña, G. A. y Sánchez, L. M. (2016). *Determinación de las afectaciones por inundaciones aguas abajo de la represa de Betania a partir de 1987 mediante la implementación de indicadores de seguimiento* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Riud. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3800>
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*, 22(2), 283-312. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001
- Quintero, J. A. (2007). Efectos de las políticas públicas del sector eléctrico en la participación de las organizaciones comunitarias del Oriente Antioqueño - estudio de caso - Asociación Campesina del Oriente Antioqueño – ACOA. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 58(1), 101-127. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11705806>
- Ramírez, D. & Muñoz, L. A. (2020). Hydroelectric centrals' impact on territorial sustainability: analysis in southern Colombia. *Miscellanea Geographica – Regional Studies on Development*, 24(2), 73-84. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2020-0010>
- Ramírez, C., Santacruz, S., Bocanegra, R.A. y Sandoval, M. C. (2010). Incidencia del embalse de Salvajina sobre el régimen de caudales del río Cauca en su valle alto. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 9(1) 89-99. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434011>
- Restrepo, G. I. (2011). El Oriente Antioqueño: movilización social a pesar de la violencia. En D. R. Peñaranda (Ed.). *Contra viento y marea: acciones colectivas de alto riesgo en las zonas rurales colombianas 1985-2005*. La Carreta Editores.
- Restrepo-Santamaría, D., Valencia-Rodríguez, D., Galeano, A. F., Herrera, J. y Jiménez-Segura, L. (2022). Rescate de peces aguas abajo de la presa Porce III (Colombia) para reducir su mortalidad. *Biota Colombiana*, 23(2), <https://doi.org/10.21068/2539200X.1030>
- Ríos-Ocampo, J. P. y Vélez-Gómez, L. D. (2015). Efectos fiscales de los asentamientos hidroeléctricos: el caso de la cuenca de los ríos Negro y Nare en Colombia. *Semestre Económico*, 18(38), 137-160. <https://doi.org/10.22395/seec.v18n38a5>



- Roa, C., Orjuela, J. K. y Cerquera, A. F. (2019). Central hidroeléctrica de Chivor y su impacto socioeconómico en el Valle de Tenza. *Territorio y Desarrollo*, 3(1), 20-26.
- Rodríguez, D. C. & Peñuela, G. A. (2022). Estimation of greenhouse gas emissions of a tropical reservoir in Colombia. *Journal of Water & Climate Change*, 13(2), 872-888. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.330>
- Sailor, D. J. & Rosen, J. N. (1998). Modeling Regional Climate Impacts of a Proposed Hydroelectric Project [Conference]. *ASME 1998 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Anaheim, Estados Unidos. <https://doi.org/10.1115/IMECE1998-0669>
- Sarmiento, M. I., Idrovo, A. J., Restrepo, M., Díaz, M. P. y González, A. (1999). Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del Muña sobre la salud humana. *Revista de Salud Pública*, 1(2), 159-171. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/18950>
- Torres, M. A. (2013). *Análisis de nuevas dinámicas territoriales por proyectos de infraestructura y su influencia en la generación de conflictos socio ambientales. Caso de estudio: Hidroituango* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/47235>
- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME] (2020). *Smart Grids Colombia: Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia*. <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Smart-Grids-Colombia-Visi%C3%B3n-2030.aspx>
- Urueña, Z. L., y Sánchez, A. J. (2016). *Formulación de estrategias socioambientales con criterios bioéticos para la sostenibilidad de la central hidroeléctrica Sogamoso, ubicada en el departamento de Santander, Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Riud. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3323>
- Urrutia, G. y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Úsuga, E. (2014). *Impactos sociales y económicos de la hidroeléctrica en Ituango* [Tesis de pregrado, Universidad de Medellín]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11407/1198>
- Valencia-Rodríguez, D., Herrera-Pérez, J., Restrepo-Santamaría, D., Galeano, A., Winton, R. S. & Jiménez-Segura, L. (2022). Fish community turnover in a dammed Andean River over time. *Neotropical Ichthyology*, 20(1). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0091>
- Vélez, A. J. (2009). *Propuesta metodológica para la evaluación y cuantificación de la alteración del régimen de caudales de corrientes alteradas antrópicamente, caso Urrá I* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio

- institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70125>
- Vélez, A. J., Correa, P. L., Barrientos, A. E., Gómez, J. D., Vélez, J. I. y Smith, R. A. (2006). Impactos del Proyecto Hidroeléctrico Urrá I Sobre la Dinámica Hídrica del Complejo Lagunar del Bajo Sinú [Conferencia]. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.
- Viviescas-Santana, M. A. (2014). *Caracterización de Impactos Ambientales y Sociales generados por la construcción de grandes centrales hidroeléctricas en el país* [Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <https://repositorio.unimilitar.edu.co/handle/10654/12036>
- Wathern, P. (1988). An Introductory Guide to EIA. En Clark et al. (eds.), *Perspectives on Environmental Impact Assessment*, Dordrecht, Reidel Publ., pp. 213-232.
- Wilches, F. J., Feria, J. J. & Hernández, J. (2020). Physicochemical Characterization of the Waters of the Sinú River, Downstream of the Urrá Reservoir, North of Colombia. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(10), 2909-2914. <https://dx.doi.org/10.37624/IJERT/13.10.2020.2909-2914>
- Yang, R., Wu, S., Wu, X., Ptak, M., Li, X., Sojka, M., Graf, R., Dai, J. & Zhu, S. (2022). Quantifying the impacts of climate variation, damming, and flow regulation on river thermal dynamics: a case study of the Włocławek Reservoir in the Vistula River, Poland. *Environmental Sciences Europe*, 34, 3. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00583-y>
- Zamora, D., Rodríguez, E. & Jaramillo, F. (2020). Hydroclimatic Effects of a Hydropower Reservoir in a Tropical Hydrological Basin. *Sustainability*, 12(17), 6795. <https://doi.org/10.3390/su12176795>
- Zuluaga, W. A., López, L. Y., Osorio, L., Salazar, L. F., González, M. C., Ríos, C. M., Wolff, M. I., y Escobar, J. P. (2012). Vigilancia de insectos de importancia en salud pública durante la construcción de los proyectos hidroeléctricos Porce II y Porce III, Antioquia, Colombia, 1990-2009. *Biomédica*, 32(3), 321-32. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v32i3.668>

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 recibido: 28/08/2022
Fecha aceptado: 19/12/2022
DOI: 10.22490/21456453.6149

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN ACEITES ESENCIALES Y PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES: UNA REVISIÓN DE ASPECTOS METODOLÓGICOS

LIFE CYCLE ASSESSMENT IN ESSENTIAL OILS AND AGROINDUSTRIAL PRODUCTS: A REVIEW OF ITS METHODOLOGICAL ASPECTS

Nicolás Andrés Mantilla ¹
Julián Ernesto Jaramillo ²
Juan David Villegas ³

¹ Ingeniero mecánico. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

² Doctor en Ingeniería Térmica. Universidad Politécnica de Cataluña, España.

³ Doctor en Ciencias Ambientales. Escuela Politécnica Federal de Lausana, Suiza.

¹nicolas2218052@correo.uis.edu.co

²jejarami@uis.edu.co

³juand.villegas@sis-group.biz

Citación: Mantilla, N., Jaramillo, J. y Villegas, J. (2023). Análisis de ciclo de vida en aceites esenciales y productos agroindustriales: una revisión de aspectos metodológicos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 251 - 276.
<https://doi.org/10.22490/21456453.6149>

RESUMEN

Contextualización: el Análisis de Ciclo de Vida [ACV] constituye una herramienta útil para evaluar impactos potenciales ambientales de un producto. Dado el creciente interés en la mitigación del cambio climático y en la implementación de prácticas productivas sostenibles, resulta interesante estudiar el perfil ambiental de los productos de origen agrícola, con énfasis especial en los aceites esenciales, para identificar deficiencias en las tecnologías actuales y oportunidades de mejora.

Vacío de conocimiento: la literatura existente sobre líneas de producción de aceites esenciales es bastante limitada, pese a que el estudio de dichos procesos es bastante similar al de otros productos derivados de materia prima agrícola y de los cuales la bibliografía referente a su fabricación es más amplia.

Propósito: revisar los aspectos metodológicos abordados en investigaciones relacionadas con el análisis de ciclo de vida de materias primas agrícolas, haciendo énfasis especial en la producción de aceites esenciales. También se enfatizó en aquellos autores que utili-

zaron enfoques no convencionales y se describieron las razones que los motivaron a ello.

Metodología: Se buscaron y filtraron trabajos investigativos de los últimos 12 años en los que se analizó el ciclo de vida de productos agroindustriales. Los aspectos revisados incluyeron el alcance del análisis, las categorías de impacto, la unidad funcional, las fuentes de información, los métodos de asignación y las herramientas (software y base de datos) usadas.

Resultados y conclusiones: a partir de los aspectos mencionados anteriormente, fue posible identificar tendencias metodológicas como el uso del enfoque de cuna a la puerta, el software SimaPro, la base de datos Ecoinvent y los métodos de asignación másico y económico. Respecto al último método, se encontró que la asignación económica se acentúa más en el caso de los aceites esenciales, debido a las diferencias significativas que existen entre su masa y valor económico.

Palabras clave: agricultura, ciclo de vida, ambiente.

ABSTRACT

Contextualization: Life Cycle Assessment [LCA] is a useful tool for assessing the potential environmental impacts of a product. Due to the growing interest in climate change mitigation and on the

implementation of sustainable practices of production, it is interesting to study the environmental profile of essential oil products and similar products to identi-



fy shortcomings in current technologies and possibilities for improvement.

Knowledge gap: the existing literature about the essential oil production lines is quite limited, although its production is similar to other products derived from agricultural materials, for which the bibliography is more extensive.

