



Revista de
INVESTIGACIÓN
Agraria y Ambiental

Volumen 13 Número 1 • enero - junio de 2022
e-ISSN 2145-6453 - ISSN 2145-6097



Revista de **INVESTIGACIÓN** Agraria y Ambiental

Volumen 13, Número 1

Enero - Junio de 2022

e-ISSN 2145-6453 - ISSN 2145-6097

• CUERPO DIRECTIVO

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR
Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA
Vicerrector Académica y de
Investigación

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

LEONARDO YUNDA PERLAZA
Vicerrector de Medios y Mediaciones
Pedagógicas

JULIA ALBA ANGEL OSORIO
Vicerrector de Desarrollo Regional y
Proyección Comunitaria

**LEONARDO EVEMELETH SANCHEZ
TORRES**
Vicerrector de Relaciones
Internacionales

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

**JUAN SEBASTIÁN CHIRIVÍ
SALOMÓN**
Líder Nacional de Investigación

YOLVI PRADA
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 CREAM-CSIC
Universitat Autònoma
de Barcelona, España.

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

JÖRG BACHMANN
Institut für Bodenkunde.
Leibniz Universität Hannover,
Alemania.

ABÍLIO SOBRAL
Centro de Química.
Universidade de Coimbra, Portugal.

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

XAVIER DOMENE
Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions
Forestals - CREAM. Universitat Autònoma
de Barcelona, España.

• COMITÉ CIENTÍFICO

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 BURITICÁ
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.

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.

Veterinary Science Database

The veterinary Science Database cubre todos los aspectos de la medicina veterinaria y las enfermedades de los animales domésticos y salvajes por artrópodos, helmintos, protozoos y hongos.



Environment index: Base de datos de información en temáticas relacionadas con: agricultura, ciencias del mar y agua dulce, ecología de ecosistemas, geografía, energía, fuentes renovables de energía, recursos naturales, contaminación y gestión de residuos, tecnología ambiental, legislación ambiental, políticas públicas, planificación urbana e impactos sociales.



Fuente Académica Plus es una base de datos que abarca las principales disciplinas académicas, ofrece revistas en español y portugués para la investigación académica. Ofrece muchas revistas de calidad de América Latina, Portugal y España, incluyendo el texto completo activo de 13 títulos A1 de Qualis.



ACADEMIC SEARCH COMPLETE ofrece una gran colección de revistas académicas multidisciplinarias en texto completo, proporcionando a los usuarios acceso a información crítica de muchas fuentes únicas. Además, incluye texto completo revisado por pares. El contenido académico cubre una amplia gama de importantes áreas incluyendo antropología, ingeniería, derecho, ciencias y muchas más.



REDIB (RED IBEROAMERICANA DE INNOVACIÓN Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO) es una plataforma para la agregación de contenidos científicos y académicos en formato electrónico en el espacio Iberoamericano. REDIB proporciona acceso y facilita la difusión y ejecución del trabajo científico. Los destinatarios de esta información son tanto la comunidad académica y sociedad en general, así como los responsables de la política científica y aquellos encargados de ponerla en práctica y analizarla.



PERIÓDICA es una base de datos bibliográfica creada en 1978 en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La base de datos se actualiza diariamente y más de 10 mil registros son agregados cada año. Ofrece alrededor de 336 mil registros bibliográficos de artículos originales, informes técnicos, estudios de caso, estadísticas y otros documentos publicados en cerca de 1 500 revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



Dialnet es una base de datos de acceso libre, creada por la Universidad de La Rioja (España), que difunde producción científica hispana.



BASE es uno de los motores de búsqueda más voluminosos del mundo, especialmente para recursos web académicos. BASE proporciona más de 120 millones de documentos de más de 6,000 fuentes. Puede acceder a los textos completos de aproximadamente el 60% de los documentos indexados de forma gratuita (Acceso abierto). BASE es operado por la Biblioteca de la Universidad de Bielefeld.



GALE Academic Onefile proporciona millones de artículos de más de 17,000 revistas académicas y otras fuentes autorizadas, incluidos videos de BBC Worldwide Learning a miles de podcasts y transcripciones de CNN. Incluye más de 11.000 revistas revisadas por pares (más de 8.000 en texto completo) y conjuntos de referencias importantes, como Gale Encyclopaedia of Science y Encyclopaedia of World Biography.



Google Académico proporciona una forma sencilla de realizar búsquedas amplias de literatura académica. Desde un solo lugar, puede buscar en muchas disciplinas y fuentes: artículos, tesis, libros, resúmenes y opiniones judiciales, de editoriales académicas, sociedades profesionales, repositorios en línea, universidades y otros sitios web. Google Scholar lo ayuda a encontrar trabajos relevantes en el mundo de la investigación académica.

	<p>ProQuest conserva amplia y variada información, tanto de archivos históricos, como de los avances científicos actuales y maneja tecnologías digitales que optimizan la búsqueda, intercambio y gestión de la información. THE AGRICULTURAL & ENVIRONMENTAL Science Database de ProQuest es un recurso interdisciplinario de contenido de texto completo junto con la indexación experta de la literatura mundial en estos campos y disciplinas relacionadas. Cuenta con revistas revisadas por pares, publicaciones comerciales, revistas, literatura gris, documentos de trabajo, documentos de conferencias y procedimientos. Además, la base de datos de ciencias agrícolas y ambientales incluye declaraciones y resúmenes de impacto ambiental en texto completo y 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.</p>
	<p>OCLC (Online Computer Library Centre) es una cooperativa de 72,035 bibliotecas de 171 países con el doble objetivo de mejorar el acceso a la información y reducir el costo de las bibliotecas. El CRAI de la URV se unió a OCLC en mayo de 2014 cooperando con Worldcat Local. Más de 1.4 millones de artículos con acceso de un clic al texto completo (cuando los recursos están suscritos por la URV o son de acceso abierto) o las referencias bibliográficas que permiten ubicar 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.</p>
	<p>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.</p>
	<p>AmeliCA es una infraestructura de comunicación para la publicación académica y la ciencia abierta, sostenida de forma cooperativa y centrada en el modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica. AmeliCA (premio Sparc a la innovación 2019) es impulsada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y liderada por el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) y un conjunto de instituciones académicas.</p>
	<p>Open Academic Journals Index (OAJI) es una base de datos de texto completo de revistas científicas de acceso abierto. Fundador - International Network Center for Fundamental and Applied Research, Estados Unidos. La misión es desarrollar una plataforma internacional para indexar las revistas científicas de acceso abierto. El Índice Global Actual de la Revista (CGIJ) OAJI se crea teniendo en cuenta las tendencias y los desafíos mundiales actuales en el campo de la indexación de las revistas científicas. CGIJ OAJI considera las bases de datos de citas cuantitativas (WoS, Scopus), así como la base de datos básica de acceso abierto (DOAJ).</p>
	<p>ROAD es un servicio ofrecido por el Centro Internacional ISSN con el apoyo del Sector de Comunicación e Información de la UNESCO. Lanzado en diciembre de 2013, ROAD ofrece acceso gratuito a los registros bibliográficos de ISSN que describen los recursos académicos en Acceso Abierto: revistas, series monográficas, actas de congresos, repositorios académicos y blogs académicos. Estos registros, creados por la red ISSN (89 centros nacionales en todo el mundo + el Centro Internacional), se enriquecen con información extraída de bases de datos de indexación y abstracción, directorios (DOAJ, Latindex, registro de Keepers) e indicadores de revistas (Scopus).</p>
	<p>Galardón obtenido por RIAA en el año 2018 como una de las revistas colombianas con mayor visibilidad internacional</p>

REVISORES ACADÉMICOS

Volumen 13, Número 1, año 2022.

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.

Alcides Sampedro, Universidad de Sucre, Colombia

Ana García, Universidad de Nariño, Colombia

Andrés Felipe Valencia, Universidad de la Amazonia, Colombia

Ariana Arlene Huerta, Universidad del Papaloapan, México

Claudia Castañeda Saucedo, Universidad de Guadalajara, México

Daniel Ospina, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Danita Andrade Díaz, Asociación Hortifrutícola de Colombia, Colombia

David Esteban Duarte, Universidad de Nariño, Colombia

David Romero Estévez, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador

Dorance Becerra Moreno, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia

Elwi Machado Sierra, Universidad Simón Bolívar, Colombia

Emiro Andrés Suarez, AGROSAVIA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia

Fabián Salazar Garcés, Universidad de Quito, Ecuador

Fernando Ramírez, Investigador Independiente, Colombia

Francival Cardoso Felix, Universidade Federal do Paraná, Brasil

Gabriela Tenea, Universidad Técnica del Norte, Ecuador

Gerhard Fischer, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Héctor Martín Durán, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

Iván Andrés Delgado, Universidad de Nariño, Colombia

Jair Albeiro Osorio, Universidad de Antioquia, Colombia

Jarol Derley Ramón, Universidad de Pamplona, Colombia

Johanna Muñoz Belalcazar, Universidad de Nariño, Colombia

Jorge Armando Fonseca, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Colombia

Jorge Fernando Navia, Universidad de Nariño, Colombia

José Joaquín Vila, Universidad del Quindío, Colombia

José Julián Apraez, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

José Orjuela, AGROSAVIA -Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia

Juan Carlos Copete, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Juan Carmona, Universidad de Manizales, Colombia

Juan Guillermo Popayán, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Julián Castrillón, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Leonardo Martín Pérez, Pontificia Universidad Católica de Argentina, Argentina

Luciana Paim, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Luz Ángela Cuéllar, Universidad Santo Tomás, Colombia

Martha Elena Domínguez, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Mauricio Madrigal Pérez, Universidad de Los Andes, Colombia

Michael Gómez Rodríguez, Universidad de Antioquia, Colombia

Miguel Ángel Imaz, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México

Nancy Cristina Sanabria, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

Rommel León, AGROSAVIA - Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia

Sandra Santacoloma Londoño, Unidad Central del Valle del Cauca UCEVA, Colombia

Tito Bacca Ibarra, Universidad del Tolima, Colombia

Vanessa Calderón Martínez, Universidad Santiago de Cali, Colombia

Victor Manuel Molina, Boehringer Ingelheim, Colombia

William Gilberto Delgado, Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia

William Viera, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Ecuador

Xavier Domene, Universidad Autónoma de Barcelona, España

Yani Cristina Aranguren, Universidad Simón Bolívar, Colombia





**REVISORES ACADÉMICOS -
VOLUMEN 13, NÚMERO 1, AÑO 2022**

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.

ÍNDICE

Editorial

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

13

Área Agrícola

1. CARACTERIZACIÓN AGROQUÍMICA DEL SUELO DE 15 FINCA CON PROYECCIÓN HACIA LA TRANSFORMACIÓN AGROECOLÓGICA, EN EL MUNICIPIO SANTA MARÍA, BOYACÁ

15

AGROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE SOIL FOR 15 FARMS WITH A PROJECTION TOWARDS THE AGROECOLOGICAL TRANSFORMATION, IN THE MUNICIPALITY OF SANTA MARÍA, BOYACÁ

Belcy Hernández Tabaco, Leónides Castellanos González

2. APLICACIÓN DE UREA, DAP Y KCL SOBRE ALMÁCIGOS DE CAFÉ (Coffea arabica L.) DE LA VARIEDAD CASTILLO

33

APPLICATION OF UREA, DAP AND KCL TO COFFEE (Coffea arabica L.) SEEDBEDS OF THE CASTILLO VARIETY

Javier García Alzate, Carlos Andrés Benavides-Cardona, David Eduardo Álvarez Sánchez



3. COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN Coffea arabica L. EN TRES ZONAS ALTITUDINALES DEL SUR DE COLOMBIA

51

YIELD COMPONENTS IN Coffea arabica L. IN THREE ALTITUDINAL ZONES OF SOUTHERN COLOMBIA

Paula Yuliza Burbano R., Angie Lorena Valencia A., Tulio César Lagos-Burbano

4. FERTILIZANTE DE LIBERACIÓN CONTROLADA Y REMINERALIZANTE INCREMENTAN EL CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS DE Mimosa scabrella Benth.

63

REMINERALIZER AND CONTROLLED-RELEASE FERTILIZER INCREASE Mimosa scabrella Benth. SEEDLINGS GROWTH

Alexandre Dal Forno Mastella, Mônica Moreno Gabira, Letícia Siqueira Walter, Rodrigo Condé Alves, Chaiane Rodrigues Schneider, Karen Koch Fernandes de Souza, Dagma Kratz, Alessandro Camargo Ângelo

5. PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS DE Stevia rebaudiana Bert EN CONDICIONES DIFERENCIALES DE LUZ SOLAR Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN INVERNADERO

75

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN Stevia rebaudiana Bert UNDER DIFFERENTIAL CONDITIONS OF SUNLIGHT AND NITROGEN FERTILIZATION IN GREENHOUSE

Alfredo de Jesús Jarma-Orozco, Carina Cecilia Cordero-Cordero, José Alejandro Cleves-Leguízamo

6. CARACTERIZACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE GULUPA (*Passiflora edulis f. edulis Sims*) EN LAS REGIONES NORTE Y CENTRO - OCCIDENTE DE TOLIMA 89

*CHARACTERIZATION AND TYPIFICATION OF PURPLE PASSION FRUIT (*Passiflora edulis f. edulis Sims*) PRODUCTION SYSTEMS, IN TOLIMA NORTHERN AND CENTRAL-WESTERN REGIONS*

Eleonora Rodríguez-Polanco, Paula Bermeo Fúquene, José Segura-Amaya, Edinson Parra-Alferes

7. POTENCIALES ÁREAS CULTIVABLES DE PASIFLORAS EN UNA REGIÓN TROPICAL CONSIDERANDO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 109

POTENTIAL SUITABLE AREAS FOR PASSIFLORAS CROPS IN A TROPICAL REGION CONSIDERING CLIMATE CHANGE SCENARIOS

Andrés Mauricio Munar, Adalberto Rodríguez Carlosama, Jorge Luis Muñoz España

8. ASPECTOS DE LA FISIOLÓGÍA Y EL CULTIVO DEL LULO (*Solanum quitoense LAM.*) EN COLOMBIA: UNA REVISIÓN 131

*PHYSIOLOGY AND CROP ASPECTS OF *Solanum quitoense LAM* (LULO) IN COLOMBIA: A REVIEW*

Marilcen Jaime-Guerrero, Javier G. Álvarez-Herrera, Gerhard Fischer

10

9. CAMBIO DE USO DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL VICHADA, COLOMBIA, DESDE 1985 A 2017 149

LAND-COVER CHANGE IN THE DEPARTMENT OF VICHADA, COLOMBIA, FROM 1985 TO 2017

Juan J. Vitar-Mendoza, Karen X. Sandoval-Parra, Martha L. Ortiz-Moreno

Área Ambiental

10. ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES DESDE UN ENFOQUE SISTÉMICO: UNA REVISIÓN 175

ALTERNATIVES FOR THE STABILIZATION OF SLUDGE GENERATED IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS FROM A SYSTEMIC APPROACH: A REVIEW

Rossember Saldaña-Escorcía, Jeansy Karina Castillo Gámez

11. UTILIZACIÓN DE MICROALGAS COMO ALTERNATIVA PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS 195

USE OF MICROALGAE AS AN ALTERNATIVE IN HEAVY METAL REMOVAL

Deimer Vitola Romero, Alexander Pérez Cordero, Donicer E. Montes Vergara

12. IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO Y DISPOSICIÓN DEL AGUA EN UNA COMUNIDAD RURAL 205

IDENTIFICATION OF WATER SUPPLY AND DISPOSAL SYSTEMS IN A RURAL COMMUNITY

Laura V. Morales-Tejeiro, Juan M. Trujillo-González, Marco A. Torres-Mora

Área Pecuaria

13. VACUNAS PARA PARÁSITOS GASTROINTESTINALES, UN PILAR DE LA MEDICINA PREVENTIVA EN LA PRÁCTICA VETERINARIA: REVISIÓN SISTEMÁTICA 221

VACCINES FOR GASTROINTESTINAL PARASITES, A PILLAR OF PREVENTIVE MEDICINE IN VETERINARY PRACTICE: SYSTEMATIC REVIEW

Lina M. Vargas, Laura D. Prieto, Monica Mónica M. Baquero, Wilson Corredor, Neuza M. Alcantara-Neves, Dumar A. Jaramillo-Hernández

14. FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO Y ORGANOPÓNICO DE MAÍZ COMO SUPLEMENTO NUTRICIONAL PARA OVINOS DEL PIEDEMONTE AMAZÓNICO 253

HYDROPONIC AND ORGANOPONIC GREEN FORAGE OF CORN AS A NUTRITIONAL SUPPLEMENT FOR SHEEP IN THE AMAZON FOOTHILLS

Juan Pablo Narváez Herrera, Elizabeth Marcela Guerrero Guerrero



CÓMO CITAR - HOW TO CITE 267

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES - GUIDE FOR AUTHORS 269

EDITORIAL

Estimados lectores

Durante el último año hemos sido observadores de una cooperación global de investigadores, académicos e instituciones, en términos de investigación sobre cómo tratar y mitigar los efectos del Covid-19. Estas colaboraciones nos han llevado a hallazgos sobre los efectos del Covid sobre nosotros, así como la creación de vacunas eficientes para el combate de esta pandemia.

Toda esta actividad investigadora nos ha permitido examinar nuestras propias limitaciones en cuanto a infraestructura para la producción y distribución de las mencionadas vacunas. Como resultado final, se han publicado innumerables artículos de investigación y divulgación, los cuales han traducido información compleja sobre estos estudios, en un lenguaje asequible para todos, utilizando medios digitales de amplia difusión.

Teniendo en cuenta que el acceso libre y gratuito de la información es vital para el desarrollo de soluciones a nuestros problemas, desde la Revista de Investigación Agraria y Ambiental – RIAA queremos reafirmar nuestro compromiso para ofrecer una revista de alta calidad y de acceso abierto.

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 estudios acerca de caracterización química de suelos, fertilización, cambios de cobertura y crecimiento de cultivos. En el área pecuaria, el número presenta dos artículos sobre suplementos nutricionales y vacunas para animales. Finalmente, en el área ambiental presentamos artículos sobre estabilización de lodos producto de la depuración de aguas, microalgas y suministro de agua en áreas rurales. Varios de los artículos son interesantes revisiones en sus respectivos ámbitos de investigación.

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



CARACTERIZACIÓN AGROQUÍMICA DEL SUELO DE 15 FINCAS CON PROYECCIÓN HACIA LA TRANSFORMACIÓN AGROECOLÓGICA, EN EL MUNICIPIO SANTA MARÍA, BOYACÁ

AGROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE SOIL FOR 15 FARMS WITH A PROJECTION TOWARDS THE AGROECOLOGICAL TRANSFORMATION, IN THE MUNICIPALITY OF SANTA MARÍA, BOYACÁ

Belcy Hernández Tabaco • belsy.hernandez@unipamplona.edu.co
Ingeniera Ambiental, Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia.

Leónides Castellanos González • lcastell@gmail.com
PhD. En Ciencias Agrícolas, Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia.

Citación: Hernández, B., Castellanos, L. (2022). Caracterización agroquímica del suelo de 15 fincas con proyección hacia la transformación agroecológica, en el municipio Santa María, Boyacá. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 15 – 32. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3683>

RESUMEN

Contextualización: el conocimiento anticipado de la calidad de los suelos no cultivados previamente es de gran importancia para decidir la implementación de los cultivos y la elaboración de los planes de fertilización.

Vacío de conocimiento: el estudio contribuyó a la adquisición de conocimiento sobre la condición y calidad de los parámetros fisicoquímicos de los suelos, como paso previo para diseñar prácticas agrícolas nuevas, donde los agricultores no contaban con los respectivos análisis del suelo y desconocían que estos pueden presentar una composición heterogénea, incluso a distancias relativamente cortas.

Propósito del estudio: el objetivo fue caracterizar agroquímicamente los suelos en 15 fincas del municipio de Santa María para conocer su fertilidad natural. Allí se implementarán 3 modelos agroecológicos en el marco del proyecto "Desarrollo estratégico agroecológico para el fortalecimiento del sector productivo en el Departamento de Boyacá".

Metodología: las muestras se recolectaron en el mes de junio de 2019, una vez realizado su procesamiento en el laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados: pH (método potenciométrico en agua o en NaF), acidez intercambiable (KCl 1N), Al intercambiable, textura (Bouyucos), CO (Walkley Black %p/v) P (Bray II), S (extracción con Ca(HPO₄)), bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na), capacidad de intercambio catiónico, elementos menores (Fe, Cu, Mn, Zn, por el método de Olsen modificado), conductividad eléctrica, N disponible por los protocolos establecidos en el laboratorio en forma de nitrato y amonio intercambiable (KCl), relaciones iónicas en el suelo (Ca/Mg, Ca+Mg/K, Ca/K, Mg/K).

Resultados y conclusiones: los resultados obtenidos en el análisis de los suelos muestran deficiencias significativas en cuanto a los macroelementos primarios N, P, K y Ca; sin embargo, evidencian que los suelos cuentan con buena capacidad de intercambio catiónico, lo que favorece la retención e intercambio de nutrientes para las plantas. Por lo tanto, se concluye que los

suelos de las fincas estudiadas son adecuados para la implementación de los modelos agroecológicos, a pesar de las deficiencias presentadas por los elementos agroquímicos. Estas evidencias deberán tenerse en cuenta en los planes de fertilización para suplir estas deficiencias, con base en los requerimientos de cada cultivo. Esto se puede conseguir

mediante la aplicación de enmiendas orgánicas, rocas fosfóricas, calcáreas, entre otras. 

Palabras clave: Agroecología; Fertilidad natural; Homogeneidad; Nutrientes

ABSTRACT

Contextualization: Advance knowledge of soil quality is very important to decide the implementation of crops and elaborate fertilization plans.

Knowledge gap: The study contributed to the acquisition of knowledge about the condition and quality of soil, and its physicochemical parameters, as a preliminary step to designing new agricultural practices, in places where farmers did not count with soils analysis, and they were unaware that soils can have a heterogeneous composition, even at relatively short distances.

Purpose: The objective was to characterize agro-chemically the soils in 15 farms in the municipality of Santa María to know their natural fertility, in a place where 3 agroecological models will be implemented as part of the project "Strategic agroecological development for the strengthening of the productive sector in the Department of Boyacá".

Methodology: The samples of the soils were collected in June 2019. After processing in the laboratory, the following results were obtained: pH (potentiometric method in water or in NaF), exchangeable acidity (KCl 1N), Al exchangeable, texture (Bouyucos), CO

(Walkley Black %p/v) P (Bray II), S (extraction with Ca(HPO₄)), interchangeable bases (Ca, Mg, K, Na), cation exchange capacity, minor elements (Fe, Cu, Mn, Zn, by the modified Olsen method), electrical conductivity, N available by laboratory protocols in the form of nitrate and exchangeable ammonium (KCl), ionic relationships in soil (Ca/Mg, Ca+Mg/K, Ca/K, Mg/K).

Results and conclusions: The results obtained, after the soil analysis, showed significant deficiencies in the primary macro-elements N, P, K and Ca. However, there was evidence that the soils have good capacity of cation exchange, and that stimulate the retention and exchange of nutrients for the plants. Therefore, it was concluded that the soils that were studied are suitable for the implementation of agroecological models, despite the deficiencies presented by the agrochemical elements. These evidence should be considered in the fertilization plans to fill these deficiencies, based on the requirements of each crop. These can be achieved by applying organic amendments, phosphoric rocks, calcareous, among others. 

Keywords: Agroecology; Natural fertility; Homogeneity; Nutrients



RESUMEN GRÁFICO



Resumen gráfico: interpretación de los resultados obtenidos de las muestras de suelo para las 15 unidades productivas en estudio y su respectiva caracterización agroquímica. **Fuente:** Autores.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo provee importantes funciones ambientales, dentro de las cuales se resalta ser el sustento de alimento para las plantas; almacenar nutrientes; poseer y albergar materia orgánica proveniente de restos animales y vegetales; y ser el hábitat de diversos organismos que transforman la materia orgánica presente en el mismo (Silva y Correa, 2009). Por estos servicios, es esencial buscar estrategias para el aprovechamiento y uso eficiente de este recurso, ya que se considera un componente importante del ambiente. Además, un bien natural no renovable debido a que su recuperación y formación tarda miles de años (Dorronsoro, 2007).

La degradación de la tierra (por ejemplo, la erosión del suelo) es causada por la reducción de los nutrientes del suelo y la degradación de sus propiedades químicas y físicas. Por lo tanto, es importante adoptar un plan integral para la gestión de la fertilidad de los suelos que permita aumentar al máximo la producción de los mismos. La relación entre la erosión del suelo y la productividad registra una pérdida media mundial de 0,3% del rendimiento anual de los cultivos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016). El uso del suelo a nivel nacional registra un 9,1%, para vocación agrícola, el 9% se dedica al sector ganadero, el 19% al sector agroforestal y el 62,5% se dedica al sector forestal; por lo tanto, se

estima una utilización del suelo del 37,2 % para uso agropecuario, eso indica un nivel de afectación del 80 % por la erosión del suelo, debido a las malas prácticas agrícolas en el uso del suelo (Arteaga et al., 2016).