Purpose: to review the methodological aspects addressed in research related to life cycle analysis of agricultural feedstocks, with focus on essential oil production. The study was focused on those studies that employed a non-conventional approach describing the reasons for their methodological choices.

Methodology: research papers from the last 12 years, which analysed the life cycle of agro-industrial products, were searched and filtered. The aspects re-

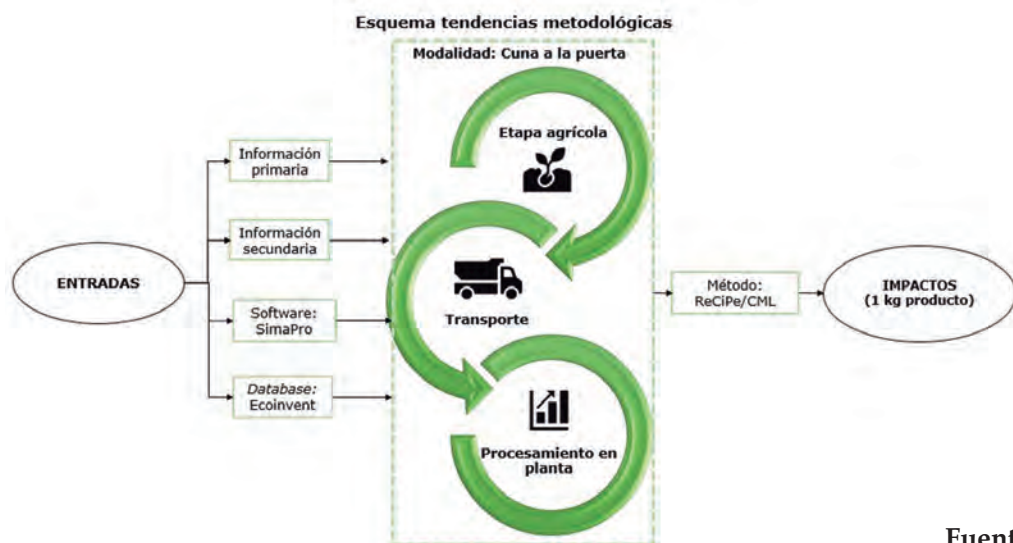
viewed included the scope, the impact categories, the functional unit, the sources of information, the allocation methods, and the tools (software and database) used.

Results and conclusions: using the previous aspects, it was possible to identify methodological trends such as the general use of a cradle-to-gate approach, the use of SimaPro software coupled with the Ecoinvent database, and mass and economic allocation methods. Regarding the last method, it was found that the economic allocation is more accentuated in the case of essential oils, due to the significant differences that exist between their mass and economic value.

Keywords: agriculture, life cycle, environment.

RESUMEN GRÁFICO

El Análisis de Ciclo de Vida es utilizado para evaluar los desempeños ambientales de las líneas de obtención de productos de origen agrícola y aceites esenciales.



Fuente: Autores

En sistemas de este tipo se encontró que resulta recomendable partir con una modalidad de cuna a la puerta, unidad funcional en términos másicos situada

en el producto, métodos ReCiPe o CML las herramientas del software SimaPro y la base de dato Ecoinvent.

1. INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales [AE] son metabolitos secundarios de plantas que se caracterizan por su fragancia [generalmente de composición compleja], son obtenidos a través de destilación con vapor, destilación seca o por algún proceso mecánico sin calor (Consejo de Europa, 2008). En la actualidad, la industria de los AE se destaca por contar con una amplia gama de aplicaciones en diferentes sectores y ramas de la industria como la alimenticia, la farmacéutica, la cosmética y la de productos de aseo (Stashenko, 2009).

Por otro lado, la elaboración de AE también tiene una repercusión en la macroeconomía. Se estima que el valor de mercado de los AE para 2021 ascendió a 17 360 millones de dólares y se espera que alcance los 27 000 millones de dólares para 2022 (Petruzzi, 2022). Debido a esto, y en concordancia con el interés global que existe en la actualidad por la protección ambiental, el desarrollo de la industria de los AE debe ir de la mano de proyectos de investigación y prospección que tengan como objetivo evaluar y establecer las tecnologías más sostenibles en términos económicos y ambientales.

En este contexto, el análisis de ciclo de vida (ACV), como metodología que

permite evaluar los potenciales impactos ambientales de un producto a lo largo de su ciclo de vida (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2007), surge como una herramienta útil para examinar el perfil ambiental de un producto e identificar oportunidades de mejora en él. Por esto se aprecia la necesidad de realizar una revisión de estudios en los que se haya aplicado esta herramienta a la producción de AE, con el fin de reconocer características metodológicas que permitan la identificación de buenas prácticas, en aras de contribuir a futuros estudios que se deseen desarrollar sobre el tema.

No obstante, si se revisa la literatura existente en relación con los análisis de este tipo aplicados a los AE, se verá que los resultados son limitados. Al usar el motor de búsqueda de Scopus con las palabras clave *Life cycle assessment* y *essential oil*, unidos con el operador booleano AND, y filtrar los estudios publicados entre el 2010 y el 2021, se observará un interés apenas naciente en el tema como se ilustra en la Figura 1; teniendo en cuenta que los resultados obtenidos dan cuenta de investigaciones que incluyen las palabras clave y no necesariamente tratan sobre el ACV aplicados a la producción de AE.

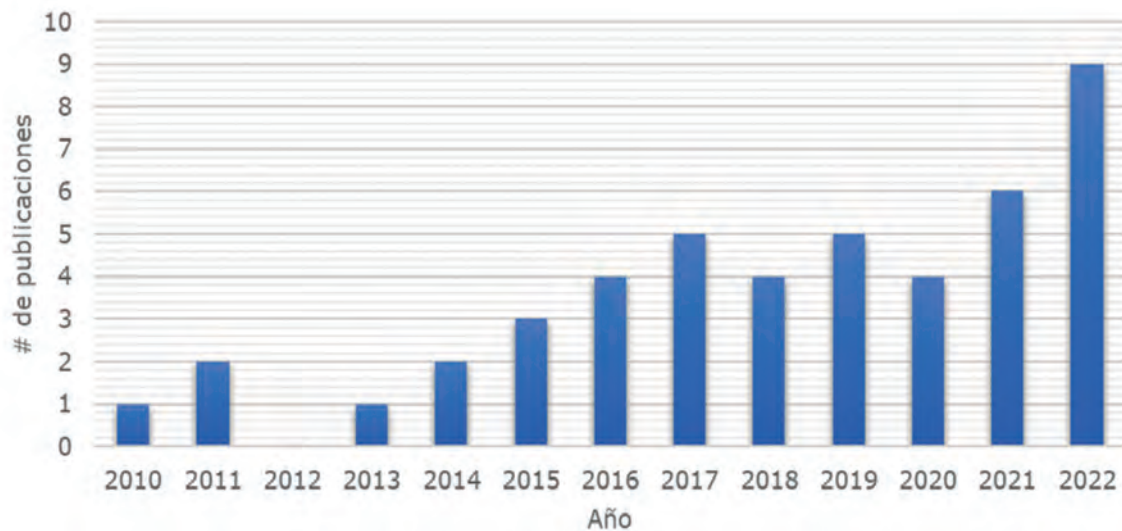


Figura 1. Historial de publicaciones de interés entre 2010-2021. **Fuente de consulta:** Scopus.

Por lo mencionado anteriormente, la ejecución de una revisión enfocada únicamente en el ACV de los AE resultaría poco completa y, probablemente, no sería suficiente para el reconocimiento de tendencias. Por tanto, como parte de la revisión, se propone la inclusión de investigaciones sobre el ACV aplicado a otros tipos productos basados en materia prima agrícola, teniendo en cuenta que la etapa de cultivo es trascendental en lo que a impactos ambientales se refiere debido a, por ejemplo, el uso y manufactura de químicos y pesticidas agrícolas (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], 2019) y al extensivo uso de recursos que implica, por la industrialización de los procesos. Trabajos de revisión de este estilo se han desarrollado antes sobre productos de origen agrícola que son utilizados en la industria energética como es el caso de estudios sobre el bioetanol (Wiloso et al., 2012), biocombustibles basados en biomásas (Osman et al., 2021) y biogás (Hamma et al.,

2019). Pero también se tienen ejemplos de aplicaciones a productos alimenticios como aceites comestibles (Khatri & Jain, 2017), aceite de oliva (Salomone et al., 2010) y otros cultivos (Alhashim et al., 2021). Estos artículos se caracterizan por abarcar casi siempre entre 20 y 50 investigaciones y por concentrarse frecuentemente en estudiar aspectos metodológicos típicos de los ACV como pueden ser la unidad funcional, los límites del sistema del producto y las categorías de impacto consideradas.

En el presente artículo se consideraron un total de 50 investigaciones halladas mediante diferentes motores de búsqueda de documentos académicos, de los cuales 13 analizaron aceites esenciales como productos. A partir de los resultados obtenidos se identificaron tendencias metodológicas comunes, tanto para el caso general de productos basados en materia agrícola como para el particular de AE. Con este fin, primero se describe detalladamente la

metodología adoptada para búsqueda, filtrado y selección de estudios, junto con la presentación de los aspectos que se evaluaron en ellos; luego se presentan, analizan y discuten los resultados

obtenidos para los estos aspectos; y, a modo de conclusión, se resumen de los hallazgos más importantes, el camino para seguir y algunos retos y proyecciones sobre el tema de investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Búsqueda e identificación de estudios

Los estudios que se tuvieron en cuenta para este trabajo fueron aquellos que utilizaron el ACV para evaluar productos basados en materias primas agrícolas. Para encontrarlos se recurrió al motor de búsqueda de Scholar Google y a bases de datos como ScienceDirect, Springer y Scopus. Concretamente, las búsquedas efectuadas aprovecharon las funciones booleanas de los motores de búsqueda y fueron las siguientes:

- (“Life cycle assessment” OR “Life cycle analysis”) AND (“essential oil” OR “agricultural” OR “bio**”)

De esta manera se dio prioridad a las investigaciones relacionadas con AE, pero también se incluyeron productos de origen agrícola y variedades de bioproductos que pueden tener diversas aplicaciones.