Antes de iniciar una actividad agrícola o instalar una huerta es muy importante conocer la condición en que se encuentra el suelo, debido a que es el lugar donde se desarrollan las raíces y se encuentran los elementos minerales que utilizan las plantas para su crecimiento y producción. En consecuencia, cada tipo de cultivo tiene unos requerimientos nutricionales y el suelo contiene esos elementos en cantidades variables que pueden o no satisfacer la demanda nutricional. Por ende, la importancia de conocer el tipo de suelo e implementar técnicas adecuadas, teniendo como premisa que la productividad de los suelos es una cuestión de sostenibilidad (FAO, 2013).

Teniendo en cuenta la necesidad de que las plantas tengan una buena nutrición, hay que decir que los macronutrientes y micronutrientes son importantes para el desarrollo vegetativo de las plantas, debido a que estas viven en un ambiente iónico muy diluido en el que logran nutrirse y, por lo tanto, completar su ciclo de vida. Esto es posible gracias a la capacidad que tienen de acumular en su interior iones de elementos esenciales como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, boro, zinc y cobre. Estos nutrientes están involucrados en funciones metabólicas o estructurales de las plantas, en las cuales no pueden sustituirse. La carencia de uno de los nutrientes produce una serie de síntomas de deficiencia y, si no son corregidas a tiempo, pueden conllevar a que el crecimiento de la planta se detenga, y en casos extremos causar la muerte (Piaggese, 2004).

Por otra parte, y teniendo en cuenta la cuestión de la sostenibilidad, tiene sentido mencionar que la agroecología consiste en el manejo ecológico del ecosistema, presentando alternativas a la actual crisis de modernidad, con propuestas de desarrollo participativo (Toledo, 1990). Además, incorpora un enfoque de la agricultura más ligado al entorno natural y más sensible socialmente, centrada en una producción sustentable ecológicamente, oponiéndose

a la reducción de la biodiversidad y uso de todo agroquímico, con la consiguiente contaminación y destrucción del ambiente, al excesivo e inadecuado uso de la mecanización y el riego (Martínez, 2004). De acuerdo con ese paradigma, esta investigación tiene como objetivo caracterizar agroquímicamente los suelos seleccionados para conocer la fertilidad natural de los mismos, en los 15 predios beneficiados por el proyecto "Desarrollo estratégico agroecológico para el fortalecimiento del sector productivo en el Departamento de Boyacá" (municipio de Santa María), con la finalidad de valorar las necesidades de nutrientes para los futuros modelos agroecológicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el municipio de Santa María - Boyacá, abarcando 15 fincas con suelos no cultivados previamente que están dedicados, en su gran mayoría, a la preservación de pastos y cultivos abandonados. Estas fincas pertenecen a pequeñas familias productoras, cuyas prácticas agropecuarias se sustentan en el tradicionalismo y el predominio de monocultivos. Es en estos predios donde se pretende desarrollar tres modelos agroecológicos, constituidos por tres sistemas agroforestales, que se implementarán en las parcelas agroecológicas, las cuales contarán con un manejo agroecológico sostenible. Cada sistema se comparará con un cultivo de control (monocultivo) que se establecerá en la parcela testigo, siguiendo el manejo tradicional de los agricultores de la región. Estos modelos buscan la transformación de los sistemas de producción convencionales actuales a sistemas agroecológicos sostenibles.

Los futuros modelos agroecológicos son: modelo 1 (Leucaena-Aguacate-Frijol), modelo 2 (Balso-Naranja-Frijol), modelo 3 (Leucaena/Plátano/Maíz). Los cuales se implementarán en los suelos de las fincas objeto de investigación (Tabla 1).

La investigación se fundamentó en un diseño experimental cuantitativo, completamente aleatorizado, con dos factores: factor modelo (tres tipos de sistemas agroforestales) y el factor parcela (agroecológica y testigo), con el propósito de ver las diferencias en las propiedades de



los suelos previamente a la implementación de los modelos agroecológicos y las parcelas testigos. El análisis del nivel de fertilidad de los suelos se realizó en el mes de junio de 2019, de la siguiente forma: se tomaron muestras en las 15 ha, cada hectárea se dividió en 0,5 ha para la parcela agroecológica

y 0,5 ha para la parcela testigo, es decir, 2 muestras por finca, para un total de 30 muestras. Cada muestra estuvo compuesta por 15 submuestras, tomadas hasta una profundidad de 30 cm, para las dos parcelas. Las muestras se enviaron al laboratorio Dr. Calderón Labs. en la ciudad de Bogotá.

Tabla 1. Localización de predios caracterizados en el municipio de Santa María.

Finca	Modelo Agroecológico para implementar	Coordenadas Geográficas	
		N	W
Tierra Grata	1	4°52'10,6"	73°13'08,1"
Vista Hermosa	1	4°51'56,1"	73°13'04,0"
El Convento	1	4°54'00,8"	73°13'25,5"
El Porvenir I	1	4°52'16,4"	73°13'13,6"
El Paraíso	1	4°51'38,5"	73°14'47,9"
El Dorado	2	4°43'50,9"	73°17'02,6"
Gualandayes	2	4°44'16,3"	73°16'54,6"
Cachipay	2	4°54'25,0"	73°13'46,9"
La Argentina	2	4°51'21,2"	73°15'46,1"
Los Cafeteros	2	4°54'11,9"	73°13'24,3"
Porvenir II	3	4°52'07,8"	73°13'05,2"
La Vega I	3	4°51'41,3"	73°13'45,6"
La Vega II	3	4°52'04,7"	73°13'37,6"
Santa Cecilia	3	4°54'09,1"	73°13'25,0"
El Salvador	3	4°54'11,9"	73°13'21,2"

Fuente: Autores

Para cada parcela se mezclaron las submuestras recogidas en un recipiente limpio, donde se recolectó 1.3 kg de muestra. Además, se marcaron clara e inmediatamente las muestras, según la finca y la parcela. Se enviaron al laboratorio certificado, donde se obtuvieron los resultados de las variables fisicoquímicas de los suelos. En cada parcela seleccionada por finca se determinaron propiedades físicas, entre las cuales se destaca el porcentaje de arcilla, limo y arena. Así mismo, se estableció la clasificación de la textura de acuerdo con el triángulo textural de USDA, asumido también por la FAO (Gee y Bauder, 1986). Para categorizar los niveles bajos o deficientes de cada elemento analizado, se tuvieron en cuenta los niveles críticos de los elementos en los suelos, suministrados por el laboratorio Dr. Calderón Labs (Tabla 2).

2.1 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico descriptivo para todas las variables fisicoquímicas del suelo de las parcelas agroecológicas y testigos, lo cual permitió determinar los niveles bajos, deficientes y óptimos. Por otra parte, se valoró si existe variación u homogeneidad entre los parámetros fisicoquímicos de las 15 fincas. Una vez comprobado el cumplimiento del supuesto de normalidad para cada variable (por medio de la prueba Shapiro-Wilks y la igualdad de las varianzas de error por la prueba de Levene), se compararon las variables de los suelos donde se implementarán las parcelas agroecológicas, con las variables de los suelos destinados para las parcelas testigos por la prueba T de Student. Cuando no se cumplió el supuesto de normalidad, se compararon las variables por la prueba no paramétrica Kolmogorov-Smirnov. En ambos casos con una probabilidad de error de $P < 0,05$.

Tabla 2. Niveles críticos de las variables agroquímicas en suelos.

ELEMENTOS	DEFICIENTE	BAJO	MEDIO	ALTO
pH	4,6	5,4	7	8,2
Carbón Orgánico (%)	1	4	16	64
Fósforo (ppm)	13	26	156	312
Potasio (meg/100 ml)	0,16	0,48	0,96	1,94
Calcio (meg/100 ml)	1,5	6	15	30
Magnesio (meg/100 ml)	1	2	4	8
Sodio (meg/L E.S)	0,2	0,4	4,8	9,6
Aluminio (meg/100 ml)	0	0,12	0,24	0,48
Hierro (ppm)	100	200	800	1200
Manganeso (ppm)	15	30	60	120
Cobre (ppm)	0,25	0,5	1	4
Zinc (ppm)	1	2	5	20
Boro (ppm)	0,3	0,6	1,2	1,8
Azufre (ppm)	15	30	60	160
Nitrógeno-NH ₄ (ppm)	6	12	24	48
Nitrógeno NO ₃ (ppm)	40	80	160	320
Nitrógeno Total (%)	0,05	0,2	0,8	3,2
C.I.C. (meg/100 ml)	0	10	20	40
Saturación Hum. (%)	10	20	40	80
C.E. (ms/cm)	0,5	1	2	4
Rel (C/N)	5	10	20	40
Cloruros (meq/lit.E)	1	2	3	5

Fuente: Autores.

Para las variables que cumplieron los supuestos, se aplicó el análisis de varianza ANOVA unifactorial para determinar diferencias entre los tres modelos agroecológicos y después entre las fincas dentro de un mismo modelo. Las medias se compararon por la prueba de Tukey con un nivel de significación del 0.05. El procesamiento de los datos se realizó mediante el software SPSS Statistics for Windows, Versión 21.0. (International Business Machines Corporation [IBM], 2020).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Condiciones y propiedades químicas de los suelos para la implementación de los modelos agroecológicos

En las fincas donde se implementará el modelo 1 (Leucaena/Aguacate/Frijol) se

evidenció que el 100% de los suelos en las parcelas agroecológicas presentaron deficiencias para el K, Na, P, N-NO₃, S y Cu (Tabla 3). Así mismo, en el 80% de los suelos de estas parcelas, el Ca, Mg, y B se clasificaron como deficientes; mientras que el 20% restante presentó contenidos bajos. En cuanto al Fe, se observó que el 80% de los suelos se catalogaron con niveles bajos y, a su vez, el 40% de las fincas demostraron deficiencias para el Mn. En las parcelas testigos, donde se cultivará aguacate, se encontró que los suelos presentaron deficiencias para los mismos elementos químicos de las parcelas agroecológicas, con una similitud porcentual.



Tabla 3. Porcentaje de niveles bajos y deficientes de los elementos y propiedades químicas de los suelos del modelo 1.

		Nutrientes													
Parcelas (%)	Niveles	K	Ca	Mg	Al	Na	P	N-NH ₄	N-NO ₃	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Agroecológicas	Bajo	0	20	20	0	0	0	0	0	0	80	40	0	0	20
	Deficiente	100	80	80	0	100	100	0	100	100	0	40	100	0	80
Testigos	Bajo	40	40	40	0	0	0	0	0	0	60	20	0	0	20
	Deficiente	80	60	60	0	100	100	0	100	100	20	40	100	0	80
Propiedades Químicas		pH			C.E			C.I.C							
Agroecológicas	Bajo	40			0			0							
	Deficiente	60			100			0							
Testigos	Bajo	60			0			0							
	Deficiente	40			100			0							

K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; Al: aluminio; P: fósforo; N-NH₄: nitrógeno disponible como amonio; N-NO₃: nitrógeno disponible como nitrato; S: azufre; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; C. E.: conductividad eléctrica; C. I. C.: capacidad de intercambio catiónico

Fuente: autores.

Las deficiencias de N-NO₃, Ca, P, K, Mg y S indicaron que los suelos donde se implementará el modelo 1 tienen baja fertilidad natural. Además, debido a la deficiencia del Cu, se pueden asemejar a suelos de textura gruesa y con bajo contenido de materia orgánica, siendo esta última, en algunos casos, una limitante para el desarrollo de los cultivos (Lucas y Knezek, 1972). Por lo tanto, esto debe tenerse en cuenta, tanto en las parcelas agroecológicas como en las testigos, para la elaboración de los planes de fertilización.

Respecto a las fincas donde se implementará el modelo 2 (Balso/Naranja/Frijol), se evidenció que el 100% de los suelos de las parcelas agroecológicas para el Ca, Mg, Na, P, N-NO₃, S y Cu se caracterizaron como deficientes (Tabla 4). Igualmente, el K, en el 80 % de los suelos de estas parcelas, demostró deficiencias. Por otra parte, en las parcelas testigos donde se sembrará naranja Valencia, se encontró que los suelos presentan deficiencias para los elementos químicos K, Mg, Na, P, N-NO₃, S y Cu en el 100% de las fincas.

Tabla 4. Porcentaje de niveles bajos y deficientes de los elementos y propiedades químicas de los suelos del modelo 2.

		Nutrientes													
Parcelas (%)	Niveles	K	Ca	Mg	Al	Na	P	N-NH ₄	N-NO ₃	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Agroecológicas	Bajo	20	0	0	0	0	0	20	0	0	60	0	0	0	40
	Deficiente	80	100	100	0	100	100	0	100	100	0	60	100	0	60
Testigos	Bajo	0	20	0	0	0	0	0	0	0	60	60	0	0	20
	Deficiente	100	80	100	0	100	100	0	100	100	0	0	100	0	80
Propiedades Químicas		pH			C.E			C.I.C							
Agroecológicas	Bajo	20			0			0							
	Deficiente	80			100			0							
Testigos	Bajo	40			0			0							
	Deficiente	60			100			0							

K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; Al: aluminio; P: fósforo; N-NH₄: nitrógeno disponible como amonio; N-NO₃: nitrógeno disponible como nitrato; S: azufre; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; C. E.: conductividad eléctrica; C. I. C.: capacidad de intercambio catiónico

Fuente: autores.

El B se halló en menos cantidades dentro del rango deficiente, para el 80% de las parcelas testigos y un 60% de las parcelas agroecológicas; mientras que el Fe se clasificó en el 40% de los suelos de las dos parcelas en rangos de medio a alto, y los demás suelos se categorizaron en niveles bajos. Dadas las insuficiencias de los principales elementos químicos para el desarrollo del cultivo de naranja Valencia, hay que mencionar que los elementos Ca, Mg, P, N, y K son limitantes en la producción y en la calidad de los frutos, por ser suelos de baja fertilidad natural (Orduz y Baquero, 2008).

En cuanto a los suelos donde se desarrollará el modelo 3 (Leucaena/Plátano/Maíz), el 100% de las parcelas agroecológicas, según las pruebas para Na, P, N-NO₃, S y Cu, se categorizaron como deficientes. Así mismo, el 80% de las parcelas presentaron deficiencias para los elementos químicos Mg, Mn y B (Tabla 5). En las parcelas testigos, donde se cultivará plátano, se encontró que los suelos presentaron deficiencias para los mismos elementos químicos de las parcelas agroecológicas, con igual similitud porcentual.

Tabla 5. Porcentaje de niveles bajos y deficientes de los elementos y propiedades químicas de los suelos del modelo 3.

Nutrientes															
Parcelas (%)	Niveles	K	Ca	Mg	Al	Na	P	N-NH ₄	N-NO ₃	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Agroecológicas	Bajo	40	20	20	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20
	Deficiente	60	60	80	0	100	100	0	100	100	60	80	100	0	80
Testigos	Bajo	40	20	20	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	20
	Deficiente	60	60	80	0	100	100	0	100	100	40	60	100	0	80
Propiedades Químicas		pH			C.E			C.I.C							
Agroecológicas	Bajo	80			0			0							
	Deficiente	20			100			0							
Testigos	Bajo	80			0			0							
	Deficiente	20			100			0							

K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; Al: aluminio; P: fósforo; N-NH₄: nitrógeno disponible como amonio; N-NO₃: nitrógeno disponible como nitrato; S: azufre; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; pH: potencial de hidrógeno; C. E: conductividad eléctrica; C I. C.: capacidad de intercambio catiónico

Fuente: autores.

En consecuencia, la corrección de las deficiencias de Ca, Mg y P en los suelos dedicados a la agricultura se debe realizar antes del establecimiento de los cultivos, mediante la aplicación de enmiendas orgánicas y calcáreas, dado a que son nutrientes vitales para el crecimiento de las raíces y la constitución del tejido celular. Además, el Ca es un nutriente que se fija luego de su uso, por ende, inmóvil dentro de la planta, lo que indica que los futuros cultivos pueden mostrar sintomatología en las hojas más nuevas de las plantas (Ramos, 2011).

Otros elementos por considerar, para la implementación de los cultivos que integrarán los tres modelos agroecológicos, es la deficiencia del azufre, debido a que

este elemento es un agente activo en la formación de clorofila y la síntesis de aminoácidos y vitaminas. Se considera que el azufre es esencial para desarrollo de las plantas, ya que participa en múltiples procesos; así mismo, se considera que la deficiencia del azufre afecta el rendimiento y la calidad de las cosechas dado que se interrumpe la síntesis de proteínas. Castro y Hugo, (1998), por lo tanto, argumentan que la deficiencia de azufre se debe minimizar mediante los planes de fertilización, ya que la respuesta de los cultivos a los elementos NPK puede limitarse. En general, en los suelos donde se implementarán los tres modelos agroecológicos con sus respectivas parcelas testigos, se evidenció que el Al y el Zn presentaron mayores concentraciones,



caracterizándose en niveles medios y altos. Así mismo, los suelos para la variable C. I. C se caracterizaron dentro del rango óptimo. Por otro lado, el pH demostró la misma condición en todos los suelos de las 15 fincas, catalogándose dentro de los rangos bajos y deficientes.

Respecto a la acidez, de acuerdo con las condiciones de acidez que presentaron los suelos de este municipio se recomienda realizar labores de encalado, dados los beneficios que brindan principalmente para el desarrollo de los cultivos. El mayor efecto del encalado en los suelos de tendencia ácida es la reducción de la solubilidad del aluminio que, aún en bajas concentraciones, es tóxico para la mayoría de los cultivos (Espinosa y Molina, 1999); de igual modo, el encalado ayuda a suplir las deficiencias de calcio. Por ende, el encalamiento de los suelos debe tenerse en cuenta, ya que los suelos de la región son de tendencia extremadamente ácida. La acidez de los suelos está estrechamente relacionada con las condiciones climáticas, dado que en este municipio son frecuentes las fuertes lluvias. Sin embargo, se deben contemplar otros aspectos, ya que la acidez no solo depende de la precipitación, sino también de la temperatura que acelera los procesos de descarbonatación, la intervención antropogénica y su origen natural. Por otra parte, un suelo ácido también está asociado

con una inadecuada estructura que causa limitaciones en la circulación del aire y agua (Yáñez, 1989).

Para el caso de la C. E., los suelos de las parcelas agroecológicas y las testigos se categorizaron dentro del rango deficiente para las 15 fincas, registrando valores entre 0,5 y 1 mS/cm, lo cual no es una limitante para la implementación de los modelos agroecológicos; pues, según la clasificación de los suelos con base en su C.Ee y el efecto general sobre los cultivos, se esquematiza que los suelos con C.Ee inferior a 1 dS/m, son libres de sales (Castellanos et al., 2000). Es decir, no existe restricción para ningún tipo de cultivo, ya que esta variable no condiciona directamente el desarrollo de las plantas.

Por otra parte, los macroelementos, en su mayoría, presentaron una variabilidad espacial muy alta, reflejando una gran diferencia entre los valores mínimos y los máximos. Esto se confirmó mediante la obtención de los altos coeficientes de variación (CV), excepto para los macroelementos N-NH₄, S y la variable de C. I. C. El CV más alto se observó para el Ca (126,56 %), seguido del Mg (117,23 %). Esta variabilidad puede inferirse de condiciones inherentes del suelo, resultante de las interacciones que se dan en los procesos de su formación (Tabla 6).

Tabla 6. Resultado del análisis descriptivo de los Macroelementos.

Estadísticos Descriptivos	N-NH ₄	N-NO ₃	P (ppm)	S	Mg	K (meq/100 cc)	Ca	C. I. C. (meq/100 g)
Media	19,66	7,83	4,06	1,16	0,44	0,10	1,86	28,46
Mínimo	12	5	2	0	0,06	0,02	0,21	12,26
Máximo	24	20	12	2	1,83	0,38	8,39	37,00
SD	2,82	5,20	2,63	0,46	0,52	0,08	2,36	8,13
CV (%)	14,34	66,38	64,88	39,52	117,23	80,52	126,56	28,59

N-NH₄: nitrógeno disponible como amonio; N-NO₃: nitrógeno disponible como nitrato; P: fósforo; Mg: magnesio; S: azufre; K: potasio; Ca: calcio; C. I. C.: capacidad de intercambio catiónico; **SD**: Desviación Estándar; **CV**: Coeficiente de Variación.

Fuente: autores.

Respecto al N-NH₄, según la agrupación de los coeficientes de variación citados por Larreal et al., (2009), este demostró una variabilidad muy baja, dado que el CV se encontró dentro del rango de 0 a 15 %,

representando así una alta homogeneidad. Por ello, cabe resaltar que el N-NH₄ participa activamente en la dinámica del nitrógeno en el suelo, convirtiéndose en un elemento esencial y primario para la vida vegetativa

de las plantas (Preston, 1982; Marzadori et al., 1995; Feigenbaum et al., 1994). Una tendencia similar se observó en el análisis de los microelementos de los suelos, en el que se reflejó la incidencia de valores altos de CV que sobrepasaron el 60%, indicando

variabilidades muy altas según las referencias mencionados anteriormente, excepto para el Cl, Zn y Cu. Los microelementos con mayores rangos de CV fueron el Mn con un valor de 159,81%, seguido por el boro con el 75,25% (Tabla 7).

Tabla 7. Resultado del análisis descriptivo de los Microelementos

Estadísticos Descriptivos	Na (meq/L)	Al (meq/100 cc)	Zn	B	Fe (ppm)	Mn	Cu	Cl (meq/100L)
Media	0,06	2,8	4,31	0,18	189,83	40,3	0,12	28,46
Mínimo	0,01	0,1	2,9	0,05	51	2	0,1	12,26
Máximo	0,23	5,9	8,6	0,51	600	323	0,2	37
SD	0,04	1,68	1,36	0,13	130,83	63,19	0,043	8,13
CV (%)	60,53	60,22	31,51	75,25	68,92	156,81	34,89	28,59

Na: sodio; Al: aluminio; Zn: zinc; B: boro; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Cl: cloro; **SD**: Desviación Estándar; **CV**: Coeficiente de Variación.

Fuente: autores.

Dada la variabilidad entre sitios de muestreo muy alta para Mn y B, se apreció que existe una heterogeneidad en cuanto a sus contenidos en los suelos. Por lo tanto, es necesario darle manejo a esta situación con las alternativas que ofrece la agroecología para la incorporación de estos a los suelos, dado que hacen parte de los principales microelementos que necesitan las plantas para su crecimiento y los procesos de división celular.

3.2 Comparación de los parámetros fisicoquímicos de los suelos entre parcelas

No existieron diferencias significativas entre los macroelementos de parcelas agroecológicas y testigos en las 15 fincas evaluadas ($p > 0,05$). Por otro lado, los macroelementos reflejaron mayor rango de medida en las parcelas testigos, con excepción del P y el S (Tabla 8).

Tabla 8. Comparación de medias de los contenidos de macroelementos entre las parcelas.

Parcela	K	Ca ^a (meq/100 cc)	Mg ^a	P	N-NH ₄ (ppm)	N-NO ₃	S
Agroecológica	0,09	1,86	0,42	4,13	18,73	7,00	1,20
Testigo	0,11	1,88	0,47	4,00	20,60	8,67	1,13
Valor P	0,99ns	0,92ns	0,99ns	0,18ns	0,99ns	0,92ns	1,00ns

K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; P: fósforo; N-NH₄: nitrógeno disponible como amonio; N-NO₃: nitrógeno disponible como nitrato; S: azufre. ns. No significación estadística por la prueba T de Student o Kolmogorov-Smirnov para $p \leq 0,05$. ^a Las variables procesadas por la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Fuente: Autores.

Con relación al N-NH₄ y el N-NO₃, a pesar de que no presentaron diferencia estadística, los resultados demostraron que, para los suelos donde se implementarán las parcelas testigos, existe una tendencia de mayores concentraciones, siendo el N-NO₃ la principal forma de absorción del nitrógeno para las plantas de los futuros cultivos. Igualmente, la

comparación de medias de las concentraciones de los microelementos, entre las dos parcelas, evidenció que tampoco existen diferencias estadísticas según la prueba T de Student (Tabla 9). Es decir, las variables presentaron particularidades de heterogeneidad, indicando que son temporales e inestables con relación a su disponibilidad.



Tabla 9. Comparación de medias de los contenidos de microelementos y la C. I. C. entre las parcelas.

Parcela	Na (meq/L)	Cl (meq/100L)	Fe	Mn ^a Ppm	Cu ^a	Zn (meq/100cc)	B	Al	C. I. C. (meq/100g)
Agroecológica	0,06	0,49	180,07	23,33	0,13	4,29	0,20	2,75	29,17
Testigo	0,07	0,46	199,60	57,27	0,11	4,34	0,17	2,85	27,77
Valor P	0,92ns	0,92ns	0,92ns	0,66ns	0,92ns	0,99ns	0,92ns	0,88ns	0,92ns

Na: sodio; Cl: cloro; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; Al: aluminio; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico. ns. No significación estadística por la prueba T de Student o Kolmogorov-Smirnov para $p \leq 0,05$. ^a Las variables procesadas por la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Fuente: Autores.