Selección de estudios para analizar

Para la selección de los estudios incluidos en la revisión fue necesario establecer algunos criterios. Estos fueron:

- Que se hubiesen publicado a partir del año 2010.
- Que más del 60 % de los estudios fueran recientes [publicados en los últimos 5 años], con el fin de garantizar que los estudios examinados representen las tendencias académicas actuales en ACV.
- Si la investigación no se trataba de aceites esenciales, se exigía que se considerara la etapa agrícola del producto.

Inicialmente, se separaron aquellos estudios en los que se trabajó con AE de los demás. De acuerdo con los criterios anteriores se eligieron un total de 50 investigaciones, incluyendo artículos publicados en revistas científicas y tesis de pregrado y de posgrado; de los artículos seleccionados, 13 contenían AE como materia de análisis. La Figura 2 ilustra el proceso llevado a cabo para la búsqueda y filtración de investigaciones revisadas, allí se aprecia que gran cantidad de los resultados fueron descartados por tratarse de registros duplicados o porque sus títulos no hacían referencia al análisis de ciclo de vida y se muestra cómo se llegó a la selección de los 50 trabajos que fueron objeto de la revisión.

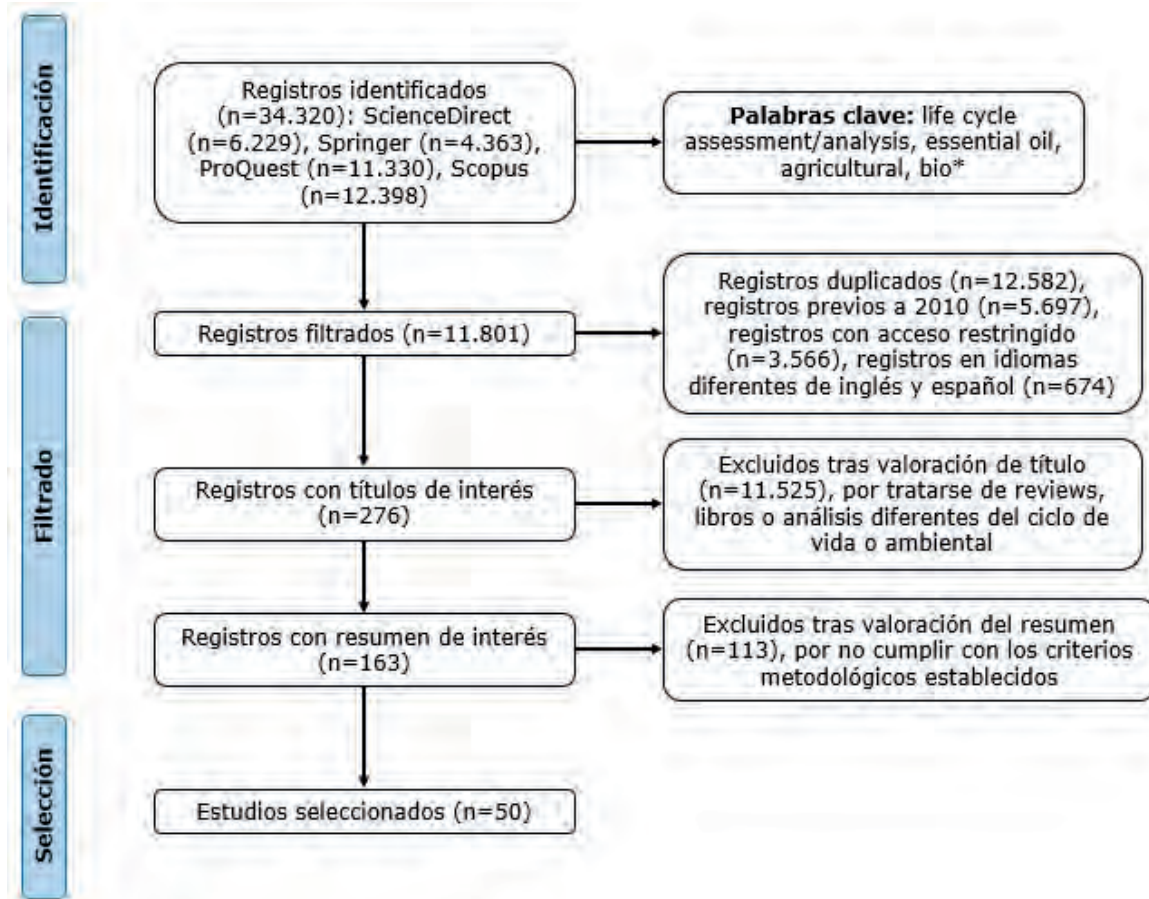


Figura 2. Diagrama de flujo selección de estudios. Fuente: Autores

Análisis de los estudios seleccionados

Posteriormente, en función de lo que se deseó evaluar [algunas tendencias en la aplicación de los ACV a productos obtenidos de materia prima agrícola], se definieron los aspectos de las metodologías adoptadas por los autores estudiados. Éstos son:

- Unidad funcional.
- Enfoque.

- Fuentes de información.
- Categorías de impacto consideradas.
- Software utilizado.
- Bases de datos.
- Métodos utilizados para análisis de sistemas con productos múltiples (asignación o *allocation*).

Cada uno de estos aspectos se estudió para los productos agroindustriales en general y se enfatizó para los AE.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según se estableció en la metodología adoptada, la presentación de los resultados se muestra primero para todos los estudios seleccionados y luego se enfatiza en el caso particular de los relacionados directamente con AE. Dado que los trabajos investigativos analizados se caracterizan por tener materia prima agrícola, pero pueden hacer referencia a productos de diferentes áreas de la industria, resulta adecuado mostrar cómo se reparten entre ellas. Esto es ilustrado en la Figura 3.

Cabe resaltar que para los ACV con diversas líneas de producto se cuentan las áreas de la industria a la que per-

tenecen todos sus productos, por ello se encontrará que el conteo total es superior al de estudios considerados [50]. Por la variedad de aplicaciones encontrada se incluye la categoría de biomateriales en la que se abarcan biopolímeros (Chen et al., 2016; Kachrimanidou et al., 2021), biomateriales de construcción (Pretot et al., 2014; Quintana et al., 2018) y bioadhesivos (Yang & Rosentrater, 2019; Arias et al., 2020). Un caso especial se encuentra en lo trabajado por Moutousidi & Kookos (2021), quienes incluyeron en su análisis la producción a escala comercial de nueve bioquímicos diferentes.

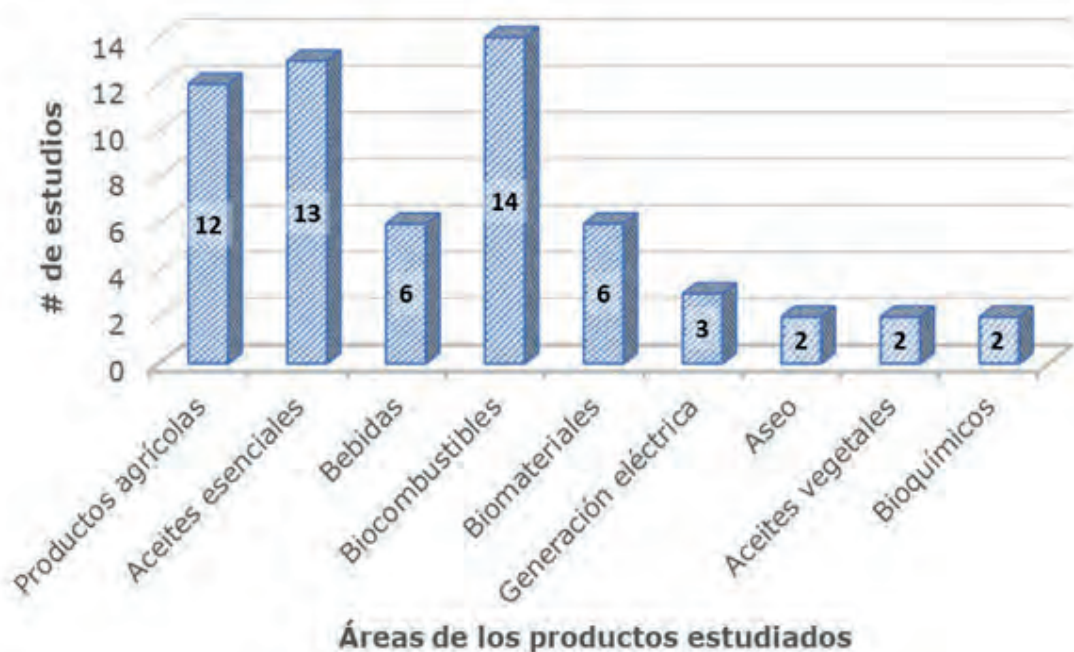


Figura 3. Distribución de área de los productos estudiados en los análisis seleccionados.

Fuente: autores.



Se destaca una presencia significativa de los AE, debido a los propósitos particulares del presente trabajo. Sin embargo, es más marcado el protagonismo de los biocombustibles, lo cual es consistente con lo descrito por Spinelli et al. (2013) quienes muestran que la importancia de la realización de ACV sobre los biocombustibles radica en la necesidad de comprobar que, aunque estos últimos son generalmente más costosos que los combustibles fósiles, representan emisiones mínimas de dióxido de carbono y sulfatos, con desempeños similares a las fuentes de energía fósil. Dentro de los estudios sobre biocombustibles es destacable, por lo particular de su caso, el de Muñoz et al. (2014) ya que se interesaron por el bioetanol, pero con énfasis especial en su aplicación como solvente para productos de hogar y cuidado personal.