De manera específica, es importante destacar los resultados obtenidos para los promedios del Al (2,75meg/100cc) en los suelos de las parcelas agroecológicas y para los suelos de las parcelas testigos (2,85meg/100cc). Estos últimos reflejaron altos contenidos respecto a los datos de referencia. Sobre el aluminio es necesario explicar que es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre y generalmente no se encuentra disponible para participar en reacciones biogeoquímicas, por ende, ocasiona toxicidad y reacciones negativas con otros elementos primarios (Driscoll y Schecher, 1990). Aunque también puede estar presente en otras formas no fitotóxicas, como los aluminosilicatos que se encuentran mezclados con metales como sodio, potasio, hierro, calcio o magnesio (Von Uexküll y Mutert, 1995; Baligar y Fageria,

1997). No obstante, en suelos ácidos (pH 5.5 - 4.5, o <4.5) los iones aluminio se solubilizan y pueden penetrar en células radicales, lo cual inhibe el crecimiento de las raíces y dificulta la absorción de agua y nutrientes esenciales como fósforo y calcio (Kochian et al. 2005). Por lo anterior, es recomendable generar medidas correctivas para la disminución de este elemento.

Con relación a otras variables, en la Tabla 10 se muestran las comparaciones de medias para variables agroquímicas como pH, C. E., arena, limo, arcilla, M. O., Da y saturación de bases en los suelos en los cuales se implementarán los dos tipos de parcelas. En el análisis se pudo notar que no existe significancia estadística, según la prueba de Student.



Tabla 10. Comparación de medias de las variables agroquímicas entre las parcelas.

Parcela	pH	C.E m.S/cm	Arena	Limo	Arcilla %	M.O.	Sat. Bases	Da g/cc
Agroecológica	4,67	0,09	19,13	54,80	26,07	3,43	1,03	4,67
Testigo	4,66	0,08	15,13	56,00	26,47	3,29	1,03	4,66
Valor P	0,96ns	0,375ns	0,92ns	0,83ns	0,94ns	0,37ns	0,66ns	0,95ns

pH: reacción del suelo; C.E: conductividad eléctrica; M.O: materia orgánica; Sat. Bases: saturación de bases; Da: densidad aparente. ns. No significación estadística por la prueba T de Student o Kolmogorov-Smirnov para $p \leq 0,05$. las variables procesadas por la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Fuente: Autores.

Las parcelas agroecológicas y las parcelas testigos presentaron suelos arcillosos-limosos, con rica cantidad de materia orgánica, pero con una baja saturación de bases. Por último, son suelos compactados, es decir, con mayor densidad aparente,

lo cual puede limitar el crecimiento de las raíces de los cultivos. Por ello, es necesario la implementación de buenas prácticas agrícolas enfocadas al manejo de los suelos, ya que en algunos casos la compactación de los suelos obedece al tipo de labranza.

3.3 Comparación de los parámetros fisicoquímicos de los suelos entre los modelos agroecológicos.

Los análisis de varianza (ANOVA) para las concentraciones de los macroelementos

evidenciaron la existencia de diferencia estadística significativa solo para la concentración de P, con mayor nivel para el modelo 2 y menor para el 3, no difiriendo el modelo 1 de estos dos (Tabla 11).

Tabla 11. ANOVA para los macroelementos de los suelos con respecto a los modelos agroecológicos.

Modelo	K	Ca (meq/100cc)	Mg	P	S	N-NH ₄ (ppm)	N-NO ₃
1	0,09a	1,99a	0,55a	3,60ab	1,30a	21,10a	8,50a
2	0,07a	0,82a	0,25a	5,70a	1,20a	19,20a	9,00a
3	0,13a	2,78a	0,53a	2,90b	1,00a	18,70a	6,00a
CV (%)	76,44	123,05	116,89	59,75	39,38	13,79	66,49
EE*	0,02	0,73	0,16	0,77	0,14	0,86	1,65

K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; P: fósforo; S: azufre; N-NH₄: nitrógeno disponible como amonio; N-NO₃: nitrógeno disponible como nitrato; **CV**: Coeficiente de Variación; **EE***: Error Estándar del Error Experimental para la comparación múltiple de medias de la prueba de Tukey. Valores de las medias con letras desiguales en las columnas de cada variable difieren para P<0,05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

Al comparar los microelementos de los suelos en los tres modelos agroecológicos, se encontró que solo para la variable C. I. C. era mayor para el modelo 3, con diferencia estadística significativa con los otros dos modelos. No se observó diferencia para el resto de las variables, sin embargo, se debe

destacar que el Fe en el modelo 3 es muy bajo (122,90 PPM), lo cual podría interferir en el desarrollo radicular de las plantas y en la falta de absorción de otros macroelementos y microelementos esenciales para el desarrollo vegetativo de los futuros cultivos de este modelo (Tabla 12).

Tabla 12. ANOVA para los microelementos de los suelos con respecto a los modelos agroecológicos.

Modelo	Al (meq/100cc)	Na	Cl- (meq/L)	Fe	Mn	Cu (ppm)	Zn	B	C.I.C (meq/100g)
1	2,82a	0,08a	0,45a	228,50a	27,20a	0,11a	4,67a	0,20a	31,99a
2	3,33a	0,07a	0,53a	218,10a	43,70a	0,14a	4,34a	0,17a	34,10a
3	2,25a	0,04a	0,44a	122,90a	50,00a	0,12a	3,94a	0,17a	19,30b
CV(%)	60,15	67,42	23,89	66,38	160,56	34,54	31,84	77,72	17,09
EE*	0,53	0,01	0,03	39,8	20,4	0,01	0,43	0,04	1,54

Na: sodio; Cl: cloro; Fe: hierro; Mn: manganeso; Cu: cobre; Zn: zinc; B: boro; Al: aluminio; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico; **CV**: Coeficiente de Variación; **EE***: Error Estándar del Error Experimental para la comparación múltiple de medias de la prueba de Tukey. Valores de las medias con letras desiguales en las columnas de cada variable difieren para P<0,05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 13, se observaron diferencias estadísticas entre los elementos agroquímicos

para pH, limo, M. O., Da y saturación de bases entre los modelos agroecológicos.



Tabla 13. ANOVA para las variables agroquímicas de los suelos con respecto a los modelos agroecológicos.

Modelo	pH	C.E m.S/cm	Arena	Limo %	Arcilla	M.O.	Sat. Bases	Da g/cc
1	4,68ab	0,07a	15,10a	57,70a	27,20a	3,26ab	8,14ab	1,01ab
2	4,49b	0,10a	11,40a	65,30a	19,70a	4,01a	3,35b	0,95b
3	4,82a	0,07a	24,90a	43,20b	31,90a	2,81b	20,29a	1,11a
CV (%)	5,25	52,48	110,87	23,10	53,18	29,81	133,53	13,05
EE*	0,08	0,01	6,00	4,04	4,42	0,31	4,47	0,04

CV: Coeficiente de Variación; **EE*:** Error Estándar del Error Experimental para la comparación múltiple de medias de la prueba de Tukey. Valores de las medias con letras desiguales en las columnas de cada variable difieren para $P < 0,05$ según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

Los suelos que integrarán el modelo 2 presentaron los valores más bajos de pH (4,49), difiriendo con los suelos del modelo 3 (4,82), más no con los del modelo 1 (4,68). Este mismo comportamiento se presentó para las variables saturación de bases y densidad aparente; mientras que, los porcentajes de materia orgánica fueron mayores en los suelos del modelo 2, sin presentar diferencias con los suelos del modelo 1, pero si con los suelos del modelo 3. Los contenidos de materia orgánica están directamente relacionados con los porcentajes de arena, debido a que entre mayor sea el porcentaje de arena en un suelo, menor será el contenido de materia orgánica. Consecuentemente, los porcentajes de limo fueron menores en los suelos del modelo 3 con respecto a los encontrados en los suelos del modelo 1 y 2.

El pH es una de las variables más importantes en los suelos de uso agrícola, pues afecta directamente la absorción de los nutrientes del suelo por las plantas. Esto

podría presentarse en los suelos en estudio, debido a que estos fueron de carácter ácido y este rango de pH no es apropiado para el desarrollo de los cultivos. Por esta razón, se deben implementar estrategias de manejo para corregir esta característica, teniendo en cuenta que el pH del suelo influye en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, es decir, este factor puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados (Benton, 2003).

3.4 Comparación de los parámetros fisicoquímicos de los suelos entre las fincas de cada modelo.

En la tabla 14 se muestran los parámetros fisicoquímicos que presentaron diferencias significativas entre los suelos de las cinco fincas que conformarán el modelo 1, como fue el caso del K, Ca, Al, Fe, porcentaje de limo, arcilla y Saturación de Bases. Así mismo, la C. I. C y el pH.

Tabla 14. Comparación de los parámetros fisicoquímicos de los suelos entre las fincas del modelo 1.

Finca	K	Ca (meq/100g)	Al	Fe (ppm)	Limo	Arcilla %	Sat. Bases	C.I.C (meq/100g)	pH
1	0,02b	0,38b	4,10a	124,00b	49,50ab	45,50a	1,86b	33,00a	4,54b
2	0,05ab	0,43b	3,50a	191,50b	51,50ab	27,00ab	2,06b	33,50a	4,70ab
3	0,16a	2,36b	2,05ab	155,50b	61,00ab	28,50ab	11,17ab	32,50a	4,61ab
4	0,15a	5,94a	0,40b	150,00b	46,50b	26,00ab	21,70a	33,50a	5,01a
5	0,09ab	0,85b	4,05a	521,50a	80,00a	9,00b	3,94b	27,47b	4,52b
CV (%)	32,94	36,66	18,83	26,49	14,45	30,98	42,84	11,34	2,24
EE*	0,02	0,52	0,37	42,80	5,89	5,96	2,46	2,56	0,07

Finca 1: Tierra Grata; Finca 2: El Porvenir I; Finca 3: Vista Hermosa; Finca 4: El Paraíso; Finca 5: El Convento; K: potasio; Ca: calcio; Al: aluminio; Fe: hierro; Sat. Bases: saturación de bases; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico; pH: reacción del suelo; **CV:** Coeficiente de Variación; **EE*:** Error Estándar del Error Experimental para la comparación múltiple de medias de la prueba de Tukey. Valores de las medias con letras desiguales en las columnas de cada variable difieren para $P < 0,05$ según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

Para el modelo 1, se presentaron las mayores concentraciones de K en los suelos de la finca Vista Hermosa y El Paraíso, sin evidenciar diferencia estadística con las fincas El Porvenir y El Convento, pero sí con la finca Tierra Grata. El contenido de Ca resultó mayor en el suelo de la finca El Paraíso, con diferencias significativas con el resto de las fincas. Respecto al aluminio, la mayor concentración de Al se encontró en el suelo de las fincas Tierra Grata (4,10 meq/100cc), El Convento (4,05 meq/100cc) y El Porvenir I (3,50 meq/100cc), con diferencia estadística solo con la finca El Paraíso. En cuanto al contenido de Fe, el suelo de la finca El Convento presentó el valor más alto, evidenciando diferencia estadística con las demás fincas.

La variable porcentaje de limo presentó el contenido más alto en la finca El Convento (80,00%), presentando una diferencia estadística con los suelos de la finca El Paraíso (46,50%), que a su vez fue el de menor porcentaje; las otras fincas presentaron valores intermedios sin diferencia con esta.

El contenido de arcilla fue mayor para la finca Tierra Grata (45,50 %), difiriendo con la finca El Convento y no con el resto. Por otro lado, el porcentaje de saturación de bases fue mayor en los suelos de la finca El Paraíso, el cual no difirió del registro de la finca Vista Hermosa, pero sí con los valores de las demás fincas, siendo estos los registros más bajos.

El valor de la C. I. C. resultó más bajo en la finca El Convento, la cual presentó diferencia con el resto de las fincas. Así mismo, se identificó que el suelo de la finca El Paraíso presentó el pH relativamente más alto (5,01), mostrando diferencia estadística con las fincas Tierra Grata (4,54) y El Convento (4,52). Este último fue el pH más bajo entre las fincas evaluadas del modelo 1, mientras que las demás fincas mostraron valores intermedios. En cuanto a los suelos de las fincas que integrarán el modelo 2, se evidenció diferencia estadística para la concentración de K, Mg, Al y Zn. De igual manera, para el porcentaje de M. O. y las variables Da, C. I. C. y C. E. (Tabla 15).

Tabla 15. Resultados de la comparación de los parámetros fisicoquímicos de los suelos entre las fincas del modelo 2.

Finca	K	Mg (meq/100cc)	Al	Zn (ppm)	M. O. %	Da g/cc	C. I. C. meq/100g	C. E. m.S/cm
1	0,06b	0,22b	3,60ab	5,25a	3,62b	1,11a	33,50b	0,15ab
2	0,16a	0,57a	4,85a	5,40a	6,22a	0,84b	36,50a	0,19a
3	0,04b	0,12b	2,10c	3,40b	3,25b	1,00ab	33,50b	0,06bc
4	0,03b	0,09b	2,35bc	3,70b	4,34ab	0,95ab	34,50ab	0,05c
5	0,07b	0,24b	3,75ab	3,95b	2,63b	0,88b	32,50b	0,06bc
CV (%)	104,67	107,33	47,64	30,03	48,69	15,11	6,28	86,00
EE*	0,05	0,18	1,12	0,92	1,38	0,10	1,51	0,06

Finca 1: El Dorado; Finca 2: Gualandayes; Finca 3: Cachipay; Finca 4: La Argentina; Finca 5: Los Cafeteros; K: potasio; Mg: magnesio; Al: aluminio; Zn: zinc; M. O.: materia orgánica; Da: densidad aparente; C. I. C.: capacidad de intercambio catiónico; C. E.: conductividad eléctrica; **CV**: Coeficiente de Variación; **EE***: Error Estándar del Error Experimental para la comparación múltiple de medias de la prueba de Tukey. Valores de las medias con letras desiguales en las columnas de cada variable difieren para $P < 0,05$ según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

En el modelo 2, se presentaron las mayores concentraciones de K (0,16 meq/100 cc) y Mg (0,57 meq/100 cc) en el suelo de la finca Gualandayes, evidenciando diferencia estadística con el resto de las fincas. Igualmente, el contenido de Al resultó mayor en el suelo de la finca Gualandayes (4,85 meq/100 cc), sin diferencia estadística con los suelos de las fincas El Dorado y

Los Cafeteros, pero sí con las fincas La Argentina y Cachipay. En cuanto al Zn, la mayor concentración la reflejó las fincas Gualandayes y El Dorado que difirieron con las otras fincas. De igual manera, el contenido de M. O. fue mayor en el suelo de la finca Gualandayes, sin diferencia estadística con la finca La Argentina, pero sí con el resto de las fincas. Solo Gualandayes superó el contenido



de 5%. Por otra parte, el valor más alto de la Da se presentó en el suelo de la finca El Dorado, presentando diferencia estadística con las fincas Gualandayes y Los Cafeteros y no con el resto.

Al igual que en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos, la finca Gualandayes presentó el valor más alto de C. I. C., difiriendo con las demás fincas, excepto con la finca La Argentina. Así mismo, la C. E. fue mayor para el suelo de esta finca, sin diferencia

estadística con la finca El Dorado, pero sí con el resto de las fincas, donde además se evidenciaron valores muy bajos como fue el caso de la finca La Argentina (0,05 m. S/cm). El análisis de varianza para los suelos de las fincas del modelo 3, demostró también diferencia estadística significativa para todas las variables (concentración de los elementos K, Ca, Mg, Al y N-NH₄, el contenido de arcilla, la Saturación de Bases, la C. I. C. y el pH) (Tabla 16).

Tabla 16. Resultados de la comparación de los parámetros fisicoquímicos de los suelos entre las fincas del modelo 3.

Finca	K	Ca (meq/100cc)	Mg	Al	N-NH ₄ (ppm)	Arcilla %	Sat. Bases	C.I.C meq/100g	pH
1	0,05b	0,33c	0,07c	1,75ab	20,00ab	36,50ab	2,86c	17,39b	4,52c
2	0,29a	8,08a	1,82a	0,20b	17,50bc	20,00ab	57,35a	17,83b	5,19a
3	0,05b	0,54c	0,15bc	3,30ab	22,50a	42,50a	2,26c	33,00a	4,74bc
4	0,21ab	4,42b	0,45b	0,50b	15,00c	12,00b	32,55b	15,98b	5,09ab
5	0,06b	0,55c	0,18bc	5,50a	18,50abc	48,50a	6,46c	12,32b	4,55c
CV (%)	117,99	173,49	194,07	137,63	21,15	68,20	168,66	58,28	9,03
EE*	0,11	3,41	0,73	2,18	2,79	15,38	27,74	7,95	0,30

Finca 1: Porvenir II; Finca 2: La Vega I; Finca 3: La Vega II; Finca 4: El salvador; Finca 5: Santa Cecilia; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Al: aluminio; N-NH₄: nitrógeno disponible como amonio; Sat. Bases: saturación de bases; C.I.C: capacidad de intercambio catiónico; pH: reacción del suelo; **CV**: Coeficiente de Variación; **EE***: Error Estándar del Error Experimental para la comparación múltiple de medias de la prueba de Tukey. Valores de las medias con letras desiguales en las columnas de cada variable difieren para P<0,05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

Las mayores concentraciones de K en el modelo 3 se verificaron en las fincas La Vega I y El Salvador, que se diferenciaron de las fincas Porvenir II, La Vega II y Santa Cecilia. El contenido de Ca resultó mayor en el suelo de la finca La Vega I presentando diferencias significativas con todas las fincas, para este elemento la finca Porvenir presentó solo 0,33 meq/100 cc.

El valor más alto de Mg se reflejó en la finca La Vega I (1,82 meq/100 cc), difiriendo con las demás fincas; a su vez, la menor concentración se evidenció en la finca Porvenir II (0,07 meq/100 cc.). La mayor concentración de Al se encontró en el suelo de la finca Santa Cecilia (5,50 meq/100 cc.), reflejando diferencia estadística con las fincas La Vega I y El Salvador, y no con las otras dos. En cuanto al contenido de N-NH₄, el suelo de la finca La Vega II presentó el valor más alto, sin diferir con las fincas Porvenir II y Santa Cecilia, pero sí con las demás fincas.

El contenido de arcilla fue mayor para las fincas Santa Cecilia (48,50 %) y la Vega II (42,50 %) que difirieron únicamente con la finca El Salvador. Por otro lado, el mayor porcentaje de saturación de bases se evidenció en el suelo de la finca La Vega I (57,35 %), difiriendo con los valores de las demás fincas. El valor relativo más bajo de saturación de bases se encontró en la finca La Vega II (2,26%). En cuanto a la C. I. C., su valor resultó más alto en los suelos de la finca La Vega II (33,00), difiriendo con las cuatro fincas restantes, las cuales presentaron registros relativamente bajos. Así mismo, se encontró que el suelo de la finca La Vega I presentó el pH más alto (5,19) mostrando diferencia estadística con el resto de las fincas, excepto con la finca El Salvador.

La existencia de diferencias estadísticas entre los suelos de las fincas que integrarán cada modelo agroecológico resulta preocupante, ya que podría derivar un

crecimiento y desarrollo no uniforme de los cultivos de un mismo modelo, especialmente por las diferencias evidenciadas en los niveles de los principales macroelementos como K, Ca, Mg y algunos microelementos como el Fe y Zn, además de las variables C. I. C. y pH. Estas diferencias deben tenerse en cuenta en el manejo de las enmiendas y fertilizantes que pueden emplearse para suplir las necesidades de estos elementos y para la mejora de las condiciones fisicoquímicas del suelo.

La variable C. I. C. presentó diferencias significativas entre los suelos de las fincas de los tres modelos, por lo que debe mantenerse una observancia sobre la futura influencia de la C. I. C. en el desarrollo de los cultivos, debido a que esta se asocia con la textura, el porcentaje de arcilla y el contenido de materia orgánica del suelo (Stevenson y Cole, 1999). En el municipio de Santa María, los suelos presentaron tendencia a manejar valores muy variantes para la C. I. C., como se muestra en los resultados obtenidos, en los que se evidencia que el valor mínimo es significativamente bajo (12,32meq/100g), en comparación al registro máximo (36, 50meq/100g). En cuanto al porcentaje de saturación de bases, los suelos de las fincas Tierra Grata, El Porvenir I y El Convento del modelo 1, y las fincas Porvenir II, La Vega II y

Santa Cecilia del modelo 3 presentaron valores muy bajos, inferiores a 6,5%, reflejando pocas posibilidades para retener cationes, lo cual se debe corregir para evitar dificultades en la nutrición de los futuros cultivos.

Los valores más bajos del pH se obtuvieron en las fincas Tierra Grata y El Convento del modelo 1, al igual que en las fincas Porvenir II y Santa Cecilia; por esto se debe tener cuidado con los cultivos, ya que los pH muy bajos pueden limitar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Loué, 1988).

Los suelos de las fincas donde se implementarán los tres modelos presentaron altos contenidos de Al. Esto se comprobó en los suelos de las fincas Tierra Grata, El Convento y El Porvenir I del modelo 1, las fincas El Dorado, Los Cafeteros y Gualandayes del modelo 2 y las fincas Santa Cecilia y La Vega II del modelo 3. Según Espinosa y Molina (1999), esta condición podría llegar a ser tóxica para la mayoría de los cultivos, por esta razón es importante la disminución de los niveles de Al y la aplicación de mulch, materia orgánica y abonos verdes, los cuales tienen una gran efectividad en la reducción de los efectos tóxicos del aluminio en suelos ácidos (Casierra y Aguilar, 2007).

CONCLUSIONES

Las fincas beneficiarias del proyecto Boyacá Agro, en el municipio de Santa María, mostraron porcentajes bajos o deficientes en los niveles de macroelementos N-NO₃, P, K, Ca, Mg y S; además, un alto porcentaje de los suelos presentaron un pH ácido y deficiencia en la conductividad eléctrica. Estas condiciones son compartidas para los suelos destinados a los tres modelos agroecológicos, tanto en las parcelas agroecológicas como en las testigos. Por otra parte, se evidenció exceso del aluminio, lo cual puede implicar toxicidad y afectación en el sistema radicular de las futuras plantas.

En general, los suelos del estudio presentaron una alta variabilidad espacial para los macroelementos, excepto para N-NH₄, S y la C. I. C.; así como para la mayoría de los microelementos, menos el Zn, Cu y el Cl. Estas

condiciones pueden repercutir en el desarrollo desigual de los cultivos sobre todo para los que se siembren en las fincas que pertenecen a un mismo modelo. A su vez, el análisis de varianza entre los parámetros fisicoquímicos de los suelos, permitió identificar que el P se encuentra en concentraciones superiores en los suelos donde se sembrará el modelo 2. Este elemento presentó diferencias significativas respecto a los suelos donde se establecerá el modelo 3 y no en los suelos donde se desarrollará el modelo 1. Así mismo, la C. I. C. fue mayor para los modelos 1 y 2, con diferencias estadísticas significativas con el modelo 3.

Las fincas de cada modelo evidenciaron diferencias estadísticas para los elementos agroquímicos K, Ca, Mg, Fe, N-NH₄, Al y Zn,



y la C. I. C. Resulta preocupante la existencia de una diferencia estadística significativa para todas estas variables, entre los suelos de fincas que pertenecerán a un mismo modelo agroecológico. De igual forma, el análisis de suelos mostró una diferencia estadística

significativa entre estos, al evaluar las propiedades físicas C. E., pH, contenido de limo y arcilla, saturación de bases, densidad aparente y M. O., difiriendo este último parámetro entre las fincas que participarán en el modelo 2. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Belcy Hernández Tabaco: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura - borrador original, revisión y edición.

Leónidas Castellanos González: investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura - revisión y supervisión.

AGRADECIMIENTOS

Queremos hacer un reconocimiento especial a la Gobernación del departamento de Boyacá y a la Universidad de Pamplona quienes, en aras de dar cumplimiento al objeto del proyecto "Desarrollo estratégico agroecológico para el fortalecimiento del sector productivo en el Departamento de Boyacá", realizaron la toma de muestras de suelo en las 15 fincas del municipio de Santa María para el desarrollo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

Arteaga, J., Navia, J. y Castillo, J. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 62-75. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.53>

Baligar, V. C. & Fageria, N. C. (1997). Nutrient use efficiency in acid soils: Nutrient management and plant use efficiency. En A. C. Moniz, A. M. C. Furlani, N. K. R. E. Schaffert, Fageria, C. A. Rosolem y H. Cantarella (Eds.), *Plant-Soil Interactions at Low pH: Sustainable Agriculture and Forestry Production* (pp. 75-93). Brazilian Society of Soil Science.

Benton, J. (2003). *Agronomic handbook: Management of crops, soils, and their fertility*. CRC PRESS.

Castellanos, J. Z., Uvalle, J. X. y Aguilar, A. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas*. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.

Castro, H. (1998). *Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas*. ProduMedios.