De manera similar, la gran cantidad de estudios hallados sobre alimentos y bebidas de origen agrícola concuerdan con el hecho, marcado por Ingrao et al. (2015), de que la agricultura y el sector alimenticio son responsables de una parte considerable de los impactos ambientales, lo que tenderá a aumentar con el crecimiento poblacional mundial. Por estas razones son necesarias iniciativas de investigación para establecer, adoptar y difundir tecnologías de producción más sustentables. Además, también es apreciable cómo autores de determinados países se interesan en evaluar la sostenibilidad de los productos más relevantes de sus regiones, con el fin de contribuir a las intenciones globales de mitigación del cambio cli-

mático, sin perder el beneficio económico que dichos productos implican.

Ejemplo de lo anterior es lo ejecutado por Fernández-Lobato et al. (2021), quienes se enfocaron en la producción de aceite de oliva en España, que es el principal productor en el mundo; otro ejemplo se halla en Khanali et al. (2018) al trabajar sobre la producción de aceite comestible de canola, que es uno de los principales productos de la canasta familiar en Irán; de la misma manera, en Tailandia fue estudiado el proceso productivo del *riceberry* por Chancaronpong et al. (2021); y un último ejemplo está en Brito et al. (2021) que hicieron lo propio con la soja en Brasil, máximo productor y exportador de esta planta. Así mismo, se puede evidenciar el trabajo conjunto entre la academia y la industria, cuando las empresas quieren dar valor añadido desde el punto de vista ambiental a sus productos, como en el caso de Astuti et al. (2021), en el que la procesadora de café indonesia CV XYZ impulsó el análisis del ciclo de vida para identificar alternativas que puedan mitigar los impactos ambientales asociados a la producción de café molido.

Enfatizando en los AE, la Tabla 1 muestra un reciente interés en la temática que va en crecimiento. Se confirma la variedad de productos de esta naturaleza en los que existe interés desde la industria y la academia, pues se encuentran aceites provenientes de cítricos, plantas aromáticas e incluso algas. Además, la Tabla 1, presentada a continuación, resume los resultados obtenidos para el

caso de estudios de AE. Un análisis similar se realizó para los demás estudios seleccionados y a partir de ello es que

se presenta, seguidamente, el recuento de los hallazgos que tuvo este trabajo investigativo.

Tabla 1. Comparación de aspectos metodológicos en ACV sobre AE.

Autores (Año)	Producto	Enfoque	Flujo referencia (unidad funcional)	Métodos de asignación	Software	Base de datos
(Beccali et al., 2010)	AE de naranja	Cuna a la puerta	1 kg de producto	Másica/ Económica	SimaPro	Pre-Product Ecology Consultants Oko-Institut Ecoinvent
(Peña et al., 2015)	AE de limón	Cuna a la puerta	100 t de limones	Másica/ Económica	SimaPro	N. E.
(Moncada et al., 2016)	AE de orégano y romero	Puerta a la puerta	1 kg de aceite	N. A.	Waste Reduction Algorithm	Aspen Plus database NIST
(Pérez et al., 2016)	AE de macroalga <i>Ochtodes secundiramea</i>	Cuna a la puerta	700 mg de aceite	Másica	SimaPro	Ecoinvent
(Maham et al., 2018)	AE de <i>drago-nead</i>	Cuna a la puerta	1 kg de aceite	N. A.	SimaPro	Ecoinvent
(Lambert, 2018)	AE de ylang-tilang	Cuna a la puerta	1 l de aceite	Expansión de sistema	SimaPro	Ecoinvent
(Martínez-Hernández et al., 2019)	AE de naranja	Cuna a la puerta	Producción de 1 MJ de energía en forma de vapor	Económica	N.E	N.E
(González et al., 2020)	AE de caléndula	Cuna a la puerta	1 g de aceite	N. A	SimaPro	Ecoinvent
(Gwee et al., 2020)	AE de <i>Aquilaria Sinensis</i>	Cuna a la puerta	1 kg de aceite	N.A.	GaBi	Gabi Professional Database
(González, 2021)	AE de <i>Sacha Inchi</i>	Cuna a la puerta	1 l de aceite	N.A.	SimaPro	Ecoinvent
(Machin et al., 2022)	AE de limón	Cuna a la puerta	1 t de producto	Másica/ Económica	SimaPro	Ecoinvent



(Pelaracci et al., 2022)	AE de cártamo	Cuna a la puerta	1 t de aceite	Expansión de sistema	SimaPro	Ecoinvent
(Moura et al., 2022)	AE de romero	Puerta a la puerta	1 g aceite	N. A	SimaPro	Ecoinvent

Nota: N. A.: no aplica; N. E.: no especificado.

Fuente: autores.

Modalidades y límites del sistema

Se hallaron en su mayoría casos con las modalidades de la cuna a la puerta y de la cuna a la tumba. Esto se repartió de la siguiente forma: 12 [24 %] de los ACV siguieron la modalidad de la cuna a la tumba, mientras que el 74 % de ellos utilizaron la de cuna a la puerta. Esta preferencia por el enfoque *cradle-to-gate* se explica debido a que el abanico de opciones para aplicaciones de productos de origen agrícola es bastante amplio, de manera que la etapa final del ciclo de vida del producto [uso y disposición final puede también ser muy variable y, por tanto, traducirse en diversos valores de cargas ambientales. Además, teniendo en cuenta que las fuentes de información suelen ser pruebas realizadas a escala de laboratorio o a nivel industrial, pero no comercial, no es usual que sea posible obtener información relativa a las etapas finales del ciclo de vida del producto.

Los hechos anteriores son aún más evidentes al examinar los estudios de AE, en los que siempre se trabaja con el enfoque de la cuna-a-la-puerta; excepto en los casos de Moncada et al. (2016) y Moura et al. (2022) que son los únicos en usar un enfoque de la puerta a la puerta

[*gate to gate*], lo hacen partiendo de la premisa de que su objetivo es comparar el desempeño de diferentes tecnologías de extracción de AE a partir de material vegetal. De cualquier forma, la etapa agrícola no sería un factor diferencial en el análisis, de manera que lo único que se lograría usando la modalidad de la cuna a la puerta sería que las diferencias entre tecnologías no sean tan significativas y apreciables.

Entre los trabajos que incluyeron también la parte final del ciclo de vida, se destaca que la mayoría correspondían a productos del área de los biocombustibles [6 de los 12 que lo hicieron], lo cual es entendible cuando se tiene presente que el uso [y disposición final] de éstos produce emisiones directas al medioambiente que resulta muy conveniente incluir para la completitud de los resultados. Ejemplo de esto son los trabajos de Pérez y Dumar (2011), Poeschl et al. (2012) y Zucaro et al. (2018). Un caso para resaltar en el que se trabaja con biocombustibles y no se adopta un alcance de la cuna a la tumba se encuentra en Li et al. (2020) pues, al trabajar con hidrógeno como combustible, las únicas emisiones que se tienen son de agua; de manera análoga, los dos artículos dedicados a materiales de construcción tampoco hicieron uso de ese

método, pero por razones diferentes: Pretot et al. (2014) consideraron que el efecto de secuestro de carbono debido a la carbonatación del aglutinante del muro era relevante y Quintana et al. (2018) asumieron que las cargas ambientales durante la etapa de uso eran nulas.

Unidades funcionales

Para la localización de la unidad funcional, en las investigaciones exploradas, se reconoce una tendencia marcada a hacerlo en el producto [43 veces] y en términos másicos [31 ocasiones], más que nada por facilidad a la hora de realizar balances másicos para construcción del inventario del ciclo de vida [ICV]. Resaltan, por tanto, aquellos trabajos en los que se localizó la unidad funcional en puntos diferentes de la línea de producción. Esto ocurre principalmente cuando se trata de productos netamente agrícolas como el cacao (Rangel et al., 2013), el durazno (Ingrao et al., 2015), la bergamota (Strano et al., 2017) y las plantas aromáticas (Litskas et al., 2019), con los que se prefiere optar por el área de cultivo como unidad funcional, debido a que gran parte de los datos proporcionados por las fuentes de información están fundamentados sobre esta base y mantenerla en el ACV simplifica los cálculos por realizar. Este tipo de unidad funcional se repite en Sales et al. (2022), pero con la motivación especial de que se deseaba analizar la cadena de valor completa de la oliva, de forma que el interés no se encontraba en un solo producto sino

en dos: la oliva misma y la generación eléctrica que puede obtenerse a partir del uso de sus residuos como biomasa.

De manera similar, son destacables algunos casos en que no se utiliza la masa como medida de la unidad funcional. Por ejemplo, 4 investigaciones utilizaron la energía como unidad de medida funcional para el caso de biocombustibles, en la modalidad de la cuna a la tumba (Cox et al., 2014; Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2021) y generación eléctrica (Kimming et al., 2011; Restrepo & Bazzo, 2015) por obvias razones; también es diciente y lógico el uso de 1 m² de producto como unidad funcional en el sector de la construcción, como lo hacen Pretot et al. (2014) y Quintana et al. (2018).

Por último, cabe mostrar el caso del uso de unidades funcionales volumétricas que se da, evidentemente, en algunos productos gaseosos o líquidos como el hidrógeno combustible (Iribarren et al., 2014), el bioetanol (Escobar et al., 2020), algunos aceites esenciales (González, 2021; Lambert, 2018), y bebidas (Ortiz-Sánchez & Cardona, 2021; Zhang & Rosentrater, 2019; Khanali et al., 2020). Dos casos especiales que cabe resaltar son los de Zucaro et al. (2018) y Krohnert & Stucki (2021) quienes, para facilitar la comparación del rendimiento real de su producto de interés [un biocombustible para el primero y un shampoo para el segundo], tomaron como unidad funcional 1 km recorrido por un vehículo de tamaño medio y un lavado de cabello, respectivamente.