Casierra-Posada, F. y Aguilar-Avenidaño, O. E. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-257. <https://doi.org/10.17584/rcch.2007v1i2.8701>

Driscoll, C. T. & Schecher, W. D. (1990). The chemistry of aluminum in the environment. *Environmental Geochemistry and Health* 12(2), 28-49. <https://doi.org/10.1007/BF01734046>

Espinosa, J. y Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. *International Plant Nutrition Institute*. <http://doi.org/10.13140/2.1.3888.9281>

Feigenbaum, S., Hadas, A., Sofer, M. & Molina, J. A. E. (1994). Clay-fixed labeled ammonium as a source of available nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3), 980-985. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800030049x>

Gee, G. & Bauder, J. (1986). Particle-size Analysis. En A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: part I-Physical and mineralogical methods* (pp.1-1188). *Soil Science Society of America*. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>

International Business Machines Corporation. (16 april 2020). *SPSS Statistics for Windows, Version 21.0*. <https://www.ibm.com/support/pages/spss-statistics-210-available-download>

Kochian, L. V., Piñeros, M. A. & Hoekenga, O. A. (2005). The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*, 274, 175-195. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-1158-7>

Larreal, M., Chirinos, I., Jiménez, L., Polo, V., Peters, W. y Noguera, N. (2009). Variabilidad de algunas de las propiedades físicas de un suelo para la definición de la serie "Los Cortijos", sector semiárido de la altiplanicie de Maracaibo, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 925-936. <http://udoagricola.orgfree.com/V9N4UDOAg/V9N4Larreal925.htm>

Loué, A. (1988). *Los microelementos en agricultura*. Ed. Mundi-Prensa.

Lucas, R. & Knezek, B. (1972). Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plant. En J.J. Mortvedt (Ed.), *Micronutrients in agriculture* (pp. 1-666). Soil Science Society of America.

Martínez, R. (2004). Fundamentos culturales, sociales y económicos de la agroecología. *Revista de Ciencias Sociales*, 1-2(103-104), 93-102. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15310407>

Marzadori, C., Scudellari, D., Marangoni, A., Simoni, L., Antisari, L. V. & Gessa, C. (1995). Seasonal variation of interlayer ammonium in the soil of a peach orchard. *Acta Horticulturae*, 383, 35-46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.383.4>

Orduz, J. y Baquero, J. (2008). Diagnostico nutricional de la naranja valencia (*C. sinensis*) y de la mandarina Arrayana (*C. reticulata*) en el piedemonte del Meta. En S. Caicedo, C. R. Salamanca, C. A. Jaramillo, E. F. Almansa, L. D. Peña (Eds.), *XIV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo: Manejo del Suelo en la Mitigación del Cambio Climático*, (pp. 36-37). Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016). *Estado Mundial del Suelo: Resumen Técnico*. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

Piaggese, A. (2004). *Los microelementos en la nutrición vegetal*. Valagro. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Losmicroelementosenlanutricionvegetal.pdf>

Preston, C. M. (1982). The availability of residual fertilizer nitrogen immobilized as clay-fixed ammonium and organic N. *Canadian Journal of Soil Science*, 62(3), 479-486. <https://doi.org/10.4141/cjss82-052>

Ramos, F. (2011). *Nutrición vegetal*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. <https://es.scribd.com/document/387958688/nutricion-vegetal>

Stevenson, F. J. & Cole, M. A. (1999). *Cycles of Soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients* (2a ed.). Wiley.

Silva, S. M. y Correa, F. J. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13-34. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1156/2435>

Toledo, V. M. (1990). Modernidad y Ecología. La nueva crisis planetaria. *Ecología Política*, 3, 9-22. https://www.ecologiapolitica.info/novaweb2/wp-content/uploads/2019/10/03_Toledo_1992.pdf

Von Uexküll, H. R. & Mutert, E. (1995). Global extend, development and economic impacts of acid soils. *Plant and Soil*, 171, 1-15. <https://doi.org/10.1007/BF00009558>

Yáñez, J. (1989). Análisis de suelos y su interpretación. *Revista Horticultura*, 49, 75 - 89. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1989_49_75_89.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.



APLICACIÓN DE UREA, DAP Y KCl SOBRE ALMÁCIGOS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DE LA VARIEDAD CASTILLO

APPLICATION OF UREA, DAP AND KCl TO COFFEE (*Coffea arabica* L.) SEEDBEDS OF THE CASTILLO VARIETY

Javier García Alzate • javier@udenar.edu.co

Doctor en Fisiología de la Producción, Universidad de Nariño, Colombia.

Carlos Andrés Benavides-Cardona • cabenavides@udenar.edu.co

Estudiante del Doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad de Nariño, Colombia.

David Eduardo Álvarez Sánchez • daealvarezsa@udenar.edu.co

Doctor en Agroecología, Universidad de Nariño, Colombia.

Citación: García, J., Benavides-Cardona, C., Álvarez, D. (2022). Aplicación de Urea, DAP y KCl sobre almácigos de café (*Coffea arabica* L.) de la variedad Castillo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 33 - 49. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4297>

RESUMEN

Contextualización: en el sistema productivo del café, la etapa de almácigo o semillero se constituye como determinante del éxito para la implementación y comportamiento del cultivo. En esta etapa, la nutrición es un factor muy relevante.

Vacío de conocimiento: la utilización de sustratos de diversas procedencias para la implementación de almácigos en el café, dificulta un correcto diagnóstico de fertilidad. Por esta razón, la nutrición en esta fase del sistema productivo se basa en recomendaciones y fórmulas generalizadas que no consideran las necesidades diferenciales de las variedades de café empleadas y su estado al momento del trasplante.

Propósito: el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de los fertilizantes Urea, DAP, KCl y mezclas de estas sobre el crecimiento de plántulas de café (variedad Castillo) durante la etapa de almácigo.

Metodología: este trabajo se realizó en el año 2019 en la granja La Quinta, del municipio de Consacá (Nariño-Colombia), a 1.650msnm, bajo un diseño completamente al azar, con ocho tratamientos y ocho

repeticiones, así: 2,17g de Urea + 0,7g de DAP; 4,3g de DAP; 3,3g de KCl; 0,6g de Urea + 4,3g de DAP; 2,1g de Urea + 3,3g de KCl; 4,3g de DAP + 3,3g de KCl; 2,1g de Urea + 4,3g de DAP + 3,3g de KCl y un testigo al que no se le aplicaron tratamientos. Se realizó un análisis de varianza con las siguientes variables: altura de planta, número de hojas, peso seco y fresco de las plántulas, además de un análisis de crecimiento funcional con evaluaciones quincenales.

Resultados y conclusiones: el tratamiento con DAP presentó la mayor altura (20,65cm), mayor peso fresco y seco de tallo (3,86g; 1,43g), mayor peso seco total (5,33g), mayor área foliar (350,8 cm²) e índice de área foliar (0,99). El tratamiento con Urea + DAP mostró la mejor tasa de asimilación neta (0,00029g cm⁻² d⁻¹) y mejor tasa de crecimiento del cultivo (2,87 e-05 g cm⁻² d⁻¹). El tratamiento con DAP + KCl alcanzó el mayor valor para tasa de crecimiento relativa (0,047g d⁻¹). En todos los casos se demostró que, para la fase de almácigo, el fósforo se tornó concluyente, debido a que su presencia se relacionó con comportamientos fisiológicos superiores.

Palabras clave: área foliar; crecimiento; fertilización; plántula; peso seco

ABSTRACT

Contextualization: In the coffee production system, the seedling stage is a determining factor in the success of the implementation and behavior of the crop. In this stage, the nutrition is a very relevant factor.

Knowledge gap: The use of substrates with diverse origins for the implementation of seedbeds in coffee makes difficult a correct diagnosis of fertility. For this reason, the nutrition in this phase of the productive system is based on recommendations and generalized formulas, that do not consider the differential needs of the varieties used and their state at the time of transplantation.

Purpose: The objective of this research was: evaluating the effect of Urea, DAP and KCl fertilizers and mixtures of these on the growth of coffee seedlings (variety Castillo) during the seedling stage.

Methodology: The work was carried out in 2019, at the farm La Quinta, in the municipality of Consacá (Nariño-Colombia), at 1.650 meters above sea level, using a completely randomized design with eight treatments and eight repetitions distributed

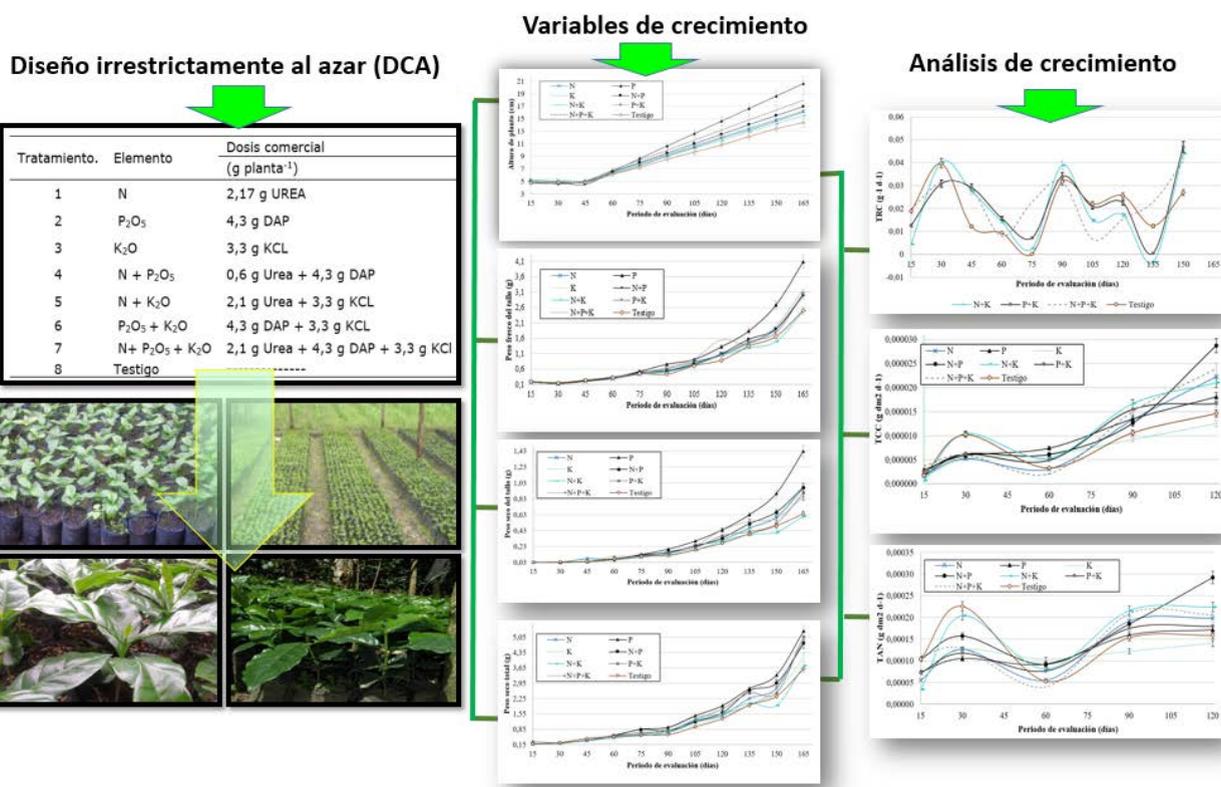
this way: 2.17g of Urea + 0.7g of DAP; 4.3g of DAP; 3.3g of KCl; 0.6g of Urea + 4.3g of DAP; 2.1g of Urea + 3.3g of KCl; 4.3g of DAP + 3.3g of KCl; 2.1g of Urea + 4.3g of DAP + 3.3g of KCl and a control without application. It was carried out an analysis of variance with these variables: height, number of leaves, dry and fresh weight of the seedlings, besides a functional growth analysis with biweekly evaluations.

Results and conclusions: The treatment with DAP presented the highest height (20.65cm), greater fresh and dry weight of stem (3.86g; 1.43g), greater total dry weight (5.33g) greater leaf area (350.8cm²) and leaf area index (0.99). The Treatment with Urea + DAP showed better net assimilation rate (0.00029g cm⁻² d⁻¹) and better crop growth rate (2.87e⁻³ g cm⁻² d⁻¹). The Treatment with DAP and KCl reached the highest value for relative growth rate (0.047g g⁻¹ d⁻¹). In all cases, phosphorus became conclusive for the seedling stage, due to its presence was related to superior physiological behavior.

Keywords: leaf area; growth; fertilization; seedling; dry weight



RESUMEN GRÁFICO



Esquema metodológico y descripción de resultados.

Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los principales cultivos en el mundo. Se cultiva en alrededor de 80 países (Moisés et al., 2015) con una distribución marcada en las regiones tropicales y subtropicales. Sin embargo, a pesar de la importancia que representa, solo dos especies son explotadas comercialmente *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* L. (Herrera et al., 2002).

De acuerdo con la Organización Internacional del Café (OIC, 2016), el consumo de café aumentó en las últimas décadas, pasando de aproximadamente 58 millones de sacos en los años 60 a 150 millones de sacos en el 2014. Colombia participa del mercado y concentra su producción en zonas históricamente conocidas por su vocación cafetera. Entre ellas, el eje cafetero y departamentos como Huila y Nariño que presentan diferenciales en crecimiento y desarrollo frente a otros países (Ramírez, 2014).

Estas diferencias, hacen que la producción nacional presente variaciones con respecto a otros países, de tal forma que, para 2015, el rendimiento fue de 16,8 sacos ha* año por debajo de Brasil que produjo 24,5 sacos ha* año (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC], 2015). Además, se suman otros problemas de índole socioeconómico, tales como la escasez de mano de obra para labores agronómicas, que afectan su productividad (Ocampo y Alvarez, 2017; Salazar et al., 2016).

La calidad y rendimiento del cultivo se determina proporcionalmente a cada una de sus fases: desde la conformación del almácigo, hasta su procesamiento (Flórez et al., 2016; Sadeghian, 2013). En la etapa de almácigo, el objetivo es obtener plantas de calidad con eficiencia en recursos, iniciando con las chapolas (como son conocidas las plántulas seleccionadas en el germinador) que pasan al almácigo como tal y continuando con sustratos eficientes, bolsas de capacidad

apropiadas, requisitos fitosanitarios y nutrición conforme a los requerimientos del material vegetal (Puerta et al., 2016). Debe tenerse en cuenta que los requerimientos minerales varían según el estado del crecimiento (Ávila-Reyes et al., 2010). Por lo tanto, utilizar patrones generalizados de nutrición en almácigos o aportes de materiales orgánicos convencionales (Arcila et al., 2007) puede resultar contraproducente a nivel económico, agronómico, social y ambiental (Sadeghian y Duque, 2003).

La obtención de almácigos vigorosos es uno de los pilares fundamentales en el establecimiento de los cultivos de café, que pueden permanecer hasta por más de 15 años en el campo. Entre los factores de éxito para lograr este objetivo está la adecuada nutrición de las plantas, la cual depende, entre otros aspectos, de la selección apropiada de la dosis y la fuente de cada elemento fertilizante.

En este contexto, y con miras a fortalecer el conocimiento del sistema productivo del café, este trabajo planteó como objetivo evaluar el efecto sobre las variables fisiológicas y de crecimiento de los fertilizantes Urea, DAP y KCl en la etapa de almácigo de café (variedad Castillo) en condiciones de manejo tradicional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo se realizó durante el primer semestre del 2019 en la granja experimental La Quinta de la Universidad de Nariño, ubicada en el municipio de Consacá (Nariño-Colombia), a 1.650 msnm, temperatura media de 20°C y 1.600 mm de precipitación anual (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2017).

Material vegetal y sustrato

Se emplearon plántulas de café (*Coffea arabica* L.) de la variedad Castillo, trasplantadas en bolsas plásticas (17cm x 23cm), con un sustrato mezcla de suelo y pulpa de café descompuesta 3:1 (Tabla 1). El almácigo se ubicó bajo polisombra negra al 50% y se condujo agronómicamente de forma homogénea, en cuanto a los parámetros de riego y fitosanitarios, de acuerdo con las observaciones y el monitoreo periódico.

Tabla 1. Caracterización física-química del sustrato utilizado.

Característica	Contenido
Ph	6,10
Materia Orgánica %	3,81
CIC cmol Kg	14,6
Ca cmol Kg	10,5
Mg cmol Kg	3,3
K cmol Kg	0,72
Fe mg Kg	143
Mn mg Kg	30,7
P mg Kg	10,8
Cu mg Kg	2,48
Zn mg Kg	5,29
B mg Kg	0,18
N total %	0,15
S mg Kg	4,41
Textura	Areno-arcilloso
Densidad aparente g cc	0,76

Fuente: Autores.

Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con ocho tratamientos e igual número de repeticiones (Tabla 2). La fertilización se aplicó en dos fases: 50% de la dosis al momento del trasplante de las plántulas y 50% dos meses después. Las dosis aplicadas, correspondieron a un aporte por planta de 1g de N, 2g de P₂O₅ y 2g de K₂O, representadas en dosis comerciales de Urea (46% NH₄), (DAP) (46% P₂O₅ y 18% NH₄) y Cloruro de Potasio (KCl) (60% K₂O) aplicados en forma individual y en combinación en forma granulada.

VARIABLES EVALUADAS

En un esquema de muestreo destructivo, a partir de los **15 días después del trasplante (ddt)**, quincenalmente se evaluaron en ocho plantas por repetición, durante seis meses, las siguientes variables: altura total en centímetros (AT); número de hojas (NH); peso fresco (PFR) y seco de raíz (PSR); peso de tallo (PST); peso de hojas (PSH) en gramos y área foliar total (AF) estimada a partir del NH y de la evaluación individual, obtenida a través de la ecuación propuesta por Soto (1980).



Tabla 2. Tratamientos utilizados en el café de la variedad Castillo en etapa de almácigo.

Tratamiento	Elemento	Dosis comercial (g planta)
1	N	2,17 g de Urea
2	P ₂ O ₅	4,3 g de DAP
3	K ₂ O	3,3 g de KCl
4	N + P ₂ O ₅	0,6 g de Urea + 4,3 g de DAP
5	N + K ₂ O	2,1 g de Urea + 3,3 g de KCl
6	P ₂ O ₅ + K ₂ O	4,3 g de DAP + 3,3 g de KCl
7	N+ P ₂ O ₅ + K ₂ O	2,1 g de Urea + 4,3g de DAP + 3,3 g de KCl
8	Testigo (sin aplicación)	

Fuente: Autores.

$$Y=0,64*(L*A)+0,49 \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde: Y= área foliar; L = largo de la hoja; A = ancho de la hoja; 0,64 y 0,49 = constantes

Teniendo en cuenta las variables anteriores, para el análisis del crecimiento, se obtuvo el Índice de área foliar (IAF), mediante la ecuación propuesta por Campostrini y Yaminisi (2001). Así mismo, se determinaron la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa relativa de crecimiento (TCR), la tasa de asimilación neta (TAN) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) a través de los procedimientos descritos por Gardner et al. (2003).

Análisis de la información

Los datos correspondientes a la última medición (160 ddt) se sometieron a un análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) y, una vez comprobados los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Para el análisis de crecimiento se graficó el comportamiento de las variables con respecto al tiempo (15 a 160 ddt), estudiando los modelos de regresión lineal simple y el modelo cuadrático. Para la evaluación se consideró la significancia estadística ($\alpha=0,05$) y el coeficiente de determinación ajustado (R²) de acuerdo con Di Benedetto y Tognetti (2016). Los procesos estadísticos se realizaron mediante el lenguaje de programación R v.4.2, usando el paquete Agricolae.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis del sustrato, es importante indicar que presentó un pH cercano a la neutralidad (6,1) y con bajos niveles de aluminio intercambiable (Al⁺⁺). Estos aspectos facilitan las reacciones químicas y absorción de nutrientes por parte de las plántulas de café (Sadeghian y González, 2014; Bojórquez-Quintal et al., 2014). Lo contrario sucede cuando existe incremento de la acidez con implicaciones considerables en la eficiencia de la fertilización, ya que entre más ácido sea un sustrato, habrá menor capacidad de retención o "almacenamiento". Por ende, más aluminio ocupará sitios de intercambio, habrá menos bases intercambiables y más susceptibilidad de los nutrientes para perderse por lavado, más allá del alcance de las raíces (Sadeghian, 2016).

En el sustrato se reportó, también, 0,93g de N por bolsa, cumpliendo con los requerimientos para el almácigo. Sin embargo, después de la aplicación de los tratamientos hubo respuestas diferenciales en el comportamiento de las variables evaluadas en él. Esto posiblemente se deba a que la cantidad presente del elemento no estuvo disponible para la planta por procesos de mineralización o fijación de amonio en las arcillas (Debela et al., 2018).

Respecto a las variables de altura total (AT), peso fresco del tallo (PFT), peso fresco de hojas (PFH), peso seco del tallo (PST) y peso seco total (PSTT), después

de evidenciar diferencias estadísticas que cumplieran con los supuestos del análisis de varianza, se compararon los tratamientos como se resume en la Tabla 3. Por otra parte, la variable número de hojas (NH) no

presentó diferencias estadísticas significativas, posiblemente, porque en el estado fenológico evaluado, esta depende de las características morfológicas del genotipo, sin ser afectada por factores externos (Pino et al., 2019).

Tabla 3. Comparación de Medias de Tukey para las variables altura de planta (AT), peso fresco de tallo (PFT), peso fresco de hojas (PFH), peso seco de tallo (PST), peso seco total (PSTT).

TRAT	EQUIVALENCIA	AT (cm)	PFT (g)	PFH (g)	PST (g)	PSTT (g)
T2	DAP	20,65 a	3,86 a	9,52 ab	1,43 a	5,33 a
T7	Urea+ DAP + KCl	18,00 b	3,18 ab	11,00 a	0,86 bc	5,06 ab
T4	Urea + DAP	16,94 c	3,00 b	9,01 ab	0,97 b	4,78 ab
T1	Urea	16,25 cd	3,05 ab	10,03 ab	0,96 b	4,85 ab
T3	KCl	16,05 cd	2,90 b	7,66 b	0,96 b	4,13 ab
T6	DAP + KCl	16,05 cd	3,03 ab	9,67 ab	0,91 bc	5,07 ab
T5	Urea + KCl	15,51 d	2,48 b	8,54 ab	0,61 c	3,75 ab
T8	Testigo	14,39 e	2,50 b	7,31 b	0,64 c	3,61 b

Letras iguales no difieren estadísticamente (P - valor ≤ 0,05).

Fuente: autores.

En cuanto a AT, los tratamientos con mayor influencia fueron T2 (20,65 cm) y T7 (18 cm), mientras que el menos influyente fue T8 (14,39 cm), siendo los tres estadísticamente diferentes (Tabla 3). Esto coincide con Domínguez et al. (2000), quienes reportaron que la altura, peso seco aéreo y peso radical de Pinus pinea respondieron de forma creciente al aporte de fósforo, y contrasta con Andrade et al. (2010), quienes en presencia de fósforo sin micorrizas obtuvieron bajos valores en el crecimiento de café. Así mismo, Arizaleta et

al. (2002), manifestaron que el potencial que ofrece la aplicación de estos microorganismos simbióticos y el fraccionamiento de la dosis de las fuentes fosfatadas, mejora la asimilación nutricional de la planta. Esto último se evidenció en el presente ensayo.

Adicionalmente, la AT se pudo explicar bajo los modelos lineal y cuadrático, como se presenta en la Tabla 4, en cada caso con valores significativos. Sin embargo, se presentó un mayor ajuste para las variables

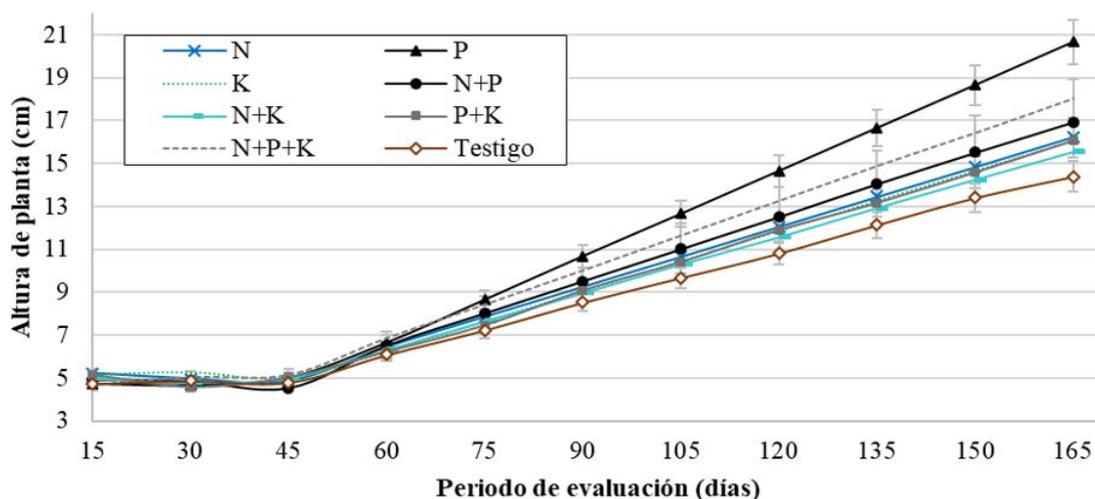


Figura 1: Altura de Planta en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). Fuente: Autores.



estudiadas en el modelo no lineal, con un valor de R² superior a 0,98. Además, como se observa en la Figura 1, se pudo evidenciar un crecimiento lento durante los primeros 45 días, explicado por Arcila et al. (2007) por el hecho de que, durante este periodo, las plántulas dependen principalmente de sus hojas cotiledonales. Después de esto, a partir de los 60ddt, se observó una respuesta diferencial al DAP, con respecto a los demás tratamientos (Tabla 3).

La inclusión de KCl en mezclas con N o P (T3, T6 y T5) no mostró diferencias estadísticas (Tabla 3). Posiblemente, porque es un elemento que cumple funciones de regulación osmótica y transporte de agua a través de la planta. Estas funciones no influyeron directamente en el crecimiento durante el periodo de tiempo estudiado (Pyo et al., 2010).

La Tabla 3 también mostró que, para la variable PFT, T1 (3,05g), T6 (3,03g) y T7 (3,18g) no difirieron estadísticamente, al

igual que T3, T4, T5 y T8 no presentaron diferencias entre ellos, pero sí con los demás tratamientos. Esto se podría relacionar con los bajos niveles de fósforo en la unidad experimental, lo que disminuye el crecimiento por su intervención en la división celular, respiración y fotosíntesis de la plántula de café en esta etapa fisiológica de almacigo (De Bauw et al., 2016; Rop et al., 2018).

Asociado al comportamiento de PFT durante los 165 días, se pudo establecer un ajuste estadísticamente significativo de esta variable a los dos modelos evaluados (Tabla 4 y Figura 2). Sin embargo, se presentó un valor superior en R² cuando se utilizó la función cuadrática con una relación entre 0,95 y 0,97, a diferencia del modelo lineal con el cual se obtuvo un coeficiente entre 0,79 a 0,83 dependiendo del tratamiento, lo que muestra una disminución considerable del porcentaje, explicado por la varianza de la regresión en relación con la varianza de las variables, como lo explican Di Benedetto y Tognetti (2016).

Tabla 4. Modelos de Regresión lineal, cuadrático y su coeficiente de determinación para el crecimiento de plántulas de café en almacigo.

Variables	Tratamiento	Función Lineal	P-valor	R ²	Función Cuadrática	P-valor	R ²
Altura de planta (AT)	N	y=0,081x+2,286	**	0,96	y=0,0003x ² +0,032x+3,8836	**	0,98
	P+N	y=0,115x+0,847	**	0,97	y=0,0004x ² +0,047x+3,0497	**	0,99
	K	y=0,079x+2,395	*	0,96	y=0,0003x ² +0,025x+4,1453	**	0,98
	N+P	y=0,088x+1,867	**	0,97	y=0,0003x ² +0,041x+3,4082	**	0,98
	N+K	y=0,077x+2,342	**	0,97	y=0,0002x ² +0,034x+3,7208	**	0,98
	P+K	y=0,080x+2,152	*	0,96	y=0,0003x ² +0,029x+3,8081	**	0,98
	N+P+K	y=0,095x+1,804	**	0,98	y=0,0002x ² +0,050x+3,2495	**	0,99
	T	y=0,070x+2,447	**	0,97	y=0,0002x ² +0,032x+3,6818	**	0,98
Peso fresco del tallo (PFT)	N	y=0,016x-0,576	*	0,80	y=0,0002x ² -0,015x+0,4639	*	0,97
	P+N	y=0,022x-0,834	*	0,79	y=0,0003x ² -0,023x+0,6398	**	0,97
	K	y=0,015x-0,506	*	0,81	y=0,0002x ² -0,015x+0,4912	**	0,97
	N+P	y=0,016x-0,545	*	0,81	y=0,0002x ² -0,014x+0,4568	**	0,97
	N+K	y=0,013x-0,377	*	0,82	y=0,0001x ² -0,009x+0,3732	*	0,96
	P+K	y=0,016x-0,514	*	0,80	y=0,0002x ² -0,013x+0,4568	*	0,96
	N+P+K	y=0,017x-0,567	*	0,83	y=0,0002x ² -0,011x+0,3792	**	0,95
	T	y=0,013x-0,410	*	0,81	y=0,0001x ² -0,012x+0,4263	*	0,97
Peso fresco de las hojas (PFH)	N	y=0,053x-1,833	*	0,79	y=0,0006x ² -0,051x+1,5669	*	0,96
	P+N	y=0,052x-1,400	**	0,88	y=0,0004x ² -0,016x+0,8596	**	0,97
	K	y=0,041x-1,131	*	0,84	y=0,0004x ² -0,025x+1,0361	**	0,96
	N+P	y=0,049x-1,347	**	0,86	y=0,0004x ² -0,023x+1,0138	**	0,96
	N+K	y=0,043x-1,081	*	0,81	y=0,0004x ² -0,023x+0,9728	**	0,97
	P+K	y=0,048x-1,211	*	0,79	y=0,0005x ² -0,034x+1,3911	**	0,96
	N+P+K	y=0,051x-1,593	*	0,71	y=0,0006x ² -0,048x+1,6135	*	0,95
	T	y=0,037x-0,980	*	0,81	y=0,0004x ² -0,028x+1,1591	*	0,95

* = P - valor modelo ≤ 0,05; **= P - valor modelo ≤ 0,01. T1 (N: Urea), T2 (P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7 (N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

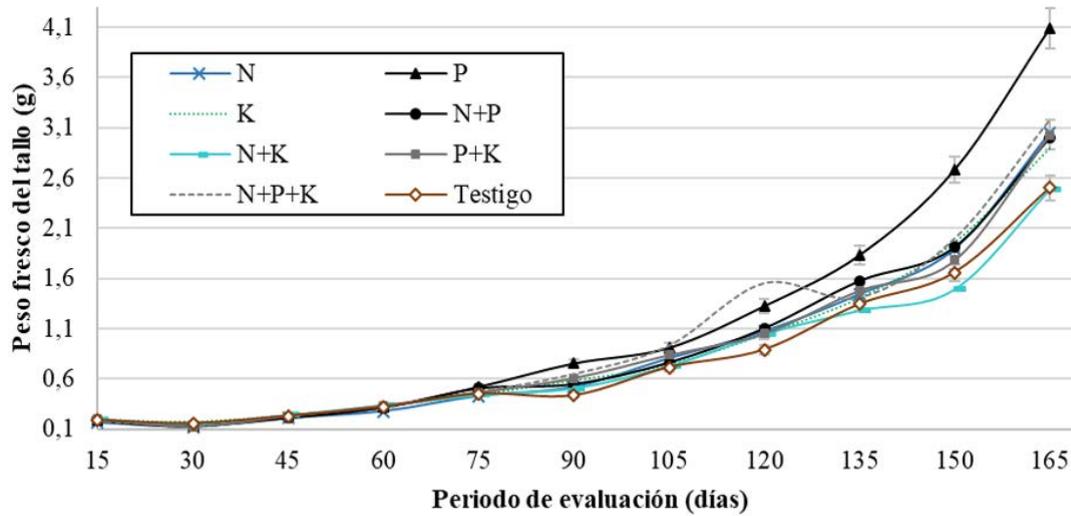


Figura 2. Peso Fresco del Tallo en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N + P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

Por otro lado, para la variable PFH, la Tabla 3 evidenció que T7 (11,0g) difirió estadísticamente con T3 (7,56) y T8 (7,31g) y a su vez T7 no difirió con los demás tratamientos, que fueron estadísticamente iguales con T3 y T8. Ante este comportamiento, se ha indicado que los nutrientes NPK están implicados en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos en diferentes grados, según su fenología y los efectos externos, lo que estableció una explicación al valor superior de T7, en el que se presentó una nutrición completa aplicada al almácigo (Hossain et ál., 2010; Parry et al., 2008).

Para analizar el comportamiento de la variable peso fresco de las hojas (PFH), representada en la Figura 3, se determinó que existe un mayor ajuste con el modelo cuadrático frente al modelo lineal (como se indica en la Tabla 4), lo cual explica que los datos observados se distribuyan alrededor de una curva. Por tal motivo, esta expresión podría usarse para hacer estimaciones y predicciones de los valores de PFH, a partir del trasplante, cuando se presenten condiciones parcialmente similares a las reportadas en este estudio.

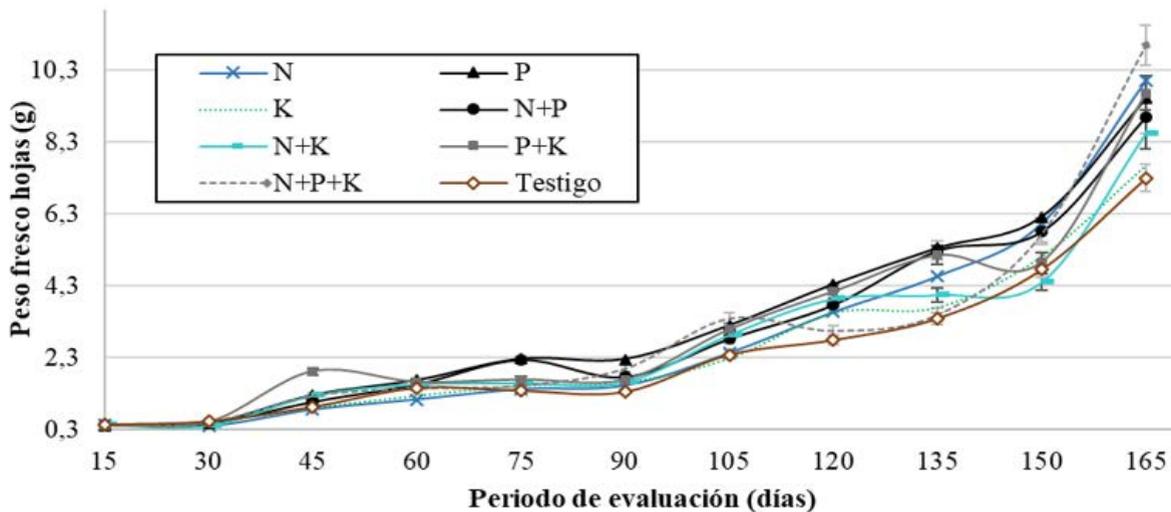


Figura 3. Peso Fresco de las Hojas en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N + P₂O₅ + K₂O: Urea + DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.



En relación con PST, el T2 evidenció el mayor efecto (1,43g), diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos (Tabla 3). Sin embargo, en la medida que se supere los 165 ddt, la baja disponibilidad de nitrógeno podría reducir la concentración de clorofila, disminuyendo la fotosíntesis y, por ende, el crecimiento, como lo evidenció Cruz et al. (2007). Los tratamientos T5 y T8, por su parte, obtuvieron los PST más bajos

sin diferenciarse con T7 y T6, en los que, de forma general, se identifica un aumento con comportamiento progresivo para esta variable, a medida que transcurre el tiempo. Sadeghian y González (2014) encontraron respuesta a este incremento de materia seca del café en la etapa de almácigo con la aplicación de fuentes de N y P, respaldando el comportamiento observado en la Figura 4.

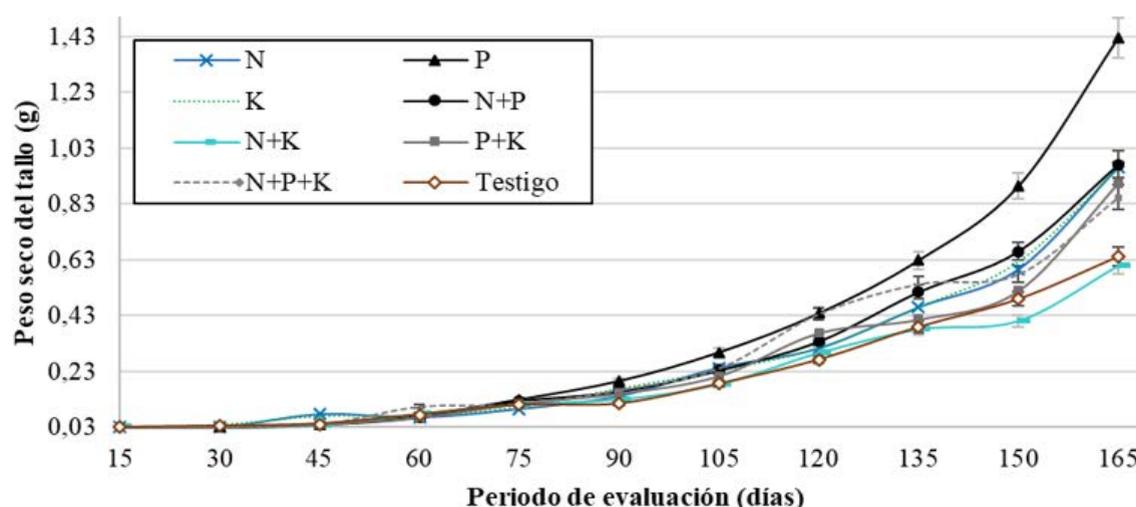


Figura 4. Peso Seco del Tallo (PST) en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl, T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

La capacidad de producción de fotoasimilados, a través del mecanismo fotosintético y su distribución dentro de la planta, se representó en PST a partir de los modelos lineal y cuadrático con significancia estadística para esta variable (Tabla 5). Sin embargo, sigue siendo el modelo cuadrático el que mejor se ajusta al comportamiento del almácigo, particularmente en T1, T7, T4 y T5, en comparación a la regresión lineal. Esto posiblemente se deba a la tendencia que tiene esta especie de presentar una curva de acumulación de biomasa al inicio del desarrollo de la plántula, por la proporción de tejidos meristemáticos presentes, pero que disminuirá conforme avance el tiempo y se ajustará a una función sigmoidea como se

ha reportado en otros estudios (Alvarado y Ochoa, 2006; Andrade et al., 2010; Arcila et al., 2007).

Finalmente, en la variable PST se evidenció que T2 (5,33g) difirió con T8 (3,61g) y a su vez estos, en forma independiente, no mostraron diferencias con los demás tratamientos que oscilaron entre 3,75g y 5,06g (Tabla 3). El comportamiento, al igual que en las demás variables, presenta significancia estadística en los parámetros de la regresión, pero el modelo cuadrático se ajusta con mayor precisión al comportamiento general registrado cuando se analiza el coeficiente de determinación (Figura 5 y Tabla 5).

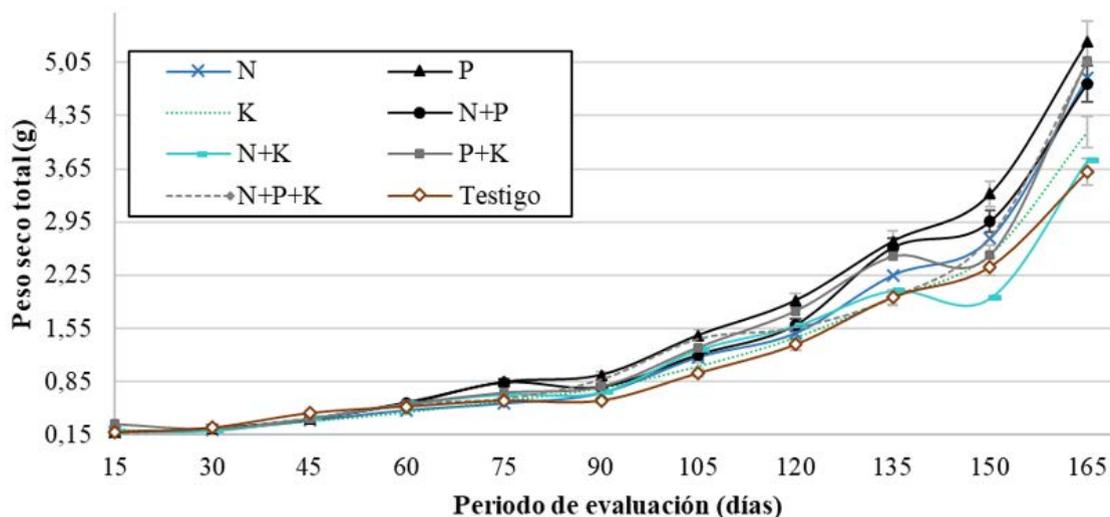


Figura 5. Peso Seco Total (PSTT) en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl, T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

Este tipo de análisis es particularmente apropiado para plantas que se encuentran en una fase exponencial de desarrollo, como lo sugieren Di Benedetto y Tognetti (2016), lo cual muestra, en todas las variables, que el crecimiento evidenció una respuesta que podría explicarse bajo un modelo lineal o

cuadrático en función del tiempo (Tabla 4 y 5). En este caso, el factor independiente siempre positivo indica aumento progresivo (Sakai et al., 2015). Lo que explica, en la mayoría de los crecimientos naturales, los parámetros que se describen con ecuaciones polinomiales (Campos-Meza et al., 2016).

Tabla 5. Modelos de Regresión lineal, cuadrático y su coeficiente de determinación para el crecimiento de plántulas de café en almacigo.

Variables	Tratamientos	Función Lineal	R ²	Función Cuadrática	R ²
Peso seco del tallo	N	$y=0,0053x-0,2004$	0,79	$y= 6E-05x^2-0,0054x+0,1452$	0,97
	P+N	$y=0,008x-0,3354$	0,78	$y= 9E-05x^2 - 0,0086x + 0,204$	0,97
	K	$y=0,0053x-0,2007$	0,80	$y=6E-05x^2-0,0052x+0,142$	0,97
	N+P	$y=0,0057x-0,2212$	0,82	$y=6E-05x^2-0,005x+0,124$	0,98
	N+K	$y=0,0036x-0,1157$	0,88	$y=3E-05x^2-0,0016x+0,0541$	0,98
	P+K	$y=0,005x-0,1855$	0,81	$y=5E-05x^2-0,0041x+0,1093$	0,96
	N+P+K	$y=0,0052x-0,1855$	0,88	$y=4E-05x^2-0,0024x+0,0626$	0,98
	T	$y=0,0039x-0,1315$	0,86	$y=4E-05x^2-0,0026x+0,0775$	0,99
Peso seco total	N	$y=0,0253x-0,922$	0,77	$y=0,0003x^2-0,0271x+0,7822$	0,95
	P+N	$y=0,0294x-1,0235$	0,83	$y=0,0003x^2-0,0226x+0,6663$	0,97
	K	$y=0,0219x-0,7271$	0,80	$y=0,0002x^2-0,0206x+0,6521$	0,96
	N+P	$y=0,0262x-0,8934$	0,81	$y=0,0003x^2-0,0218x+0,6651$	0,96
	N+K	$y=0,0197x-0,5655$	0,82	$y=0,0002x^2-0,0121x+0,4397$	0,97
	P+K	$y=0,0257x-0,8565$	0,77	$y=0,0003x^2-0,0264x+0,8114$	0,96
	N+P+K	$y=0,0255x-0,8848$	0,76	$y=0,0003x^2-0,025x+0,7575$	0,92
	T	$y=0,0195x-0,5943$	0,81	$y=0,0002x^2-0,0168x+0,5857$	0,97

T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl, T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.



Análisis de crecimiento

En la figura 6 se observa como AF se incrementó hasta los 150 días en todos los tratamientos. Esto coincidió con la máxima

formación de hojas que, como se mencionó, no presentó diferencias por ser características dependientes del genotipo (Alvarado & Ochoa, 2006).

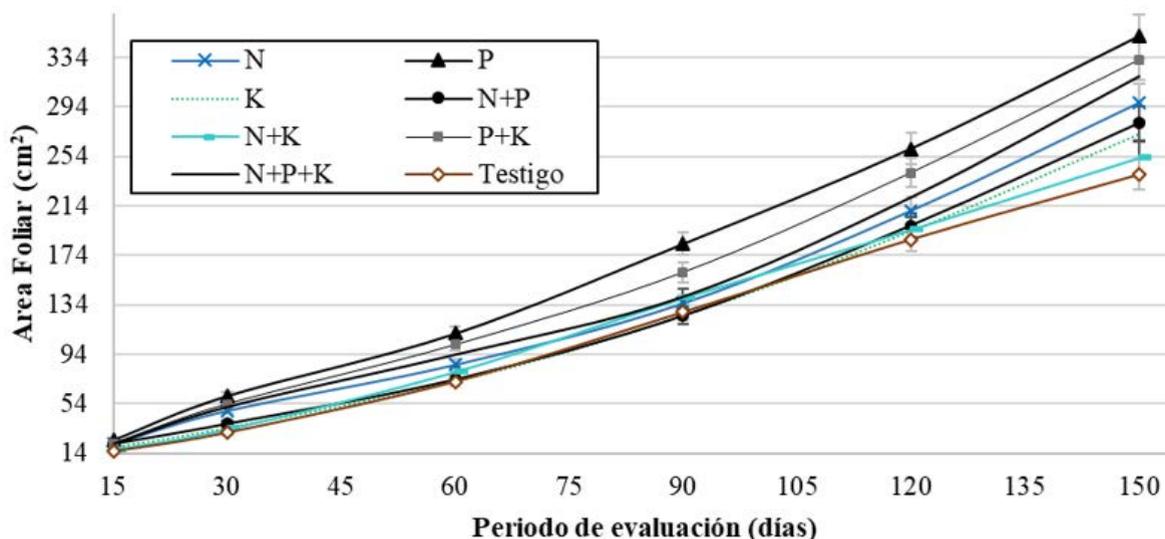


Figura 6. Área foliar en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl, T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

El AF se relaciona con la producción de materia seca, ya que cuando es alto, se espera mayor acumulación (Jarma et al., 1999). Lo anterior ocurrió en el presente estudio. En 150 días, el T2 con 350,8cm² superó en AF a los demás tratamientos y alcanzó el mayor PST, mientras que el testigo presentó el menor valor en AF (239,1 cm²) y PST.

Los resultados del IAF mostraron un comportamiento lineal ascendente y homogéneo en todos los tratamientos sin diferencias estadísticas. El mayor valor fue para T2 (0,09cm²/día), mientras que T3 (KCl), tuvo el menor valor (0,08cm²/día) al final del periodo de evaluación. La diferencia entre los dos fue baja, lo que podría explicarse porque la producción de biomasa y distribución de

asimilados en vivero es equilibrada, de acuerdo con lo encontrado por Hirose et al. (1997).

La tasa relativa de crecimiento (TRC) está determinada por procesos fisiológicos, morfológicos, genéticos y ambientales (Pommerening y Muszta, 2016). Esta tasa evidenció mayores valores en 30, 90, 120 y 150 ddt en todos los tratamientos, a excepción del T7, en el cual, después de 30 ddt, tuvo un comportamiento que varió muy poco (figuras 7a y 7b). En la variación de la TRC, estuvieron involucrados factores internos y externos que hicieron irregular la velocidad de crecimiento de la plántula de café. Este comportamiento se evidenció bajo las condiciones particulares de la genética del material vegetal y de la localidad en donde se instaló este ensayo.

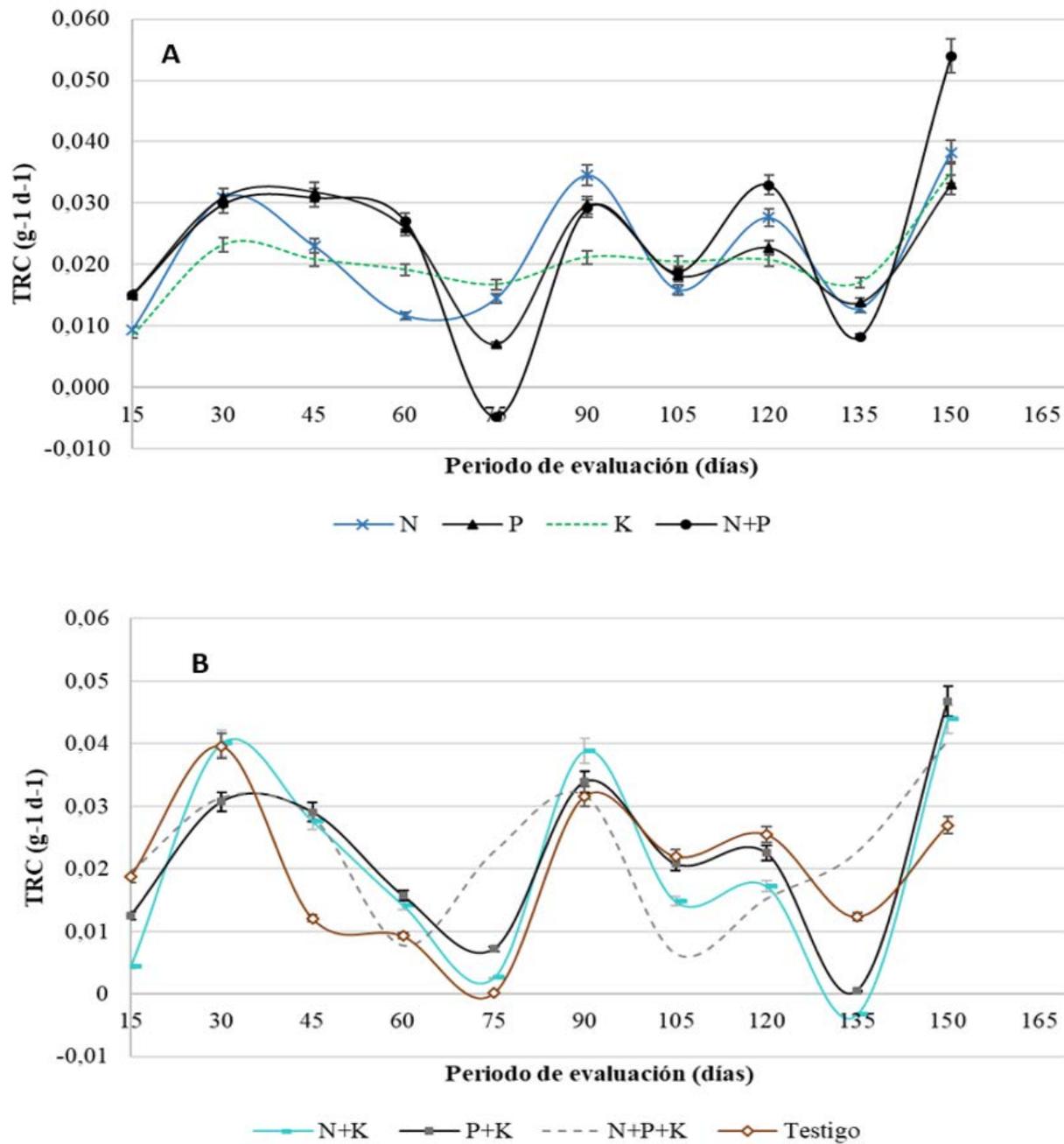


Figura 7. Tasa Relativa de Crecimiento en función del período de evaluación (días) (A = T1 al T4 y B = T5 al T8). T1 (N: Urea), T2 (P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7 (N + P₂O₅ + K₂O: Urea + DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

En la figura 8 se puede observar que la máxima ganancia de biomasa en área de superficie ocupada fue para el T4 (2,8g cm

d), mientras que el T3 tuvo el menor valor (1,25 g cm d) a los 120 días después del trasplante.