En cuanto a los AE, las unidades funcionales escogidas se ubican, en su mayoría [11 de 13 casos], en términos másicos y volumétricos del producto generado. Se resaltan los casos de Beccali et al. (2010) y de Machin et al. (2022) quienes trabajaron sistemas con más de un producto, por lo que la unidad funcional se fija en el producto principal que se desea abordar [jugos naturales de cítricos, cáscaras deshidratadas, entre otros]. También se destacan las excepciones halladas en los estudios de Peña et al. (2015) y de Martínez-Hernández et al. (2019) quienes, también para resolver el problema de analizar sistemas con múltiples productos, optaron por situar la unidad funcional en términos de la materia prima utilizada [limones] en el caso de los primeros y cierta cantidad de energía aprovechada para proporcionar el vapor necesario para el procesamiento en el segundo caso.

Fuentes de información

A propósito de las fuentes de información utilizadas, se puede intuir que la disponibilidad de información de primera mano se suele imponer como requisito para la realización del análisis, sobre todo en lo que se refiere a la etapa agrícola del ciclo de vida del producto. De hecho, en 37 de los 50 casos considerados se recurrió a información primaria. Esto está estrechamente relacionado con: 1) la influencia trascendental de las condiciones geográficas y climáticas sobre el rendimiento de las prácticas agrícolas y 2) con que actualmente muchos países no cuentan con bases de da-

tos agrícolas nacionales. Estas dos condiciones en conjunto hacen que muchos autores prefieran construir sus ICV con información propia del contexto particular, en vez de tener que recurrir a datos internacionales que [muy probablemente] no reflejen el comportamiento real del ciclo de vida del producto y que, por tanto, se traduzcan en resultados poco representativos. En las investigaciones sobre aceites, por ejemplo, se observa que para todas se recurrió tanto a fuentes primarias como secundarias. Lo anterior indica que se tiene conciencia de que la representatividad de los datos utilizados para la construcción del ICV, que es el núcleo del análisis, constituye un punto fundamental en la validez de los resultados que se pueden obtener.

Lo anterior implica que no se desecha totalmente el uso de información secundaria o de fondo [background], ya que todas las investigaciones examinadas se apoyaron también en bases de datos internacionales para algunos elementos de sus ICV [como se verá en la sección de Software y base de datos]. En este sentido, la literatura revisada muestra la importancia de que esta información de fondo sea simplemente un complemento para aquellos resquicios que la información primaria no puede abarcar y de que, en la medida de lo posible, se utilicen plantillas dedicadas al país en el que se desarrolla el estudio [Ecoinvent, por ejemplo, cuenta con plantillas de suministro de energía eléctrica para el caso específico de gran variedad de países del mundo].

Métodos de asignación

Un porcentaje considerable de los ACV abarcados no requirió de métodos de asignación [44 %], debido a que generalmente se trataba de sistemas con un único producto; por lo contrario, los criterios más utilizados fueron el másico [7], el económico [6] y ambos en conjunto [5]. También cabe destacar el uso de la expansión de sistema, que se da en 5 ocasiones, y un caso en el que se implementan todos los criterios siguientes: energético (Li et al., 2020), de cargas evitadas (Iribarren et al., 2014), exergético (Escobar et al., 2020) y volumétrico (Arias et al., 2020).

Así mismo, se destaca el trabajo de Ofori-Boateng & Lee (2014) que, a pesar de considerar un sistema de múltiples productos [bioetanol-fitoquímicos], no aplicaron ningún método de asignación, puesto que su interés no se hallaba en determinar los impactos ambientales potenciales y exergéticos sobre un producto en especial, sino sobre toda una biorrefinería. Igualmente, cabe mencionar lo ejecutado por Hosseinzadeh-Bandbafha et al. (2021), quienes se ocuparon de mezclas de biocombustibles con combustibles convencionales como el diésel; en este estudio se establecieron [como productos de análisis] las mezclas de diferentes proporciones de los combustibles y, aunque se hayan tenido en cuenta las líneas de producción de diferentes productos, el producto final de interés es uno solo y es la mezcla combustible de manera tal que no se necesitaron métodos de asignación.

En lo que respecta a estudios sobre AE, el 46 % de los estudios no tuvo que recurrir a métodos de asignación, debido a que trabajaban con sistemas con un único producto principal; por su parte, en la mayoría de los demás trabajos se evidencia que los métodos de asignación preferidos son: el método másico, el económico o ambos en simultáneo. Se utilizan ambos métodos cuando se desea examinar la sensibilidad de esta elección, estudiando cómo pueden cambiar los resultados obtenidos en función del método adoptado (Beccali et al., 2010; Peña et al., 2015; Machin et al., 2022); estos análisis de sensibilidad tienen especial interés en estos sistemas, debido a que generalmente los AE tienen una baja masa en relación con su valor económico. Por el contrario, según lo abarcado por Lambert (2018) y Pellaracci et al. (2022), se recurre a la expansión de sistema con el fin de incluir las cargas ambientales evitadas gracias al reciclaje o al aprovechamiento de co-productos de otras industrias.

Software y bases de datos

Se encuentra una marcada preferencia por el uso de SimaPro y GaBi, con un uso preponderante del 62 % para el primero y 12 % para el segundo; mientras que otras opciones como Open LCA (Brito et al., 2021), Umberto NXT LCA (Aguirre-López et al., 2017) y Waste Reduction Algorithm (Moncada et al., 2016) son usados solo una vez en todos los estudios escogidos. Así mismo, las bases de datos más utilizadas fueron Ecoinvent (31 veces), GaBi professio-



nal database (4 veces), Agri-footprint y ELCD (2 veces); por su parte, las demás bases encontradas sólo se usaron una vez y fueron estas: Pre-Product Ecology Consultants, Oko-Institut, Plastics Europe, Ebalance Database China, Agribalyse, Australasian LCA, Australasian Unit Process LCI.

Se puede remarcar también que algunos estudios no se basaron en una única base de datos, sino que recurrieron a varias. Por ejemplo, en el caso de Chen et al. (2016) se utilizó la Plastics Europe Database para aprovechar información específica sobre la industria de los plásticos y se complementó la información con los datos disponibles en Ecoinvent. De manera similar, en el trabajo de Campiglia et al. (2020) se completan los datos de Ecoinvent con información de Agri-footprint y ELCD.

En cuanto a los trabajos sobre AE, mientras 11 de los 13 estudios usan SimaPro, se destaca el hecho de que en algunos de los estudios abarcados no había especificación literal de software o base de datos utilizados, lo cual obstruye la repetibilidad del estudio (Peña et al., 2015 y Martínez-Hernández et al., 2019). Además, vale la pena hacer mención de otras herramientas utilizadas por algunas investigaciones, como fueron el software Gabi junto con su respectiva base de datos (Gwee et al., 2020) y el *Water Reduction Algorithm* en conjunto con las bases de datos del Na-

tional Institute of Standards and Technology y de Aspen Plus (Moncada et al., 2016).

La preponderancia de SimaPro es entendible, teniendo en cuenta que es una herramienta que permite realizar estudios de diferente naturaleza [como huella de carbono, huella hídrica y EPD], permite una representación gráfica de ciclos de vida complejos de un modo sistemático y transparente y está equipada por defecto con bases de datos como Ecoinvent, Agri-footprint y ELCD; estas características resultan bastante atractivas a nivel académico e industrial. Además, la que puede considerarse la principal desventaja de SimaPro, que es la necesidad de licencia para su uso [en contraste con herramientas abiertas como OpenLCA], parece no representar un problema para los usuarios; por lo contrario, parece una inversión razonable a cambio de obtener resultados aplicables a un contexto internacional, más fáciles de analizar y más transparentes.

Categorías de impacto

En principio se consideran todas las categorías incluidas en los estudios seleccionados, pero los resultados finales incluirán únicamente aquellas que se repiten en más del 20 % de los estudios. Éstas son presentadas según la nomenclatura de la Tabla 2.

Tabla 2. Nomenclatura para identificación de categorías de impacto.

Nomenclatura	Categoría de impacto
AC	Acidificación
TAC	Acidificación terrestre
AD	Agotamiento abiótico
OD	Agotamiento de la capa de ozono
MD	Agotamiento mineral
FD	Agotamiento de recursos fósiles
CC	Cambio climático
AEC	Ecotoxicidad acuática
FEC	Ecotoxicidad de agua dulce
MEC	Ecotoxicidad marina
TEC	Ecotoxicidad terrestre
CE	Efectos carcinógenos
NCE	Efectos no carcinógenos
RI	Efectos respiratorios inorgánicos
EU	Eutrofización
FEU	Eutrofización de agua dulce
MEU	Eutrofización marina
PMF	Formación de material particulado
POF	Formación de oxidantes fotoquímicos
LO	Ocupación de tierra/uso de tierra
HT	Toxicidad humana

Fuente: autores.

Ahora, tal y como era de esperarse, se halla una frecuencia del 100% de inclusión para la categoría de cambio climático o calentamiento global. Detrás de esta, las categorías más utilizadas son: formación de oxidantes fotoquímicos, con un 64 % agotamiento de la capa de ozono, con un 58 %; acidificación, con un 56 %; y toxicidad humana, con un 40 %; todo esto se ilustra en la Figura

4. El uso recurrente de estas categorías de es consistente con los principales impactos asociados a las prácticas agrícolas: 1) la producción de CO₂, debida a los procedimientos de encalado, tiene efecto directo en el cambio climático y en la acidificación de los océanos; 2) la generación de óxidos de nitrógeno, por prácticas como el arado y uso de fertilizantes nitrogenados, contribuye



al agotamiento de la capa de ozono y a la formación de oxidantes fotoquímicos; 3) la aplicación de pesticidas, que

contienen químicos que luego son emitidos al ambiente, aporta a potenciales impactos tóxicos en humanos.