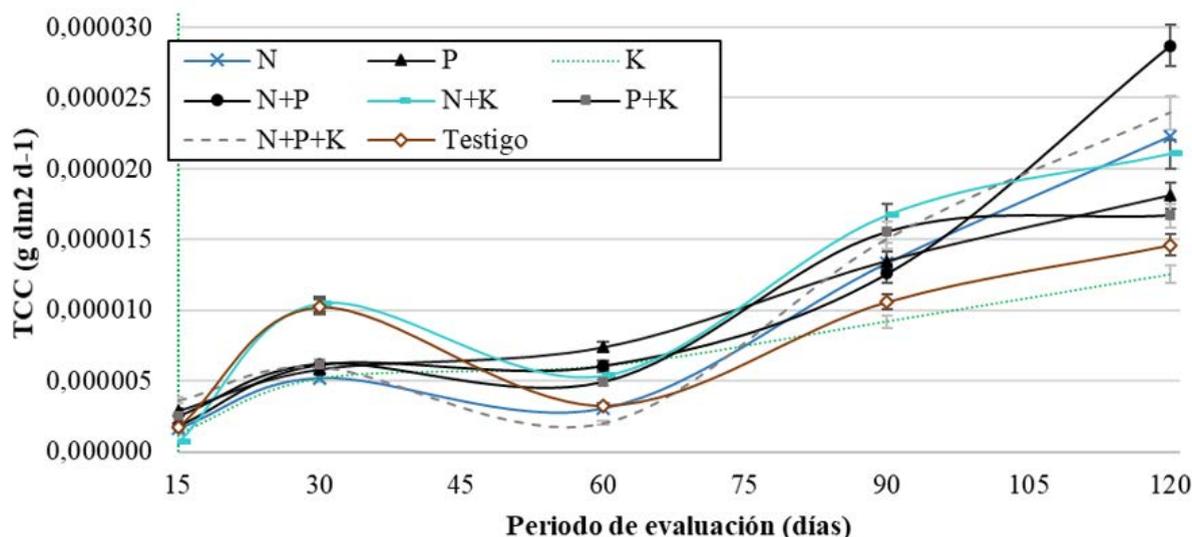


Figura 8. Tasa de Crecimiento del cultivo en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

Los valores en TCC se consideran bajos debido al periodo temprano del cultivo. En ambientes favorables, la máxima TCC ocurre cuando la cobertura de las hojas es completa (máximo potencial de masa seca). Por el contrario, la TCC es baja en estadios tempranos de desarrollo debido a la baja cobertura (Baracaldo y Flórez, 2010).

Tasa de asimilación neta (TAN)

En la figura 9 el comportamiento de la TAN evidencia una disminución desde los 30 hasta

los 60ddt. Posiblemente, cuando la planta crece, existe ocultamiento por las hojas nuevas en sobreposición y esto influye en la interceptación de la radiación fotosintética y disminuye la TAN (Carranza et al., 2009). A partir de los 60 días, se registró incremento en la TAN hasta su nivelación a 120ddt aproximadamente, lo que podría atribuirse al fraccionamiento de los tratamientos. Según Lopes et al. (2011), esta práctica se involucra con un mayor desarrollo del tejido foliar e incremento de materia seca.

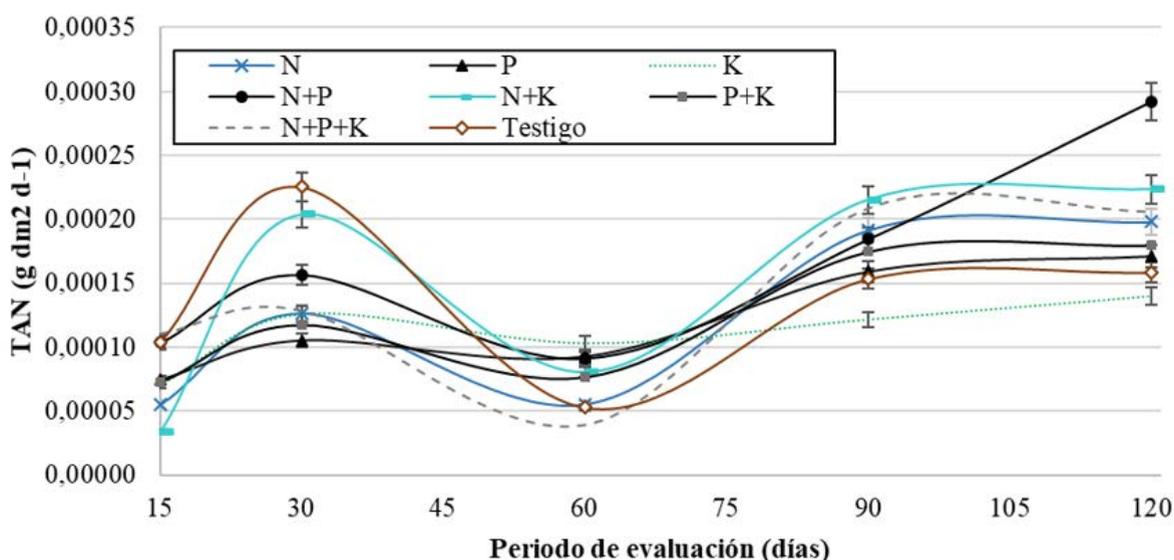


Figura 9. Tasa Asimilación Neta en función del período de evaluación (días). T1 (N: Urea), T2(P₂O₅: DAP), T3 (K₂O: KCl), T4 (N + P₂O₅: Urea + DAP), T5 (N + K₂O: Urea + KCl), T6 (P₂O₅ + K₂O: DAP + KCl), T7(N+ P₂O₅ + K₂O: Urea+ DAP + KCl) y T8 (Testigo sin aplicación). **Fuente:** Autores.

CONCLUSIONES

El comportamiento de las variables evaluadas, en forma directa, obedeció en todos los casos a un modelo lineal y cuadrático. Sin embargo, se observaron respuestas diferenciales en los tratamientos en los que se aplicó DAP (T2, T4 y T7). Las respuestas fueron superiores con respecto al testigo y a la aplicación individual de las dos fuentes restantes, lo que indica que, para el almácigo, el P es un elemento importante y por ende debe suministrarse.

El potasio, aplicado en forma de KCl, presentó un comportamiento (en la mayoría de las variables) estadísticamente similar al

testigo. Se estableció que el comportamiento del almácigo de café, relacionado con las funciones de este elemento en la presente investigación, pudiese estar determinado por el contenido de potasio en el sustrato.

En el análisis de crecimiento, la TCC y la TAN resultaron ser similares, pues se observaron dos picos de valores altos asociados al fraccionamiento de la fertilización evaluada. En lo referente a la acumulación de materia seca, este comportamiento es importante debido a que, al final del periodo de evaluación, esta refleja eficiencia en la nutrición. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Javier García Alzáte: coordinación del proyecto, investigación, análisis, escritura, revisión y edición. **Carlos Andrés Benavides Cardona:** investigación, análisis de datos, escritura, revisión y edición. **David Eduardo Álvares Sánchez:** investigación, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L. F. y Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná, Cenicafé, 309p.

Arizaleta, P. M., Pire, R. y Pares, J. (2002). Efecto de la fertilización con N-P-K sobre el contenido foliar y el crecimiento del cafeto *Coffea arabica* L. en la etapa de vivero, en la población de Villanueva, Estado Lara, Venezuela. *Revista Café Cacao*, 3(2),57-61.

Ávila, W., Sadeghian, S., Sánchez, P. y Castro, H. (2010). Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. *Revista Cenicafé*, 61(4),358-369.

Baracaldo, A., Ibagué, A., y Flórez, V. (2010). Tasas e índices de crecimiento a segundo pico de cosecha en clavel estándar cv. Nelson cultivado en suelo y en sustratos. *Agronomía Colombiana*, 28(2), 209-217.

Bojórquez-Quintal, J., Sánchez-Cach, L., Ku-González, Á., De los Santos-Briones, C., Medina-Lara, M., Echevarría-Machado, I., Muñoz-Sánchez, J., Hernández, T. & Estévez, M. (2014). Differential effects of aluminum on in vitro primary root growth, nutrient content and phospholipase C activity in coffee seedlings (*Coffea arabica*). *Journal of Inorganic Biochemistry*, 134, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2014.01.018>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño y al proyecto "Investigación evaluación del efecto de sombra de diferentes especies arbóreas en el comportamiento agronómico y calidad de Café, Consacá, Nariño, Occidente", financiado por el Sistema General de regalías [SGR].

LITERATURA CITADA

Alvarado, A. y Ochoa, F. (2006). Características fenotípicas de componentes en variedad Castillo en dos ambientes. *Revista Cenicafé*, 57(2), 100-121.

Andrade, S. A. L., Silveira, A. P. D. & Mazzafera, P. (2010). Arbuscular mycorrhiza alters metal uptake and the physiological response of *Coffea arabica* seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. *Science of the Total Environment*, 408(22), 5381-5391.



- Campos-Meza, P., Atondo-Rubio, G. y Yee-Rendón, C. (2016). Dinámica lineal para el crecimiento de plantas y frutos con simetría definida. *Latin-American Journal of Physics Education*, 10(3), 3304-1-3304-6.
- Campostrini, E. & Yamanishi, O. (2001). Estimativa da área foliar do mamoeiro utilizando o comprimento da nervadura central. *Scientia Agrícola*, 58(1), 39-42.
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., y Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) "Batavita" cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 27(1), 41-48.
- Cruz, J., Pelacani, C., Carvalho, J., Souza-Filho, L. & Queiroz, D. (2007). Nitrogen levels and photosynthetic rate of papaya golden. *Ciência Rural*, 37(1), 64-71.
- De Bauw, P., Van Asten, P., Jassogne, L. & Merckx, R. (2016). Soil fertility gradients and production constraints for coffee and banana on volcanic mountain slopes in the East African Rift: A case study of Mt. Elgon. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 231, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.036>
- Debela, A., Zana, Z., Ocho, F. & Vos, J. (2018). Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation level and rate of nitrogen supply II. Uptake and distribution of nitrogen, leaf photosynthesis and first bean yields. *European Journal of Agronomy*, 92, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.10.006>
- Di Benedetto, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- Domínguez, S., Oliet, J., Ruiz, P., Carrasco, I., Peñuelas, J. L. y Serrada, R. (2000). Influencia de la relación N-P-K en el desarrollo en vivero y en campo de planta de *Pinus pinea*. Actas del Congreso. Simposio del pino piñonero. Valladolid. P195-202.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2015). *Comportamiento de la industria cafetera colombiana-2014*. https://federaciondecafeteros.org/static/files/Informe_Industrial_2014_Web.pdf
- Flórez, C., Maldonado, C., Cortina, H., Moncada, M., Montoya, E., Ibarra, L., Unigarro, C., Rendón, J. y Duque, H. (2016). Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano. *Avances técnicos Cenicafé*, 469, 1-8.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., y Mitchell, R. L. (2003). *Physiology of crops plants*. Scientific Publishers, 327 p.
- Herrera, J., Combes, M., Anthony, F., Charrier, A. y Lashermer, P. (2002). Introgression into the allotetraploid coffee (*Coffea arabica* L.): segregation and recombination of the *C. canephora* genome in the tetraploid interspecific hybrid (*C. arabica* x *C. canephora*). *Theoretical and Applied Genetics*, 104, 661-668. <https://doi.org/10.1007/s001220100747>
- Hirose, T., Ackerly, D., Traw, M., Ramseier, D. y Bazzaz, F. (1997). CO2 elevation, canopy photosynthesis, and optimal leaf area index. *Ecology*, 78(8), 2339-2350p. <https://doi.org/10.2307/2265896>
- Hossain, D., Hanafi, M., Talib, J. & Jol, H. (2010). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Growth and photosynthesis under nutrient solution. *Journal of Agricultural Science*, 2(2). 49-56. <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p49>
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia - IDEAM. (2017). *Departamento Administrativo de Estadística*. www.ideam.gov.co
- Jarma, A., Buitrago, C. y Gutiérrez, S. (1999). Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. *Revista Comafi*, 26 (1-3), 62-73.

- Lopes, M., Pompeu, R., Cândido, M., Lacerda, C., da Silva, R. & Fernandes, F. (2011). Growth index in massai grass under different levels of nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(12), 2666-2672. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200008>
- Moisés, L., Tamayo, Y., Barraza, F. (2015). Alternativa ecológica y económica para la obtención de postura de *Coffea arabica* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(1), 65 - 74. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.153201.25>
- Ocampo, O., y Álvarez, L. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes del CENES*, 36(64), 139-165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>
- Organización Internacional del Café - OIC (2016). *Informe del mercado de café- febrero 2016. Aumenta el consumo mundial de café, pero los precios siguen bajos*. <http://www.ico.org/documents/cy2015-16/cmr-0216-c.pdf>
- Parry, M., Flexas, J. & Medrano, H. (2008). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147, 211-226. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.00032.x>
- Pino, M., Cruz, S., Espinoza, S., Silva, R., Torres, O., Gurbillón, M., & Quintana, J. (2019). Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra. *Acta Agronómica*, 68(4), 271-277. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.70496>
- Pommerening, A. & Muszta, A. (2016). Relative plant growth revisited: Towards a mathematical standardisation of separate approaches. *Ecological Modelling*, 320, 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.10.015>
- Puerta, G., González, F., Correa, A., Álvarez, I., Ardila, J., Girón, O., Ramírez, C., Baute, J., Sánchez, P., Santamaría, M. y Montoya, D. (2016). Diagnóstico de la calidad de café según altitud, suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. *Cenicafé*, 67(2), 15-51.
- Pyo, Y., Gierth, M., Schroeder, J., Cho, M. (2010). High-affinity K (+) transport in Arabidopsis: AtHAK5 and AKT1 are vital for seedling establishment and postgermination growth under low-potassium conditions. *Plant Physiology*, 153(2), 76-105. <https://doi.org/10.1104/pp.110.154369>
- Rop, K., Karuku, G., Mbui, D., Michira, I. & Njagi, N. (2018). Formulation of slow release NPK fertilizer (cellulose-graft-poly (acrylamide)/nano-hydroxyapatite/soluble fertilizer) composite and evaluating its N mineralization potential. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(2), 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.11.001>
- Ramírez, V. (2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. *Avances Técnicos Cenicafé*, 441, 1-8.
- Sadeghian, S. (2013). Nutrición del café en la etapa de almácigo. En S. Marín. (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura, Chinchiná. FNC: CENICAFE. 3 vols.*
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 466, 1-12.
- Sadeghian, S. y González, O. (2014). Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almácigo. *Revista Cenicafé*, 65(1), 34-43.
- Sadeghian, S. y Zapata, R. D. (2014). Crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) durante la etapa de almácigo en respuesta a la salinidad generada por fertilizantes. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 40-50. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.143102.30>
- Sadeghian, S. y Duque, H. (2003). Análisis de suelos: Importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 308, 1-8.
- Sakai, E., Barbosa, E., Silveira, J. & Pires, R. (2015). Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with



and without drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 148(31), 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.020>

Salazar, K., Arroyave, A., Ovalle, A., Ocampo, O., Ramírez, C. y Oliveros, C. (2016). Tiempos en la recolección manual tradicional de café. *Ingeniería Industrial*, 37(2), 114–126.

Soto, F. (1980). Estimación del área foliar en *Coffea arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. Instituto de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, La Habana. 119p.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.





COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN *Coffea arabica* L. EN TRES ZONAS ALTITUDINALES DEL SUR DE COLOMBIA

YIELD COMPONENTS IN *Coffea arabica* L. IN THREE ALTITUDINAL ZONES OF SOUTHERN COLOMBIA

Paula Yuliza Burbano R. • paulaburbano@udenar.edu.co
Estudiante Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño, Pasto-Colombia.

Angie Lorena Valencia A. • angie.vale19@udenar.edu.co,
Estudiante Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño, Pasto-Colombia.

Tulio César Lagos-Burbano • tclagosb@udenar.edu.co
Profesor Titular. I.A., Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto-Colombia.

Citación: Burbano, P., Valencia, A., Lagos-Burbano, T. (2022). Componentes de rendimiento en *Coffea arabica* L. en tres zonas altitudinales del sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 51 – 62. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4350>

RESUMEN

Contextualización: El café se cultiva en el 64 % de los municipios de Nariño, donde la variabilidad climática es adecuada para que la planta pueda realizar sus actividades metabólicas.

Vacío de conocimiento: El desconocimiento y la falta de estudios relacionados con la respuesta de los componentes de rendimiento, en diferentes ambientes, dificulta interpretar las variables que influyen en el rendimiento del café variedad Castillo.

Propósito: El objetivo fue establecer la relación causa-efecto entre variables relacionadas con los componentes morfológicos, fisiológicos y climáticos del rendimiento del café, variedad Castillo, considerando tres condiciones altitudinales (Alta-A = 2.015 msnm, Media-M = 1.700 msnm y Baja-B= 1.536 msnm).

Metodología: El trabajo se realizó en el municipio de Sandoná, departamento de Nariño. Las variables registradas incluyeron: radiación fotosintéticamente activa, temperatura ambiente, precipitación, humedad relativa, altura de planta, número de hojas, diámetro basal del tallo, número de ramas primarias, longitud de ramas primarias, número de entrenudos por rama, largo de la hoja,

área foliar e índice de área foliar. Estas se evaluaron a través del Análisis de Sendero.

Resultados y conclusiones: Los componentes de rendimiento en el cultivo de café de la variedad Castillo variaron con la altitud. Las zonas M y B obtuvieron los rendimientos más altos. Para la altitud M (1.700msnm), los efectos directos sobre el rendimiento (RTO) los tuvo la variable ramas primarias (RP). Dentro de los efectos indirectos, los más importantes fueron los causados por humedad relativa (RH) a través de la temperatura (T). La altitud B (1.536 msnm) presentó efectos directos en el largo de rama (LR), área foliar (AF) y Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA); y los efectos indirectos estuvieron en la T a través de la RFA, el número de entrenudos (NE) a través de la altura de planta (AP), el diámetro basal (DB) a través del número de hojas (NH), el RP a través de la longitud de la hoja (LH), AF y HR. La zona con menor rendimiento fue la altitud A (2.015 msnm), mostrando como efectos directos AP, NE y HR; y los indirectos, NH, DB, LR y AF a través de AP. Es necesario estudiar la arquitectura de la planta y su relación con la HR para potenciar el RTO del café.

Palabras clave: Altitud; variables climáticas; variables fisiológicas; Análisis de Sendero

ABSTRACT

Contextualization: Coffee is cultivated in 64 % of Nariño municipalities, where climate variability is suitable for the plant to carry out its metabolic activities.

Knowledge Gap: The lack of knowledge and the lack of studies related to the response of performance components, in different environments, difficult to interpret which variables influence in the performance of the Castillo variety coffee.

Purpose: The goal was to establish cause-effect relations between variables related to morphological, physiological, and climatic components, with the yield of coffee, Castillo variety, under three altitude ranges (High-2.015 meters above sea level, Medium-1.700 meters above sea level and Low-1.536 meters above sea level).

Methodology: The work was carried out in the municipality of Sandoná, Nariño department. The evaluated variables included: Photosynthetically Active Radiation, Ambient Temperature, Precipitation, Relative Humidity, Plant Height, Number of Leaves, Basal Stem Diameter, number of primary branches, length of primary branches, number of internodes per branch, Leaf length,

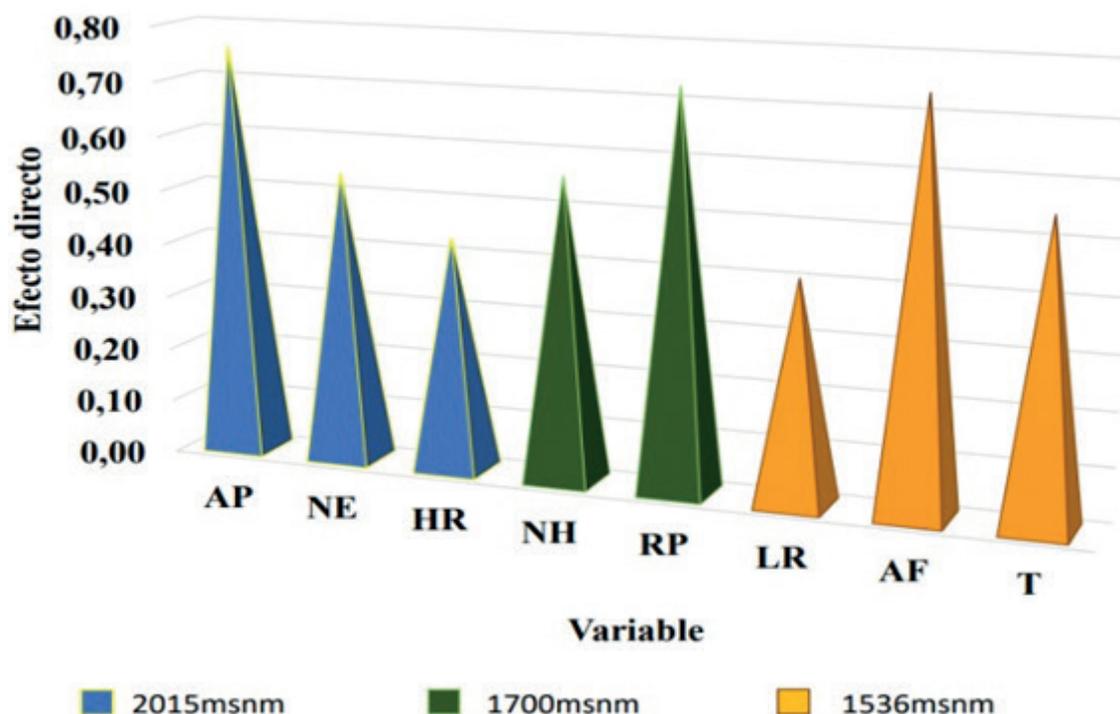
and foliar area index. These were evaluated through the Path Analysis.

Results and conclusions: The performance components in Castillo variety coffee, varied according to altitude. Zones M and B achieved the highest yields. For altitude M (1.700 meters above sea level), the direct effect on the yield (Y) were caused by the primary branches (PB). Within the indirect effects, the most important were those caused by relative Humidity (RH) through temperature (T). Altitude B (1.536 meters above sea level) has direct effects on the branch length (BL), foliar area (FA), and Photosynthetically Active Radiation (RFA); and the indirect effects were T through the RFA, number of internodes (NI) through plant height (PH), basal diameter (BD) through leaf numbers (LN), RP through Leaf Length (LL), AF and HR. The area with the lowest yield was altitude A (2.015 meters above sea level), showing as direct effects the AP, NE, and HR; the indirect effects were NH, DB, BL, and FA through PH. It is necessary to study the architecture of the plant and its relation with HR to enhance the RTO of coffee.

Keywords: Altitude; climatic variables; physiological variables; Path Analysis



RESUMEN GRÁFICO



VARIABLES QUE REGISTRARON LOS MAYORES EFECTOS DIRECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) VARIEDAD CASTILLO, EN LAS TRES ALTITUDES DE ESTUDIO LOCALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE SANDONÁ, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo se producen alrededor de 7,7 millones de toneladas de café pergamino al año, el 85% se produce en Latinoamérica y el promedio del rendimiento mundial se estima en 0,7 t/ha (Organización Internacional del Café [OIC], 2019). Los países como Colombia, Brasil, Vietnam y Costa Rica tienen promedios superiores al promedio mundial, el cual oscila entre 1-1,4 t/ha (Clavijo, 2019). Colombia tiene zonas cafeteras ubicadas en la región Andina Tropical, donde existe gran variabilidad climática dada por el relieve y la altitud, la cual influye directamente sobre la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa y la precipitación (Ramírez et al., 2012). Estas variables, están relacionadas directamente con el crecimiento y el desarrollo de las plantas, con la presencia o ausencia de problemas fitosanitarios, con la producción, el rendimiento y la calidad de taza del café (Arcila et al., 2007). En Colombia, las regiones cafeteras se extienden a lo

largo del relieve Andino entre 1.000 a 2.000 msnm, ya que en este rango se encuentran las condiciones edafoclimáticas aptas para el cultivo (Jaramillo-Robledo, 2005). El aumento de altitud y la disminución de la temperatura son factores que favorecen la prolongación del proceso de llenado, maduración y peso del grano, así como la producción y la calidad de la bebida (Suárez et al., 2015).