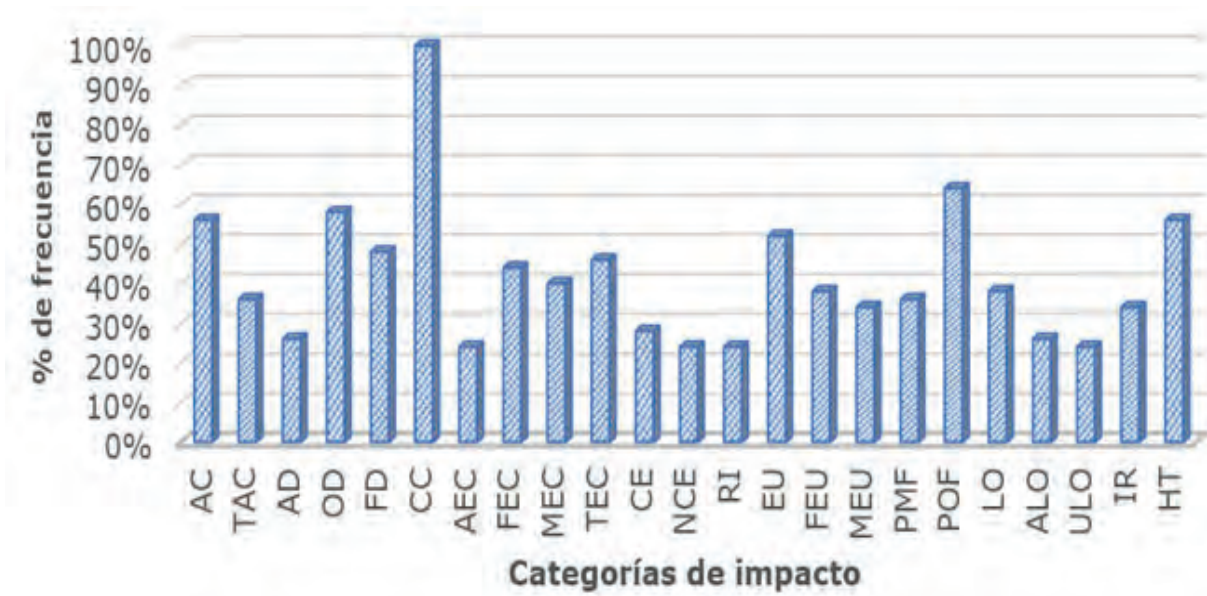


Figura 4. Comparación de frecuencia de uso de categorías de impacto en ACV basados en materia agrícola. **Fuente:** autores.

Por otra parte, dependiendo de los fines específicos del estudio, algunas categorías pueden referirse al mismo impacto y solo difieren en la parte específica del ambiente que afectan. Por ejemplo, la acidificación terrestre presenta una frecuencia del 36 % y las eutrofizaciones de agua dulce y marina contribuyen en un 38 % y 34 %, respectivamente; mientras que la ecotoxicidad se analiza en tres ecosistemas diferentes: terrestre en un 46 % de los casos, marino en un 40 %, y agua dulce en un 44 % de ellos. Por último, en concordancia con el hecho de que se trata de ACV ejecutados sobre productos con materia prima agrícola, se aprecia una frecuencia significativa en el uso de las categorías de ocupación de tierra [LO] y ocupación de tierra

agrícola [ALO] con participaciones del 38 % y 26 % respectivamente.

Otro punto interesante, relacionado con las categorías de impacto consideradas, se halla en los métodos de análisis de impacto del ciclo de vida preferidos por los autores abordados: los más usados fueron ReCiPe [32 %] y CML [30 %] en sus correspondientes variantes. La predilección por estos métodos se puede explicar dado que el método CML fue el primero que ofreció la posibilidad de limitar los niveles de incertidumbre, restringiendo el modelado a las etapas tempranas de la cadena causa-efecto, a través de indicadores de punto medio; mientras que ReCiPe, considerado muchas veces como una continuación de

CML, a esta ventaja añadió la posibilidad de obtener resultados mediante indicadores de punto medio y punto final, combinando los beneficios de los dos enfoques [menores incertidumbres en los indicadores de punto medio y mayor comprensión de los efectos finales de los impactos en los de punto final].

En cuanto a los casos particulares de los AE, se destacan las categorías de cambio climático, formación de oxidantes fotoquímicos y ecotoxicidad terrestre;

apareciendo en 13, 9 y 8 casos, respectivamente, tal y como se muestra en la Figura 5. Una vez más, según se vio previamente, las categorías más utilizadas coinciden con aquellas que se ven más afectadas por las prácticas agrícolas. Por otra parte, cabe resaltar el trabajo de Moura et al. (2022) en el que, a razón de los objetivos específicos del análisis, sólo se consideraron las categorías de cambio climático y demanda energética acumulada.

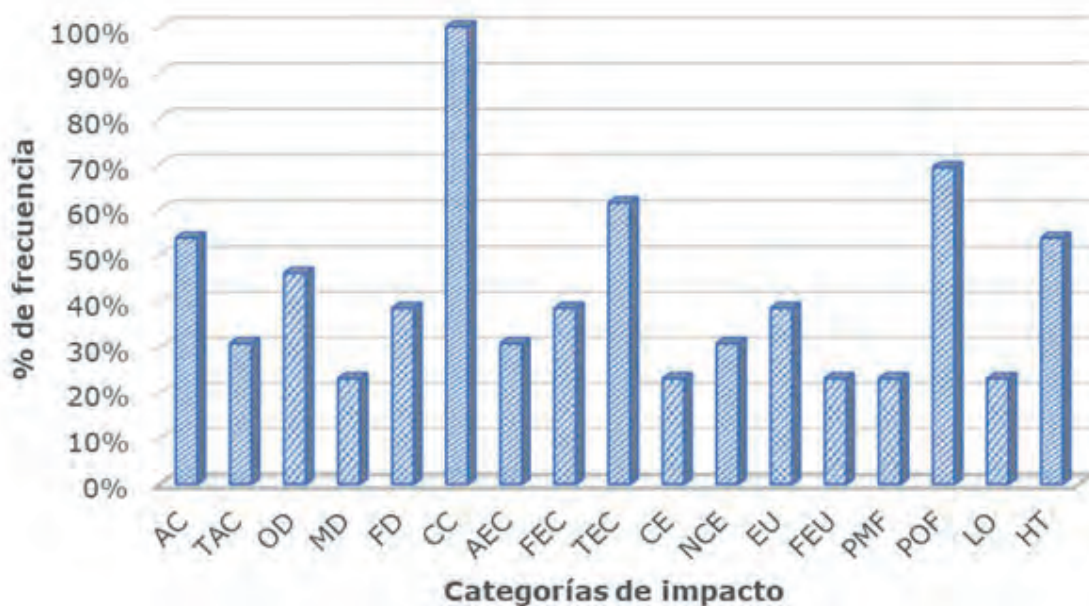


Figura 5. Comparación de frecuencia de uso de categorías de impacto en ACV sobre AE esenciales. **Fuente:** autores.

5. CONCLUSIONES

La literatura reciente sobre análisis de ciclo de vida, aplicados sobre el área específica de los aceites esenciales, es limitada y así lo demuestra el proceso de

búsqueda llevado a cabo con el fin de ejecutar la presente revisión; no obstante, el interés en realizar investigaciones de esta naturaleza está creciendo y es con-



sistente con el crecimiento simultáneo de la industria de los AE y de la conciencia de protección ambiental global. En este sentido, la trascendencia del efecto ambiental ejercido por las prácticas agrícolas es notoria, pues dichas prácticas impactan al ambiente en diferentes formas. De acuerdo con esto, y teniendo en cuenta que las aplicaciones de los AE [y de muchos otros productos cuya materia prima es de origen agrícola] son muy diversas, es usual y recomendable [en tanto no se requieran estudios de caso particular] adoptar modalidades de la cuna a la puerta para los análisis de ciclo de vida sobre esta clase de productos; de esta forma no son omitidos los efectos significativos de la etapa agrícola y se consigue que los resultados obtenidos sean aplicables a una mayor cantidad de casos.

En este estudio se encontró que los autores de las investigaciones examinadas suelen situar la unidad funcional en el producto y en términos másicos, puesto que ello facilita la realización de análisis comparativos con diferentes líneas de producción posibles para la obtención de un mismo producto y la construcción del ICV. Dado que la normativa de referencia ISO, relacionada con la metodología de ACV, no es rigurosa con las categorías de impacto que deben tenerse en cuenta y que existen diferentes métodos de análisis, las categorías incluidas en los ACV son variadas. Sin embargo, hay categorías de impacto que son utilizadas en la mayoría de los casos por su relación con las prácticas agrícolas, como el cambio climático, la formación de oxidantes fotoquímicos, el agotamiento de

la capa de ozono, la acidificación y la toxicidad humana.

En sistemas con múltiples productos y diferencias significativas entre su peso másico y su valor económico, como es el caso de los AE, es recomendable recurrir a dos métodos de asignación [másico y económico] para verificar la sensibilidad de los resultados y comparar los resultados obtenidos mediante de cada uno, con el fin de que las conclusiones obtenidas no se vean sesgadas por la elección de un solo método. Con relación a esto, cabe anotar que el tándem formado por el software SimaPro y la base de datos Ecoinvent se impone ante las demás posibilidades disponibles en el mercado a la hora de realizar ACV en productos como los de las investigaciones revisadas. Esto se debe a que Ecoinvent es una base de datos con información bastante completa, aplicable a una gran cantidad de casos geográficos particulares, y SimaPro es un software cuya licencia integra implícitamente a Ecoinvent.