Por otra parte, la competitividad del café del sur del departamento, frente a los mercados nacionales e internacionales, se ve afectado porque se condiciona de manera negativa el factor de rendimiento al momento de la comercialización, impidiendo obtener un valor agregado (Comité departamental de Cafeteros de Nariño [CCN], 2008). El rendimiento del café en Colombia, para el 2019, llegó a 21,40 (sacos de 60 kg) (Ministerio de Agricultura, 2020), mientras que en Nariño el rendimiento fue de 1,09 t/ha, superior al promedio nacional (1,06 t/ha) (Criollo et

al., 2019). El rendimiento está relacionado con la capacidad fotosintética de la planta, en la que la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) se convierte en la principal limitante en zonas con sombrero mayor al 40%, y, por consiguiente, las plantas compiten por luz y agua (Zapata et al., 2017). Es importante tener en cuenta que la cantidad de horas luz es un factor importante para la fotosíntesis en el cultivo de café, debido a que éste acelera o disminuye el desarrollo fisiológico de la planta. El brillo solar y la nubosidad están relacionados con la temperatura de una zona, y esta es determinante para los procesos fisiológicos de la planta, dado que actúa como un factor catalizador (Muschler, 1999).

El rendimiento y los componentes de rendimiento dependen básicamente de la expresión de la variedad o genotipo, del ambiente y de la interacción del genotipo por el ambiente (Tirado et al., 2018). Para entender las relaciones que existen entre el genotipo y el ambiente, es necesario conocer la fisiología del cultivo y su relación con las características que definen el rendimiento (Wardofa et al., 2019). Con relación a esto, varios estudios han demostrado que las variables climáticas son los principales factores que condicionan el crecimiento y el buen desarrollo del cultivo de café (Arcila et al., 2007). Sin embargo, Checa y Noguera (2017) obtuvieron que los componentes climáticos no muestran una relación estrecha con los componentes de crecimiento evaluados, debido a que existen otros factores como el tipo de suelo

y la disponibilidad mineral que pueden ser determinantes en el cultivo.

El estudio de los componentes de rendimiento en el cultivo de café es una herramienta muy importante en la planificación de los cultivos porque permite estimar la producción a futuro, los costos requeridos para la cosecha, el beneficio, las labores inherentes a la producción y proponer nuevas técnicas agronómicas orientadas al mejoramiento de aquellos factores o componentes que presenten mayor incidencia en la producción (Castro et al., 2011). Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue identificar la relación entre los componentes morfológicos, fisiológicos y climáticos del rendimiento del café variedad Castillo en tres altitudes del municipio de Sandoná, departamento de Nariño.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente trabajo se realizó en tres zonas altitudinales (Alta, Media y Baja) del municipio de Sandoná (Tabla 1), el cual tiene una extensión aproximada de 101 Km², una altitud media de 1.817 msnm, temperatura promedio de 18°C, precipitación promedio de 1.091 mm año y una humedad relativa de 80% en promedio. Los suelos presentan características homogéneas en los que sobresale su textura limosa, y la zona de vida se encuentra dentro de las categorías bosque húmedo montano bajo (bh-MB) y bosque seco premontano (bs-PM) (Corporación Autónoma de Nariño [Corponariño], 2014).

Tabla 1. Datos de pasaporte de las localidades muestreadas en el municipio de Sandoná, departamento de Nariño.

Finca	Zona	Coordenadas	Altitud (msnm)	T (°C)	HR (%)	PP (mm año ⁻¹)
La Cruz	A	1°12'27" 77°46'45"	2.015	18	81,30	1.197,6
El Mana	M	1°10'25" 77°48'32"	1.700	20	75,56	837,8
Las Delicias	B	1°13'36" 77°44'54"	1.536	21	76,53	1.205,4

Fuente: autores de esta investigación.



Área experimental

El trabajo se realizó en lotes experimentales del proyecto *Investigación Evaluación del efecto de sombra de diferentes especies arbóreas en el comportamiento agronómico y calidad de café Consacá, Nariño, Occidente*, financiado por el Sistema General de Regalías y ejecutado por el Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño. Los datos se obtuvieron de un sistema de café //Albizia carbonaria// Inga densiflora. En cada una de las tres altitudes se seleccionó una finca cafetera (Tabla 1) sembrada con café variedad Castillo (5 años de edad), con una distancia de siembra de 1,30 x 1,30 m al triángulo, en asociación con las especies leñosas (guamo, carbonero), sembradas a una distancia de 9 x 9m; dentro

se tomó una parcela con un área de 2500 m² donde se tomaron al azar cuatro plantas de café, las cuales fueron marcadas para, posteriormente, hacer sobre ellas el registro periódico de las diferentes variables evaluadas.

Labores culturales

Durante el periodo de evaluación se realizaron dos aplicaciones de fertilizante (febrero y octubre) con fuentes simples (Urea, DAP, KCl), más elementos menores. El control de las plantas arvenses se realizó, en promedio, dos veces por año (marzo y noviembre) con la utilización de guadaña. Además, se hicieron aplicaciones localizadas de fungicidas para problemas fitosanitarios, principalmente de *Phoma* sp., y *Cercospora* sp.

Variables evaluadas

Variables climáticas: precipitación (PP), humedad relativa (HR), temperatura (T) y Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), registradas durante el periodo de evaluación por estaciones meteorológicas Spectrum Technologies Inc, modelo 2900ET Weather Station, ubicadas en cada lote experimental.

Variables morfológicas: altura de planta (AP), la medición se realizó con una cinta métrica desde la parte basal hasta el meristemo apical del tallo principal del árbol; número de ramas primarias productivas (RP), se contó de forma manual el número de

ramas por planta evaluada; diámetro basal de planta (DB), la medición se realizó con un pie de rey; número de hojas (NH), se contó de forma manual el total de hojas por planta evaluada; longitud de ramas (LR), se midió con una cinta métrica; número de entrenudos (NE), se contaron de forma manual. Las variables LR y NE se midieron en seis ramas, dos por cada tercio de planta (alto, medio y bajo). También se estimó el área foliar (AF) mediante el modelo matemático estimado por el Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos [GPFA] de La Universidad de Nariño (ecuación 1); así como el Índice de Área Foliar (IAF) y rendimiento (RTO) en t/ha.

Ecuación 1:

$$AF = a + b \times \frac{1}{1 + c \times x + d \times x}$$

Donde: a= 4,541; b=2,34, c= 0,154; d= 0,0075 y x= longitud promedio de seis hojas.

Una vez se determinó el área foliar promedio por hoja, se multiplicó por el número total de hojas por planta, para así obtener el área foliar por planta. Estimado el AF, se dividió entre el área del suelo que ocupa la planta y se obtuvo el índice de área foliar. Para el cálculo del rendimiento, previamente a la cosecha se tomó una muestra aleatoria de diez (10) plantas por unidad de estudio, se contó el número total de frutos por planta y se calculó el peso de fruto, a partir del promedio de una muestra de cien frutos tomada al azar en la parcela evaluada. La evaluación de la producción de café cereza [CPS] se determinó a partir de diferenciales de peso de muestras de 12 kg de café cereza, tomadas por cada localidad experimental. Las muestras de café cereza fueron sometidas a un proceso de beneficio tradicional (se secaron a libre exposición solar y se registró el peso cuando las muestras alcanzaron un grado promedio de humedad de 12%) y, finalmente, a partir de los datos obtenidos se estimó la producción de CPS en kilogramos por hectárea.

Análisis de la información

Las variables de tipo morfológico y fisiológico se sometieron a un Análisis de Varianza (ANDEVA), usando el software XLSTAT y teniendo en cuenta el modelo estadístico (ecuación 2).

$$\text{Ecuación 2: } Y_{ij} = \mu + R_j + A_i + E_{ij}$$

En este modelo Y_{ij} es la variable de respuesta en la repetición j -ésima, altura i -ésima, μ es el efecto de la media general, R_j es el efecto de la repetición j -ésima, A_i es el efecto de la altura i -ésima y E_{ij} es el error asociado a la repetición j -ésima y altura i -ésima. En las variables donde se rechazó la hipótesis nula, se utilizó la prueba de comparación de medias de LSD Fisher. Posteriormente, en cada zona altitudinal se realizó un Análisis de Correlación múltiple de Pearson para establecer el nivel de similitud entre las variables morfológicas, fisiológicas y climáticas con el rendimiento. Con base en lo anterior, se seleccionó la variable que presento una correlación significativa para establecer las relaciones causa-efecto entre ésta y el resto. De esta forma, indirectamente, se está estimando el efecto de las variables sobre el rendimiento a través del Análisis de Sendero, el cual permite descomponer

las correlaciones entre dos variables (X e Y) en: una suma del efecto directo de X sobre Y , y efectos indirectos de X sobre Y a través de otras variables independientes en un sistema de correlaciones. Este análisis tiene el objetivo de identificar las posibles explicaciones causales de las relaciones entre una variable respuesta (dependiente) y las variables independientes (Abbott et al., 2007).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANDEVA (Tabla 2) indica que solo existieron diferencias significativas entre altitudes en las variables: altura de planta, temperatura ambiente, precipitación y radiación fotosintéticamente activa. Las variables número de hojas, diámetro basal, número de ramas primarias, largo de ramas, número de nudos y largo de hoja no presentaron diferencias estadísticas significativas.

Tabla 2. Cuadrados medios del Análisis de varianza para las variables morfológicas, climáticas y rendimiento, evaluadas en tres altitudes (A = 2.015 msnm, M = 1.700 msnm, B = 1.536 msnm) de una zona productora de café en el departamento de Nariño.

FV	GL	AP	NH	DB	RP	LR	NE	LH
Altitud	2	3426,75*	63101,22	6,27	149,97	48,93	11,84	0,89
Repetición	3	1685,18*	67229,94	3,10	97,91	22,89	6,59	1,76
Error	6	321,34	17689,69	2	64,93	87,90	8,82	0,78
Media		88,81	831,79	9,54	61,68	50,19	17,21	24,77
CV (%)		20,18	15,99	14,83	13,06	18,68	17,26	3,55
FV	GL	AF	IAF	RTO	HR	T	PP	RFA
Altitud	2	191,09	1,1E-05	3,59	7,14	2,02**	524,48*	67015,9*
Repetición	3	92,62	1,7E-05	0,51*	4,07	0,10	395,95	14235,63
Error	6	75,28	2,5E-05	0,24	3,78	0,11	74,9	3850,81
Media		114,61	0,01	2,73	77,92	76,99	65,66	461,315
CV (%)		7,57	37,92	18,07	2,50	1,70	52,73	13,45

*: Diferencias significativas ($P < 0.05$); **: Diferencias altamente significativas; CV: Coeficiente de variación; AP: Altura de planta; NH: Numero de hojas; DB: Diámetro basal; RP: Número de ramas primarias por planta; LR: Largo de ramas primarias; NE: Número de entrenudos de ramas primarias; LH: Largo de hoja; AF: Área foliar; IAF: Índice de área foliar; RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; RH: Humedad relativa; T: Temperatura; PP: Precipitación; RTO: Rendimiento.

Fuente: autores de esta investigación.

Según la prueba de comparación de medias (Tabla 3), el comportamiento de la AP en las zonas media y alta fue estadísticamente similar con promedios de 90,80 y 117,04 cm respectivamente, difiriendo con la altitud baja (1.536 msnm). La actividad fotosintética de la planta no solo depende del aumento o

disminución de la temperatura sino también de factores como la disponibilidad hídrica en el suelo, que garantiza la eficiencia fotosintética y por ende el buen crecimiento y desarrollo de la planta, (Welker et al., 2004; Sanfuentes et al., 2012).



El comportamiento de la RFA presentó diferencias significativas entre las tres zonas de estudio, en la altitud Baja (1.536 msnm) se obtuvo el promedio más alto, con 593,71 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-2}$; seguida de la zona Media (1.700 msnm), con 455,17 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-2}$; y la zona Alta (2.015msnm), con 335,06 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-2}$ (Tabla 3). La RFA es una variable de gran

importancia para las plantas, ya que se traduce en la regulación del crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas (Liu et al., 2004; Bote et al., 2018). Es por esto que la variación de la luminosidad, en las diferentes zonas altitudinales, se encuentra asociada con las diferencias en la producción (Camayo-Vélez et al., 2003; Criollo et al., 2014).

Tabla 3. Comparación de medias (DMS) para las variables evaluadas en las diferentes alturas (A = 2.015 msnm, M = 1.700 msnm, B = 1.536 msnm) de una zona productora de café en el departamento de Nariño.

VARIABLE	AP	NH	DB	RP	LR	NE	LH
CRUZ	117 A	975,9 A	5,59 A	66,13 A	52,74 A	18,35 A	11,86 A
MANA	90,8 A	745,9 A	4,67 AB	66,95 A	51,63 A	18,06 A	11,86 A
DELICIAS	58,6 B	773,6 A	4,14 B	54,96 A	46,2 A	15,23 A	12,8 A
VARIABLE	AF	IAF	RTO	RFA	HR	T	PP
CRUZ	121,5 A	0,01 A	1,68 B	335,1 C	76,41 A	18,48 B	28,56 A
MANA	107,7 A	0,01 A	3,52 A	455,2 B	78,94 A	19,39 A	5,81 B
DELICIAS	114,7 A	0,01 A	2,99 A	593,7 A	78,41 A	19,88 A	14,87 AB

AP: Altura de planta; NH: Numero de hojas; DB: Diámetro basal; RP: Número de ramas primarias por planta; LR: Largo de ramas primarias; NE: Número de entrenudos de ramas primarias; LH: Largo de hoja; AF: Área foliar; IAF: Índice de área foliar; RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; RH: Humedad relativa; T: Temperatura; PP: Precipitación; RTO: Rendimiento. Medias con distintas letras son significativas a una $P < 0,05$.

Fuente: autores de esta investigación.

Las Tablas 4, 5 y 6 corresponden a los análisis de sendero de las tres altitudes evaluadas, en las que se muestran las relaciones que existen entre la variable RTO y las variables morfológicas, fisiológicas y climáticas. En la zona alta se observó que las variables morfológicas que presentaron los mayores efectos directos sobre el rendimiento fueron las variables NE (0,54) y AP (0,76). Dentro de las variables climáticas, la que mostró mayor efecto directo sobre el RTO fue la HR. Dentro de los efectos indirectos, los más significativos fueron los causados por el NH, DB, LR, NE y AF a través de la AP (Tabla 4).

La altura de la planta es considerada como una variable que contribuye al desarrollo de ramas primarias y secundarias que garantizan la producción de una planta (Blanco et al., 2003; Balladares y Calero, 2005; Arcila et al., 2007). El número de hojas aporta a la

actividad fotosintética, puesto que entre mayor número de hojas aumenta la capacidad de interceptación de radiación solar y por ende, existe una mayor productividad (Barraza et al., 2004; Escalante y Rodríguez, 2010; Da Silva et al., 2011).

Una planta de café para el desarrollo de los sus frutos requiere hasta cuatro veces más fotoasimilados que los que necesita para la generación de una nueva rama, y se espera que a mayor número de ramas exista una mayor producción, lo cual depende de factores climáticos como la radiación solar (Vaast et al., 2005; Escalante y Rodríguez, 2010). El requerimiento de la humedad relativa en el cultivo de café esta entre 70-95% y es un factor importante, puesto que influye sobre el crecimiento de tejidos, transpiración de la planta, fecundación de las flores, entre otras (Fernández, 2018).

Tabla 4. Análisis de sendero que muestra los efectos directos (diagonal) e indirectos (fuera de la diagonal) de los componentes morfológicos y climáticos sobre el rendimiento del cultivo de café en la altitud alta (2.015 msnm).

V	AP	NH	DB	RP	LR	NE	LH	AF	IAF	RFA	HR	T	PP	rX-RTO
AP	0,76	-0,02	-0,08	-0,05	0,12	0,43	-0,14	-0,20	-0,22	0,04	0,13	0,03	0,16	0,95
NH	0,70	-0,02	-0,07	-0,07	0,08	0,26	-0,29	-0,20	-0,06	0,08	0,26	0,07	0,24	0,98
DB	0,61	-0,02	-0,10	-0,02	0,09	0,36	0,12	-0,12	-0,28	0,09	-0,01	-0,01	0,14	0,85
RP	0,46	-0,02	-0,03	-0,08	0,02	0,01	-0,52	-0,18	0,19	0,07	0,41	0,12	0,27	0,71
LR	0,65	-0,01	-0,06	-0,01	0,14	0,53	0,06	-0,15	-0,35	-0,02	-0,07	-0,03	0,00	0,67
NE	0,60	-0,01	-0,06	0,00	0,13	0,54	0,17	-0,12	-0,40	-0,03	-0,13	-0,05	-0,03	0,60
LH	-0,18	0,01	-0,02	0,07	0,01	0,15	0,59	0,13	-0,32	-0,02	-0,42	-0,13	-0,20	-0,31
AF	0,69	-0,02	-0,05	-0,07	0,09	0,30	-0,36	-0,22	-0,05	0,04	0,27	0,07	0,20	0,89
RFA	-0,22	0,01	0,06	0,04	0,02	0,10	0,09	0,05	-0,09	-0,14	-0,19	-0,06	-0,24	-0,55
HR	0,22	-0,01	0,00	-0,08	-0,02	-0,17	-0,57	-0,14	0,32	0,06	0,43	0,13	0,25	0,43
PP	-0,40	0,02	0,05	0,07	0,00	0,05	0,39	0,15	-0,17	-0,12	-0,36	-0,11	-0,30	-0,73

AP: Altura de planta; NH: Numero de hojas; DB: Diámetro basal; RP: Número de ramas primarias por planta; LR: Largo de ramas primarias; NE: Número de entrenudos de ramas primarias; LH: Largo de hoja; AF: Área foliar; IAF: Índice de área foliar; RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; RH: Humedad relativa; T: Temperatura; PP: Precipitación; RTO: Rendimiento.

Fuente: autores de esta investigación.

En la Tabla 5 se presenta el Análisis de Sendero para la zona media (1.700 msnm), la que se observa que la variable que presentó el mayor efecto directo fue RP (0,73). Dentro de los efectos indirectos, los más importantes fueron los causados por RH (0,73) a través de T. La arquitectura de la planta para la disposición de las ramas primarias indica buena posición de flores y mejor cuajado de frutos, los cuales son indicadores de un buen rendimiento (Quevedo et al., 2015). Sin embargo, a pesar de que el número de ramas primarias tiene un efecto directo sobre el

rendimiento, presenta unos efectos indirectos negativos acumulativos a través del NH, el LR y la HR. Hay que anotar que el aumento del número de ramas es una característica morfológica del café relacionada con la productividad (Balladares y Calero, 2005). Cada cultivo tiene diferentes requerimientos durante las diferentes etapas de desarrollo fenológico y entre más proximidad haya a los valores óptimos requeridos por el cultivo, su productividad será mayor (López-López y Benavides, 2014).

Tabla 5. Análisis de Sendero que muestra los efectos directos (diagonal) e indirectos (fuera de la diagonal), de los componentes morfológicos y climáticos sobre el rendimiento del cultivo de café a una altitud de 1.700 msnm.

V	AP	NH	DB	RP	LR	NE	LH	AF	IAF	RFA	HR	T	PP	RX-RTO
AP	0,15	0,43	0,01	-0,65	0,39	-0,02	0,23	-0,22	0,02	0,00	0,53	-0,07	-0,33	0,46
RP	-0,13	-0,34	0,00	0,73	-0,44	0,03	-0,23	0,03	-0,03	-0,03	-0,51	0,07	0,24	-0,59
LH	-0,09	0,04	-0,01	0,43	-0,04	-0,02	-0,39	0,07	0,00	0,00	-1,15	0,06	0,14	-0,96
HR	-0,07	0,13	-0,01	0,32	0,05	-0,03	-0,38	0,06	0,01	0,00	-1,17	0,05	0,10	-0,94
T	0,13	0,27	0,00	-0,71	0,37	-0,02	0,29	-0,05	0,02	0,02	0,73	-0,08	-0,24	0,74

V: Variable; AP: Altura de planta; NH: Numero de hojas; DB: Diámetro basal; RP: Número de ramas primarias por planta; LR: Largo de ramas primarias; NE: Número de entrenudos de ramas primarias; LH: Largo de hoja; AF: Área foliar; IAF: Índice de área foliar; RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; RH: Humedad relativa; T: Temperatura; PP: Precipitación; RTO: Rendimiento.

Fuente: autores de esta investigación.



El análisis de sendero para la zona Baja (1.536 msnm) mostró que las variables que presentaron los mayores efectos directos sobre el RTO de café fueron LR y el AF, y dentro de las variables climáticas fue la T. Los efectos indirectos más importantes fueron el NE a través de la AP (0,80), el DB a través del NH (0,72), RP a través de LH, AF y HR. Estos efectos fueron determinados por las condiciones climáticas de la zona (Tabla 6). Por otra parte, los factores que regulan el crecimiento y la productividad del

café están asociados a la radiación solar, su interceptación y su uso eficiente (Montoya et al., 2009). Una mayor área foliar implica, generalmente, una mayor capacidad de interceptación de radiación solar y por ende una mayor productividad (Da Silva et al., 2011) y, como lo manifiesta Pérez et al. (2013) un mayor número de ramas y mayor número de entrenudos son indicadores de mayor rendimiento, lo cual coincide con las relaciones causa-efecto encontradas en esta altitud de estudio.

Tabla 6. Análisis de sendero que muestra los efectos directos (diagonal) e indirectos (fuera de la diagonal) de los componentes morfológicos y climáticos del rendimiento del cultivo de café a una altitud de 1.536 msnm.

V	AP	NH	DB	RP	LR	NE	LH	AF	IAF	RFA	HR	T	PP	RX-RTO
DB	-1,39	0,72	0,42	-0,26	0,04	0,06	-0,07	-0,12	-0,19	0,53	0,62	0,45	-0,43	0,40
RP	0,07	-0,02	0,16	-0,70	0,35	-0,87	0,52	0,62	0,12	-0,64	1,13	0,23	-0,04	0,95
LR	0,84	-0,18	0,05	-0,60	0,41	-0,87	0,45	0,57	0,30	-1,23	0,92	-0,03	0,03	0,66
NE	0,80	-0,35	-0,03	-0,63	0,37	-0,97	0,58	0,72	0,23	-1,02	0,94	0,02	0,15	0,81
LH	-0,59	0,39	0,05	0,60	-0,30	0,93	-0,61	-0,74	-0,15	0,71	-0,88	-0,08	-0,19	-0,86
AF	0,71	-0,42	-0,07	-0,58	0,31	-0,94	0,61	0,74	0,17	-0,80	0,84	0,04	0,21	0,83
RH	0,20	-0,13	-0,23	0,68	-0,33	0,78	-0,46	-0,54	-0,07	0,49	-1,16	-0,30	0,12	-0,94
T	-1,57	0,53	0,35	-0,30	-0,02	-0,03	0,09	0,06	-0,30	0,90	0,64	0,55	-0,28	0,61

V: Variable; AP: Altura de planta; NH: Numero de hojas; DB: Diámetro basal; RP: Número de ramas primarias por planta; LR: Largo de ramas primarias; NE: Número de entrenudos de ramas primarias; LH: Largo de hoja; AF: Área foliar; IAF: Índice de área foliar; RFA: Radiación Fotosintéticamente Activa; RH: Humedad relativa; T: Temperatura; PP: Precipitación; RTO: Rendimiento.

Fuente: autores de esta investigación.

CONCLUSIONES

Los componentes de rendimiento del café (variedad Castillo) cambiaron con la altitud. Las zonas Media y Baja obtuvieron los mayores rendimientos. Para la zona Media (1.700 msnm), los efectos directos sobre el RTO fueron ocasionados por la variable RP. Dentro de los efectos indirectos, los más importantes fueron los causados por la variable RH a través de la T. En la zona Baja (1.536 msnm), los mayores efectos directos sobre el RTO los provocaron las variables LR,

AF y RFA; y los efectos indirectos fueron la T a través de la RFA, el NE a través de la AP, el DB a través del NH y el RP a través de la longitud de la hoja (LH), del área foliar (AF) y de la humedad relativa (HR). Finalmente, la zona que presentó el menor rendimiento fue la zona Alta (2.015 msnm), mostrando comoefectos directos la afectación en las variables AP, NE y HR; y los indirectos, NH, DB, LR, AF a través de la AP. Se hace necesario estudiar la arquitectura de la planta y su relación con la HR para potenciar el RTO del café.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Paula Yulitza Burbano R.: registro de datos, sistematización de datos, análisis de información, revisión bibliográfica y redacción del artículo.

Angie Lorena Valencia A.: registro de datos, sistematización de datos, análisis de información, revisión bibliográfica y redacción del artículo.