Por último, de acuerdo con los resultados hallados, es esperable y deseable la realización de más trabajos de revisión como este [en áreas de la agroindustria más maduras] y que cuenten con una literatura más nutrida, con el propósito de que sirvan como base para futuros ACV dedicados a ellas. Adicionalmente, la realización de otros trabajos análogos a este serviría como actualización de este estudio porque las investigaciones posteriores, al contar con una base bibliográfica mucho más robusta, podrán confirmar o discutir las tendencias aquí identificadas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Nicolás Mantilla: metodología, investigación, análisis, escritura primer borrador.

Julián Jaramillo: supervisión, escritura, revisión y edición.

Juan David Villegas: soporte conceptual, investigación, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, Ministerio de Educación Nacional, Ministerio de Comercio, Industria, y Turismo y al ICETEX [Convocatoria Ecosistema Científico – Colombia Científica, Fondo Francisco José de Caldas, Contrato RC-FP44842-212-2018].

LITERATURA CITADA

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA]. (2019). *Overview of Greenhouse Gases*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- Aguirre-López, M. A., Alzate, J. A. y Cano, N. A. (2017). Evaluación de la carga ambiental asociada a un cultivo de hortensias en La Ceja del Tambo (Antioquia-Colombia) mediante el Análisis de Ciclo de Vida. *Gestión y Ambiente*, 20(2), 210-221. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.65138>
- Alhashim, R., Deepa, R. & Anandhi, A. (2021). Environmental Impact Assessment of Agricultural Production Using LCA: A Review. *Climate*, 164(9). <https://doi.org/10.3390/cli9110164>
- Arias, A., González-García, S., González-Rodríguez, S., Feijoo, G. & Moreira, M. T. (2020). Cradle-to-gate Life Cycle Assessment of bio-adhesives for the wood panel industry. A comparison with petrochemical alternatives. *Science of the Total Environment*, 738(10). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140357>
- Astuti, R., Kurniawan, B. C. & Setiyawan, D. T. (2021). Implementation of Life Cycle Assessment (LCA) in environmental impact evaluation on production of ground coffee. *E3S Web of Conferences*, 306. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130604019>
- Beccali, M., Cellura, M., Iudicello, M. & Mistretta, M. (2010). Life cycle assessment of Italian citrus-based



- products. Sensitivity analysis and improvement scenarios. *Journal of Environmental Management*, 91(7), 1415-1428. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.028>
- Brito, T., Marques, P., Fernandes Silva, A. & Aranha, J. (2021). LCA of Soybean Supply Chain Produced in the State of Pará Located in the Brazilian Amazon Biome. *Biology and life sciences forum*, 3(1). <https://doi.org/10.3390/IECAG2021-10072>
- Campiglia, E., Gobbi, L., Marucci, A., Rapa, M., Ruggieri, R. & Vinci, G. (2020). Hemp Seed Production: Environmental Impacts of Cannabis sativa L. Agronomic Practices by Life Cycle Assessment (LCA) and Carbon Footprint Methodologies. *Sustainability*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/su12166570>
- Chancaronpong, P., Mungkung, R. & Gheewala, S. H. (2021). Life Cycle Assessment and eco-efficiency of high value-added riceberry rice products to support Thailand 4.0 policy decisions. *Journal of Cleaner Production*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126061>
- Chen, L., Pelton, R. E. O. & Smith, T. M. (2016). Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. *Journal of Cleaner Production*, 137(20), 667-676. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.094>
- Consejo de Europa. (2008). *Pharmacopoeia* (6th ed.). The Stationery Office.
- Cox, K., Renouf, M., Dargan, A., Turner, C. & Klein-Marcuschamer, D. (2014). Environmental life cycle assessment (LCA) of aviation biofuel from microalgae, *Pongamia pinnata*, and sugarcane molasses. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, 8(4), 579-593. <https://doi.org/10.1002/bbb.1488>
- Escobar, J. C., Grillo, M. L., Martínez, A. M., Ferreira, G., Ocampo, E. A., Almazán, O. A. & Silva, E. E. (2020). Exergy and Environmental Analysis of a Polygeneration System of Alcohol Industry. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 1539-1554.
- Fernández-Lobato, L., García-Ruiz, R., Jurado, F. & Vera, D. (2021). Life cycle assessment, C footprint and carbon balance of virgin olive oils production from traditional and intensive olive groves in southern Spain. *Journal of Environmental Management*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112951>
- González, N. C. (2021). *Análisis Exergoambiental del Proceso de Obtención de Aceite de Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis) en Santander Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]. Craiusta. <http://hdl.handle.net/11634/32432>
- González-Aguirre, J. A., Solarte-Toro, J. C. & Cardona, C. A. (2020). Supply chain and environmental assessment of the essential oil production using Calendula (*Calendula Officinalis*) as raw material. *Heliyon*, 6(11).



- Gwee, Y. L., Yusup, S., Tan, R. R. & Yiin, C. (2020). Techno-economic and life-cycle assessment of volatile oil extracted from *Aquilaria sinensis* using supercritical carbon dioxide. *Journal of CO2 Utilization*, 38, 156-157. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.01.002>
- Hamma, N. I., Hanafiah, M. M. & Gheewala, S. H. (2019). A review on life cycle assessment of biogas production: challenges and future perspectives in Malaysia. *Biomass and Bioenergy*, 122, 361-374. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.047>
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Rafiee, S., Mohammadi, P., Ghobadiazadeh, B., Lam, S. S., Tabatabaei, M. & Aghbashlo, M. (2021). Exergetic, economic, and environmental life cycle assessment analyses of a heavy-duty tractor diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol blends. *Energy Conversion and Management*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114300>
- <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0509-1>
- Ingrao, C., Matarazzo, A., Tricase, C., Clasadonte, M. T. & Huisman, D. (2015). Life Cycle Assessment for highlighting environmental hotspots in Sicilian peach production systems. *Journal of Cleaner Production*, 92, 109-120. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614013493>
- Iribarren, D., Susmozas, A., Petrakopoulou, F. & Dufour, J. (2014). Environmental and exergetic evaluation of hydrogen production via lignocellulosic biomass gasification. *Journal of Cleaner Production*, 69, 165-175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.068>
- Kachrimanidou, V., Ioannidou, S. M., Ladakis, D., Papapostolou, H., Kopsahelis, N., Koutinas, A. A. & Kookos, I. K. (2021). Techno-economic evaluation and life-cycle assessment of poly (3-hydroxybutyrate) production within a biorefinery concept using sunflower-based biodiesel industry by-products. *Bioresour Technol*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124711>
- Khanali, M., Kokei, D., Aghbashlo, M., Keyhani, F., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. & Tabatabaei, M. (2020). Energy flow modelling and life cycle assessment of apple juice production: Recommendations for renewable energies implementation and climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118997>
- Khanali, M., Mousavi, S. A., Sharifi, M. & Nasab, F. K. (2018). Life cycle assessment of canola edible oil production in Iran: A case study in Isfahan province. *Journal of Cleaner Production*, 196, 714-725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.217>
- Khatiri, P. & Jain, S. (2017). Environmental life cycle assessment of edible oils: A review of current knowled-



- ge and future research challenges. *Journal of Cleaner Production*, 152, 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.096>
- Kimming, M., Sundberg, C., Nordberg, A., Baky, A., Bernesson, S., Norén, O. & Hansson, P. A. (2011). Biomass from agriculture in small-scale combined heat and power plants - A comparative life cycle assessment. *Biomass and bioenergy*, 35(4), 1572-1581. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.027>
- Krohnert, H. & Stucki, M. (2021). Life Cycle Assessment of a Plant-Based, Regionally Marketed Shampoo and Analysis of Refill Options. *Sustainability*, 13(8478). <https://doi.org/10.3390/su13158478>
- Lambert, M. (2018). *Cradle-to-gate Life Cycle Analysis (LCA) of Ylang-Ylang Complete Essential Oil Destined for cosmetic Use from Central Region, Ghana Using the Software SimaPro* [Tesis de maestría, Universidad Libre de Bruselas]. Archivo digital. https://mem-envi.ulb.be/Memoires_en_pdf/M
- Li, Q., Song, G., Xiao, J., Hao, J., Li, H. & Yuan, Y. (2020). Exergetic life cycle assessment of hydrogen production from biomass staged-gasification. *Energy*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116416>
- Litskas, V., Chrysargyris, A., Stravrinides, M. & Tzortzakis, N. (2019). Water-energy-food nexus: A case study on medicinal and aromatic plants. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1334-1343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.065>
- Machin, L. M., Wheeler, J. & Mele, F. D. (2022). Life cycle assessment of the Argentine lemon and its derivatives in a circular economy context. *Sustainable Production and Consumption*, 29, 672-684. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.014>
- Maham, S. G., Rahimi, A. & Smith, D. L. (2018). Environmental assessment of the essential oils produced from dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in conventional and organic farms with different irrigation rates. *Journal of Cleaner Production*, 204, 1079-1086. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.348>
- Martínez-Hernández, E., Molina, M. M., Melgarejo, L. A., Palmerín, M. E., Zermeno, J. A., Rosas, A., Aburto, J. & Amezcua-Allieri, M. A. (2019). Energy-water nexus strategies for the energetic valorization of orange peels based on techno-economic and environmental impact assessment. *Food and bioproducts processing*, 117, 380-387. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.08.002>
- Moncada, J., Tamayo, J. A. & Cardona, C. A. (2016). Techno-economic and environmental assessment of essential oil extraction from Oregano (*Origanum vulgare*) and Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 112, 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.067>

- Moura, B., Monteiro, H., Mata, T. M. & Martins, A. A. (2022). Life cycle energy and carbon emissions of essential oil extraction from Rosemary. *Energy Reports*, 8, 291-297. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.063>
- Moutousidi, E. S. & Kookos, I. K. (2021). Life cycle assessment of biobased chemicals from different agricultural feedstocks. *Journal of Cleaner Production*, 323. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129201>
- Muñoz, I., Flury, K., Jungbluth, N., Rigarlsford, G., Canals, L. M. & King, H. (2014). Life cycle assessment of bio-based ethanol produced from different agricultural feedstocks. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 109-119. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0613-1>
- Ofori-Boateng, C. & Lee, K. (2014). An oilm palm-based biorefinery concept for cellulosic ethanol and phytochemicals production: Sustainability evaluation using exergetic life cycle assessment. *Applied Thermal Engineering*, 62(1), 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.09.022>
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2007). *ISO 14040: Análisis de ciclo de vida- Principios y marco de referencia*. ICONTEC.
- Ortiz-Sánchez, M. & Cardona, C. A. (2021). Comparative environmental life cycle assessment of orange peel waste in present productive chains. *Journal of Cleaner Production*, 322. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128814>
- Osman, A. I., Mehta, N., Elgarahy, A., Al-Hinai, A., Al-Muhtaseb, A. H. & Rooney, D. W. (2021). Conversion of biomass to biofuels and life cycle assessment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 4075-4118. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01273-0>
- Pelaracci, S., Rocchi, L., Romagnoli, F., Boggia, A. & Paolotti, L. (2022). Agricultural Co-Product Management: An LCA Perspective on the Use of Safflower Oilcake from Bio-Oil production in Umbria Region, Italy. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1). <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0003>
- Peña, I. J., Apud, B., Garolera, P. L., Salas, H., Mele, F. D. & Nishihara Hun, A. L. (2015). Preliminary environmental study of the citrus industry of Tucuman (Argentina) based on the Life Cycle Assessment [Conferencia]. *International Conference on Life Cycle Assessment*, Lima, Perú. <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2018/11/36-4-15.pdf>
- Pérez, Á. J. y Dumar, K. J. (2011). *Análisis de ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera y etanol* [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Archivo digital. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/142298.pdf>
- Pérez-López, P., Jeffryes, C., Agathos, S. N., Feijoo, G., Rorrer, G. & Moreira,



- M. T. (2016). Environmental life cycle optimization of essential terpene oils produced by the macroalga *Ochtodes secundiramea*. *Science of the Total Environment*, 542, 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.045>
- Petruzzi, D. (2022, 16 de febrero). *Essential Oils Market Worldwide - Statistics & Facts*. <https://www.statista.com/topics/5174/essential-oils/#dossier-Keyfigures>
- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P. (2012). Environmental impacts of bio-gas deployment - Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. *Journal of Cleaner Production*, 24, 184-201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.030>
- Pretot, S., Collet, F. & Garnier, C. (2014). Life cycle assessment of a hemp concrete wall: Impact of thickness and coating. *Building and Environment*, 72, 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.010>
- Quintana, A., Alba, J., del Rey, R. & Guillén-Guillamón, I. (2018). Comparative Life Cycle Assessment of gypsum plasterboard and a new kind of bio-based epoxy composite containing different natural fibers. *Journal of Cleaner Production*, 185, 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.042>
- Rangel, J., Ortiz, O. & Villamizar, R. (2013). Life cycle management in agricultural products: case study on cocoa cultivation in Norte de Santander. *Revista ambiental agua, aire y suelo*, 4(2), 6-22.
- Restrepo, Á. & Bazzo, E. (2015). Biomass: Technical and Environmental Alternative in the Thermoelectric Generation Process. *Ingeniería Y Universidad*, 19(1), 67-86. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.btea>
- Sales, H., Figueiredo, F., Vaz, M. C. & Nunes, J. (2022). Assessing the environmental sustainability of Portuguese olive growing particles from a life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 355. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131692>
- Salomone, R., Cappelletti, G. M., Ioppolo, G., Mistretta, M., Nicoletti, G., Notarnicola, B., Olivieri, G., Pattara, C., Russo, C. & Scimia, E. (2010). Italian experiences in Life Cycle Assessment of olive oil: a survey and critical review. En B. Notarnicola, E. Settanni, G. Tassielli y P. Giungato. (Eds.). *VII International conference on life cycle assessment in the agri-food sector*. Universidad de Bari.
- Spinelli, D., Jez, S., Pogni, R. & Basosi, R. (2013). Environmental and life cycle analysis of a biodiesel production line from sunflower in the Province of Siena (Italy). *Energy Policy*, 59, 492-506. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.009>
- Stashenko, E. E. (2009). *Aceites esenciales*. Universidad Industrial de Santander.
- Strano, A., Falcone, G., Nicoló, B. F., Stillitano, T., De Luca, A. I., Nesci,

- F. S. & Gulisano, G. (2017). Eco-profiles and economic performances of a high-value fruit crop in southern Italy: a case study of bergamot (*Citrus bergamia* Risso). *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(9-10), 1124-1145. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1357064>
- Wiloso, E. I., Heijungs, R. & de Snoo, G. R. (2012). LCA of second generation bioethanol: A review and some issues to be resolved for good LCA practice. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5295-5308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.035>
- Yang, M. & Rosentrater, K. A. (2019). Life Cycle Assessment and Techno-Economic Analysis of Pressure Sensitive Bio-Adhesive Production. *Energies*, 12(23). <https://doi.org/10.3390/en12234502>
- Zhang, C. & Rosentrater, K. A. (2019). Estimating Economic and Environmental Impacts of Red-Wine-Making Processes in the USA. *Fermentation*, 5(3). <https://doi.org/10.3390/fermentation5030077>
- Zucaro, A., Forte, A. & Fierro, A. (2018). Life cycle assessment of wheat straw lignocellulosic bio-ethanol fuel in a local biorefinery prospective. *Journal of Cleaner Production*, 194, 138-149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.130>

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.

CÓMO CITAR

ÁREA AGRÍCOLA

Álvarez, D., Maigual, H., Salazar, C. y Betancourth, C. (2023). Caracterización fenotípica y clasificación jerárquica de 73 accesiones de haba (*Vicia faba* L.) colectadas en Nariño. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 11 - 27. <https://doi.org/10.22490/21456453.6256>

Amaya-Martín, F. y Deaquiz-Oyola, Y. (2023). Influencia de la temperatura sobre la calidad poscosecha del durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo bajo condiciones de trópico alto. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 29 - 46. <https://doi.org/10.22490/21456453.6262>

Ramos-Zambrano, H., Luna-Mancilla, L., Guerrero-Díaz, G., Rodríguez-Puertas, D. y Campo-Quesada, J. (2023). Determinantes de la pobreza multidimensional en productores de uchuva del departamento de Nariño (Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 47 - 71. <https://doi.org/10.22490/21456453.6304>

Lince, L. A. y Sadeghian, S. (2023). Descanse, J., Betancourth, C., Salazar, C. y Sañudo, B. (2023). Estudio epidemiológico de *Rhizoctonia solani* Kühn en cinco genotipos comerciales de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Nariño. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 73 - 89. <https://doi.org/10.22490/21456453.6353>

Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J. y Camacho-Tamayo, J. (2023). Germinación y crecimiento de semillas de arveja Var. 'Santa Isabel' sometidas a diferentes dosis de giberelinas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 91 - 112. <https://doi.org/10.22490/21456453.6506>

ÁREA PECUARIA

Palacios-Erazo, Y., Ariza-Botero, M., Bustamante-Yáñez, M., Vergara-Garay, O. & Álvarez-Franco, L. (2023). Evaluation of the productive performance of Colombian hair sheep based on growth traits. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 113 - 129. <https://doi.org/10.22490/21456453.6144>

Rosado, R., Landines, M., Rodríguez, D., González-Ruíz, Y., Pimiento-Ortega, M., González-Gamboa, I. y Herrera-Martínez, Y. (2023). Inclusión de harina de cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) en la alimentación de alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 131 - 151. <https://doi.org/10.22490/21456453.6154>

Roa, M., y Navarro, C. (2023). Evaluación del desempeño productivo y las reacciones metabólicas de ovinos de ceba alimentados con *Brachiaria spp.* en el trópico bajo de Colombia, al darles suplementos alimenticios. *Revista de Investigación Agraria y Am-*



biental 14(2), 153 - 170. <https://doi.org/10.22490/21456453.6232>

Ortíz-Ravelo, J., Maza-Ortega, R., Sotelo-Moreno, D., Flórez-Delgado, D.F. y Cely-Leal, D. (2023). Efecto de la suplementación alimentaria a base de cascara de cacao (*Theobroma cacao*) sobre la producción y calidad de la leche de vacas mestizas alimentadas con pasto. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 171 - 188. <https://doi.org/10.22490/21456453.6500>

ÁREA AMBIENTAL

González, J., Gamboa-García, D. y Duque, G. (2023). Variación de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la pesca artesanal y su sustentabilidad

en relación con las variables ambientales en el pacífico colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 189 - 215. <https://doi.org/10.22490/21456453.6452>

Andrade J. y Olaya, A. (2023). Impactos ambientales asociados a las hidroeléctricas en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 217 - 250. <https://doi.org/10.22490/21456453.6074>

Mantilla, N., Jaramillo, J. y Villegas, J. (2023). Análisis de ciclo de vida en aceites esenciales y productos agroindustriales: una revisión de aspectos metodológicos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 251 - 276. <https://doi.org/10.22490/21456453.6149>

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 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

identificar 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 interlineal 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. Omita 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 tesauro 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 1024píxeles). Un ejemplo de figura:

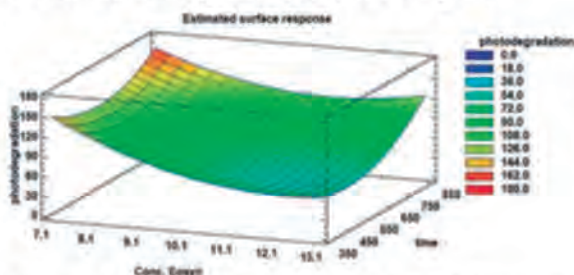


Figura 1. Título de la figura. Leyenda de la figura, el tipo de letra verdana tamaño 9.

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.