Tulio César Lagos-Burbano: Coordinación del estudio, análisis de datos, estadística, revisión y corrección del artículo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Sistema General de Regalías, a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, a través del Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos y al proyecto *Investigación evaluación del efecto de sombra de diferentes especies arbóreas en el comportamiento agronómico y calidad de Café, Consacá, Nariño, Occidente*, Código BPIN (2012000100184); y en especial a quien, en vida, fue el PhD. Hernando Criollo Escobar, por sus aportes en la formulación y dedicación en el desarrollo del presente estudio.

LITERATURA CITADA

Abbott, L. A., Pistorale, S. M. y Filippini, O (2007). Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semillas en *Bromus catharticus*. *Ciencia e investigación agraria*, 34(2), 141-149. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202007000200007>

Arcila, P. (2007). Densidad de siembra y productividad de los cafetales. En J. P. Arcila, F. V. Farfán, L. A. Moreno, L. F. Salazar y E. Hincapié (Eds.). *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 132-143). Cenicafé.

Balladares, D. y Calero, J. (2005). *Efecto de la sombra y fertilización sobre el crecimiento, estructura productiva y calidad de café (Coffea arabica) vr. Costa Rica 95* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1969/1/tnf04b188.pdf>

Barraza, F., Fischer, G. y Cardona, C. (2004). Estudio del proceso de crecimiento

del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 81-90. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180317823011.pdf>

Blanco, M., Hagggar, J., Morada, P., Madriz, J. y Pavón, G. (2003). *Morfología del café (Coffea arabica L.), en lotes comerciales. Nicaragua. Agronomía Mesoamericana*, 14(1), 97-103. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5546834.pdf>

Bote, A., Ayalew, B., Ocho, F., Anten, N. & Vos, J. (2018). Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. *European Journal of Agronomy*. 92, 115-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.10.007>

Camayo-Vélez, G. C., Chaves-Córdoba, B., Arcila-Pulgarín, J. y Jaramillo-Robledo, Á. (2003). Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná - Caldas. *Cenicafé*, 54(1), 35-49. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/264/1/arc054%2801%29035-049.pdf>

Castro, N., Domínguez, R. y Paccapelo, H. (2011). Análisis del rendimiento de grano y sus componentes en cereales sintéticos. *Semiárida*, 22, 13-21. <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/rev-agro/v22a03castro.pdf>

Checa, J. E. y Noguera, W. A. (2017). *Oferta ambiental, crecimiento inicial del café (Coffea arabica L) en la zona cafetera de Nariño* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Archivo digital. <http://sired.udenar.edu.co/5953/1/OFERTA%20AMBIENTAL%2C%20CRECIMIENTO%20INICIAL%20DEL%20CAF%2C%28%29%20%28COFFEA%20ARABI.pdf>

Clavijo, S. (2019, 12 de octubre). Panorama cafetero 2019-2020. *La República*. <https://www.google.com.co/amp/s/amp.larepublica.co/analisis/sergio-clavijo-500041/panorama-cafetero-2019-2020-2920631>



- Comité Departamental de Cafeteros de Nariño. (2008). *Informe del Comité Departamental de Cafeteros de Nariño*. <https://federaciondefcafeteros.org/static/files/Nariño4.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2014). *Diagnóstico Biofísico y Socioeconómico Municipio de Consacá*. <https://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/DIAGNOSTICO%20BIOFISICO%20Y%20SOCIO%20ECONOMICO%20DE%20CONSACA.pdf>
- Criollo, H., Lagos, T. C., Fischer, G., Mora, L., y Zamudio, L. (2014). Comportamiento de tres genotipos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes sistemas de poda. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 8(1), 34-43. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n1/v8n1a04.pdf>
- Criollo, H., Benavides, D., Muñoz, J. y Lagos, T. C. (2019). Caracterización socioeconómica de fincas cafeteras del departamento de Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A: Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2), 1-8. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1397>
- Da Silva, W., Batista, S., Tomaz, M. A., Teixeira, J. F., Nunes, W. y Deleon, L. (2011). Métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. *Enciclopédia Biosfera*. 7(13), 746-759. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4161/4050>
- Escalante, J. y Rodríguez, M. (2010). Biomasa, índice de cosecha y componentes del rendimiento en frijol y nitrógeno. *Ciencias Agrícolas Informa*, 19, 5-11.
- Jaramillo-Robledo, A. (2005). Clima andino y café en Colombia. *Cenicafé*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/1/Portada.pdf>
- Liu, J., Miller, J. R., Pattey, E., Haboudane, D., Strachan, I. B. & Hinthner, M. (2004, del 20 al 24 de septiembre). Monitoring crop biomass accumulation using multi-temporal hyperspectral sensing data [conferencia]. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Anchorage, Estados Unidos*. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2004.1370643>
- López-López, A. J., y Benavides-León, C. (2014) Respuesta térmica del invernadero de la estación experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 25(1), 121-132. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212014000100012
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Cadena Café: 1º Trimestre 2020*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cafe/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Montoya, E. C., Arcila, J., Jaramillo, A., Riaño, N. y Quiroga, F. (2009). Modelo para simular la producción potencial del cultivo de café en Colombia. *Cenicafé*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot033.pdf>
- Muschler, R. (1999). *Árboles en cafetales*. Catie.
- Organización Internacional del Café. (2019). *Informe de la OIC sobre desarrollo cafetero del 2019*. <http://www.ico.org/documents/cy2018-19/ed-2318c-overview-flagship-report.pdf>
- Pérez, E., Medrano, L. y Sánchez, J. (2013). El Path Analysis: Conceptos básicos y ejemplos de aplicación. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*. 5(1), 52-66. <https://www.redalyc.org/pdf/3334/333427385008.pdf>
- Quevedo, E., Sánchez, O. y Veloza, C. (2015). Efecto del tutorado y distancias de siembra sobre el rendimiento de *Physalis peruviana* L. *Revista U.D.C.A: Actualidad & Divulgación Científica*. 18(1), 91-99. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/1599/1/Art%C3%ADculo.pdf>
- Ramírez, V. H., Peña, A. J., Jaramillo, A., Giraldo, J. P., Suárez, H. E. y Duque, N. (2012). Riesgo agroclimático para zona cafetera colombiana: método para regionalizar la variabilidad climática. *Cenicafé*. 63(2), 98-115. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/539>
- Sanfuentes, C., Sierra-Almeida, A. y Cavieres, L. A. (2012). Efecto del aumento

de la temperatura en la fotosíntesis de una especie alto-andina en dos altitudes. *Gayana Botánica*. 69(1), 37-45. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432012000100005>

Suárez, J. C., Rodríguez, E. y Duran, E. H. (2015). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronómica*. 64(4), 342-348. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.44641>

Tirado, M., Tirado, L. y Mendoza, J. (2018). Interacción genotipo x ambiente en rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) con pulpa pigmentada en Cutervo, Perú. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 34(3), 191-198. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000502>

Vaast, P., Angrand, J., Franck, N., Dauzat, J. & Génard, M. (2005). Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea arabica* in the field. *Tree Physiology*, 25(6), 753-760. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.6.753>

Wardofa, G. A., Asnake, D. & Mohammed, H. (2019). Gge biplot analysis of genotype by environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in central ethiopia. *Revista Journal of plant breeding and genetics*. 7(2), 75-85. <https://doi.org/10.33687/pbg.007.02.2846>

Welker, J. M., Fahnestock, J. C., Henry, G. H. R., O'dea, K. W. & Chimner, R. A. (2004). CO2 exchange in three Canadian High Arctic ecosystems: response to long-term experimental warming. *Global Change Biology*. 10(12), 1981-1995. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00857.x>

Zapata, P. C., Andrade, H. J. y Nieto, Z. K. (2017). Comportamiento ecofisiológico del café (*Coffea arabica* L.) CV. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. *Revista. U.D.C.A: Actualidad & Divulgación Científica*. 20(1), 61-70. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n1/v20n1a08.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.



REMINERALIZER AND CONTROLLED-RELEASE FERTILIZER INCREASE *Mimosa scabrella* Benth. SEEDLINGS GROWTH

FERTILIZANTE DE LIBERACIÓN CONTROLADA Y REMINERALIZANTE INCREMENTAN EL CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS DE *Mimosa scabrella* Benth

Alexandre Dal Forno Mastella • alexandremastella@gmail.com
PhD student Forest Engineering, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil.

Mônica Moreno Gabira • monica.gabira@gmail.com
PhD student Forest Engineering, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil.

Letícia Siqueira Walter • leticiasiqueira.walter@gmail.com
PhD student Forest Engineering, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil.

Rodrigo Condé Alves • rconde@gmail.com
Master's degree in Forest Engineering.

Chaiane Rodrigues Schneider • chai.rodriguesschneider@gmail.com
PhD student Forest Engineering, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil.

Karen Koch Fernandes de Souza • karenkfs@yahoo.com.br
Professor in Educational State Center "Newton Freire Maia", Pinhais, Brazil.

Dagma Kratz • kratzdagma@gmail.com
Professor in Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil.

Alessandro Camargo Ângelo • alessandrocamargo@gmail.com
Professor in Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil.

Citation: Mastella, A.D.F., Gabira, M.M., Walter, L.S., Alves, R.C., Schneider, C.R., Souza, K.K.F., Kratz, D., Ângelo, A.C. (2022). Remineralizer and controlled-release fertilizer increase *Mimosa scabrella* Benth. seedlings growth. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 63 – 74.
DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4509>

ABSTRACT

Contextualization: *M. scabrella* is a native tree species of the Brazilian Mixed Ombrophilous Forest, with a high ecological importance and economic potential.

Knowledge gap: There is a lack of information about the use of resources that favour the seedlings production of this species.

Purpose: This study aimed to determine the most appropriate doses of controlled-release fertilizer (CRF) combined with the addition of remineralizer for production of *M. scabrella* seedlings.

Methodology: Seedlings were produced using four doses of CRF (0, 4, 8, and 12 Kg/m³) and four doses of remineralizer (0%, 10%, 20%, and 30%), in a 4 x 4 factorial scheme.

At 180 days of seedling production, growth in height and stem diameter, shoot (SDB), root (RDB) and total biomass (TDB), and Dickson quality index (DQI) were evaluated.

Results and conclusions: The use of remineralizer provided an increase in density and water retention capacity of substrates, as well as a reduction of macroporosity and total porosity. Combined with doses of 4 and 8 Kg/m³, CRF contributed to the increase of biomass and DQI. The addition of 10% remineralizer, associated with 4.0 Kg/m³ CRF, provides adequate growth to produce *M. scabrella* seedlings. Above this percentage of remineralizer and CRF dose, species growth rate is reduced.

Keywords: basalt rock dust; forest restoration; mine residues; native species; plant nutrition

RESUMEN

Contextualización: *M. scabrella* es una especie arbórea nativa del Bosque Mixto Ombrófilo brasileño, de gran importancia ecológica y potencial económico.

Vacío de conocimiento: Aún se carece de información sobre el uso de recursos, como sustratos y manejo de nutrientes, que favorecen la producción de plántulas de esta especie.

Propósito del estudio: Este estudio tuvo por objeto determinar las dosis más adecuadas de fertilizante de liberación controlada (CRF), combinado con la adición de remineralizador al sustrato, para la producción de plántulas de *M. scabrella*.

Metodología: Las plántulas se produjeron utilizando cuatro dosis de CRF (0, 4, 8 y 12 Kg/m³) y cuatro dosis de remineralizador (0%, 10%, 20% y 30%), en un esquema bifactorial 4x4. A los 180 días de la producción

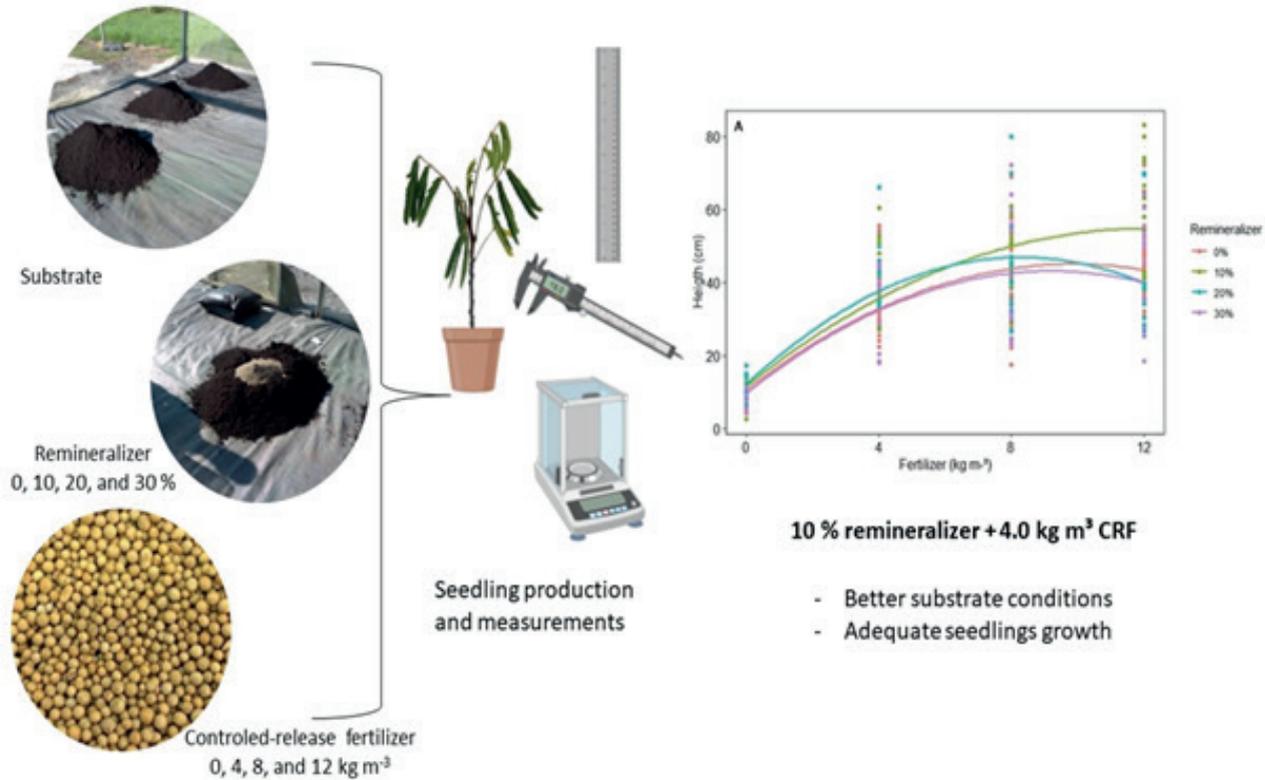
de plántulas, se evaluó el crecimiento en altura y diámetro del tallo, el brote (SDB), la raíz (RDB) y la biomasa total (TDB), y el índice de calidad Dickson (DQI).

Resultados y conclusiones: El uso del remineralizador proporcionó un aumento de la densidad y la capacidad de retención de agua de los sustratos, así como una reducción de la macroporosidad y la porosidad total. Cuando se combinó con dosis de 4 y 8 Kg/m³ CRF, contribuyó al aumento de la biomasa y del DQI. La adición de un 10% de remineralizador, asociado con 4,0 Kg/m³ CRF, proporciona un crecimiento adecuado para producir plántulas de *M. scabrella*. Por encima de este porcentaje de remineralizador y dosis de CRF, la tasa de crecimiento de las especies se reduce. 

Palabras clave: polvo de roca basáltica; restauración de bosques; residuos de minas; especies nativa; nutrición vegetal



GRAPHICAL ABSTRACT



Source: Authors

1. INTRODUCTION

Mimosa scabrella Benth. is a pioneer, leguminous tree species, from the Mixed Rainforest of South America (Carvalho, 2003). Its geographical distribution ranges from the south of Minas Gerais and Rio de Janeiro States, to the north of Rio Grande do Sul State, where it is observed most frequently (Machado et al., 2008). *M. scabrella* is an important source of wood for energy generation, but also has ornamental, forage, melliferous, and medicinal potential (Saueressig, 2014). When is used for forest restoration of degraded areas, it promotes the enrichment of the soil with organic compounds and facilitates spontaneous succession due to its rapid growth, providing a diversified composition of canopy cover and other life forms (Citadini-Zanette et al., 2017).

The production and commercialization of *M. scabrella* seedlings are important for the implementation of new plantations in restoration, monoculture, or mixed systems with *Ilex paraguariensis* A.St.-

Hil (yerba mate), for example. However, there is still a lack of information about *M. scabrella*, and the resources that favor seedlings production of this plant. Among the factors that affect seedlings quality are seeds, substrates, fertilizers, and pesticides (Restrepo et al., 2013). Many studies point to the need for alternative materials in place of those traditionally used, as substrates and fertilizers, looking for greater sustainability in the production chain (Fragoso et al., 2017; Kratz et al., 2017; Stuepp et al., 2017; Gabira et al., 2020a, 2020b). In addition to material choice, the correct management of these resources in the nursery garden ensures better profitability and satisfactory results in the field (Mikula et al., 2020).

The proper use of fertilizers is one of the most important factors to ensure the quality of forest seedlings and their effective development in the field (Cortina et al., 2013). Doses and sources of fertilizers to be applied should be carefully considered to ensure the optimization of these resources (Madrid-Aispuro et al., 2020). Several

studies indicate that the use of controlled-release fertilizers (CRF) ensures efficiency in nutrients availability throughout seedling production process, reducing losses due to leaching or damage due to excess of nutrients in substrates (Stüpp et al., 2015; Van Eerd et al., 2018; Cabreira et al., 2019). In addition, the use of CRF in seedlings production demonstrates a balance between plant physiological demands, according to the availability of nutrients (Santos et al., 2020; Cabreira et al., 2019; Brito et al., 2018). Regarding *M. scabrella*, studies indicate high salinity resistance (Avrella et al., 2019a) and a positive response to fertilization with CRF (Stüpp et al., 2015).

The use of volcanic rock waste as an alternative or complement to the use of fertilizers has been presented in some studies, searching for better sustainability of mining waste (Theodoro et al., 2013; Machado et al., 2016). Brazil produces large quantities of this waste due to its intense mining activity, and urgently needs adequate ways to dispose of this material (Dalmora et al., 2020). In 2013, through Law No. 12,890/2013, the use of rock dust as a soil remineralizer for agricultural purposes was instituted in Brazil (Brasil, 2013b). Among the advantages of using rock powder as a remineralizer, we can mention the ease of obtainment, the possibility of using it in natura (Da Silva et al., 2013), and the significant cost reduction (Machado et al., 2016). Remineralizers can also have corrective effects in soil acidity, influencing nutrient availability for plants and biomass production (Souza et al., 2017, 2018). However, further studies are needed regarding its use in seedlings production in containers with restricted volume, as the physical characteristics of this material can significantly alter substrate properties.

In this study, we considered the hypothesis that the use of adequate amounts of CRF combined with the addition of remineralizer to the substrate may increase growth and quality of *M. scabrella* seedlings, enabling a more efficient and sustainable production. Thus, the aim of this study was to determine the most appropriate doses of CRF and remineralizer for *M. scabrella* seedlings growth.

2. MATERIAL AND METHODS

The research was conducted at the Arboreto Project Forest Nursery, located at Canguiri Farm Experimental Station Center of the Universidade Federal do Paraná (UFPR) (25°23'20.76"S and 49°7'26.40"W at 895m altitude over the sea) located in Pinhais, Paraná, Brazil. The region's climate is Cfb type, according to the Köppen classification, characterized as humid subtropical with mild summer (Alvares et al., 2013).

The experiment started in June 2019, in a greenhouse without temperature and humidity control. During the experimental period, the minimum and maximum temperature averages were, respectively, 14.19°C and 16.09°C, with an average relative humidity of 88%. The greenhouse was protected by a roof, front and rear covered by light-diffusing plastic, and sides made up of shade screen and retractable light-diffusing plastic, the floor was covered with plastic ground cover. Irrigation with micro-sprinkler (52 L h⁻¹) was adjusted according to climatic conditions and seedling water requirement, varying from 2 to 8 min, with frequency from 3 to 4 times a day. We carried out a physical and chemical analysis of the substrate needed for the seedlings. Physical analysis followed the Normative Instruction No 17/2007 of the "Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento" (Brasil, 2007); according to this we evaluated: bulk density, macroporosity, total porosity, and water retention capacity. Chemical analysis determined the substrate hydrogenionic potential (pH) and its electrical conductivity (EC).

For seedlings production, the commercial substrate (CS) MecPlant Florestal2C®, based on semi-composted pine bark with vermiculite, pH regulator, and macronutrients was used, along with the soil remineralizer (R) Reminer®. Substrate physical characteristics were: WHC 60% [p/p], CTC 200 mmol c/Kg, maximum humidity 60%, average density of 375g/l, pH 5.3 – 5.8, and CE 1.2 – 1.7. According to the remineralizer producer, the batch of remineralizer used in our experiment had the following nutritional contents: 1.54% Al; B < 10 ppm; 1.22% Ca; 4.32% Fe; 0.11%



K; 0.36% Mg; 375 ppm Mn; 0.6 ppm Mo; 0.33% Na; 904 ppm P; S < 0.01%; 65 ppm Zn; 51% SiO₂; 12.90% Al₂O₃; 15.5% Fe₂O₃; 9.93 % CaO; 5.39 % MgO; 0.24 % P₂O₅; 2.42 % Na₂O; 1.07 % K₂O; 0.23 % MnO.

Analysis was performed on compositions with doses of 0% to 30% of remineralizer, with 10% intervals (v v⁻¹): 100CS/0R, 90S CS/10R, 80CS/20R, 70CS/30R. As base fertilization, we used four doses (0, 4, 8, and 12 kg m⁻³) of Controlled Release Fertilizer (CRF) Osmocote® 5M (18-05-09) and MiniPrill (18% total N, 5 % P₂O₅, 9 % K₂O, and 3.5% S). Those, applied to the four formulated compositions, completed 16 treatments. The plants were the repetitions of the treatment: 15 repetitions in 16 treatments. There were 240 plants distributed in 5 blocks, making a total of 1,200 plants in the experiment.

M. scabrella seeds used in this experiment were donated by the Chauá Society®. The physical dormancy of the seeds was overcome by its immersion in hot water at 80 °C, allowing it to cool until room temperature (18h), following the recommendations of the Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply (Brasil, 2013a). Seedlings were produced by directly sowing three to four seeds per container (110 cm³ tubes). The containers were covered with vermiculite to maintain the humidity and temperature, and reducing the growth of undesirable plants. After sowing, the tubes were placed in metal trays of 545 cells without spacing, suspended at 0.5 m from the ground, and stored in the greenhouse for 30 days. Seedling spacing was increased at 90 days to 4 x 4 cm, maintaining this configuration until 180 days. Seedling thinning was carried out after 30 days, when the seedling reached about 5 cm height, keeping the seedling more centralized in the tube, which had a greater shoot height.

At 180 days after sowing, we measured shoot height (H) and stem diameter (D) of all plants with a millimeter ruler and a digital caliper (0.01 mm). Destructive analysis was performed on five plants per repetition to obtain shoot biomass (SDB) and root biomass (RDB). Roots were washed, then packed in identified paper bags and dried in an oven at 70°C for 72h. Subsequently, they were weighed in an analytical balance with 0.001g

precision. We used H, D, SDB, and RDB to calculate total biomass (TDB) and Dickson quality index (DQI) (Dickson et al., 1960).

Statistical analysis

The experimental design was randomized blocks in a bifactorial scheme (4 CRF doses x 4 remineralizer %) composed of five blocks with 15 plants (sample unit), resulting in 1,200 plants. For statistical analysis, we initially verified the assumption of homogeneity of variances by Bartlett test (p < 0.05) and normality by Shapiro-Wilk test. Data referring to substrate characterization were submitted to an Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey test (p < 0.05). Other parameters were submitted to descriptive statistics and polynomial regression curves were adjusted for all variables. Equations were validated using the Bootstrap algorithm, which removes in each adjust one observation and tests to the others. This procedure was repeated 1,000 times to validate the models we obtained. We used the R software (R Core Team, 2019) to perform all the statistical analysis.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The addition of a remineralizer provided significant changes in all substrate characteristics (Table 1). The reduced size of rock dust particles resulted in increased density and water retention capacity of the substrates, and reduced macroporosity and total porosity. The substrate 70CS/30R showed the highest density value (910.49 kg/m³), and the lowest values of macroporosity and total porosity, 11.82% and 67.11%, respectively. CS, on the other hand, had the lowest density and water retention capacity – 579.68 Kg m⁻³ and 44.64%, respectively – and the highest macroporosity and total porosity, 37.24% and 81.88%, respectively. There was a small variation in pH and EC between substrates, despite the statistical difference. The commercial substrate showed the highest average EC value (0.42 dS m⁻¹) and the lowest pH (6.32), while the substrate 70CS/30R had the lowest average EC value (0.31 dS m⁻¹) and the highest pH (6.69). We observed linear changes in EC and pH as the percentage of remineralizer in the substrate increased.

Table 1. Bulk density (D), macroporosity (Macro), water holding capacity (WHC), total porosity (TP), electrical conductivity (EC), and hydrogenionic potential (pH) of substrates used in *M. scabrella* seedlings production

Substrate	Physical characteristics				Chemical characteristics	
	D (kg m ⁻³)	Macro (%)	WHC (%)	TP (%)	EC (dS cm ⁻¹)	pH
100CS	579.68 d	37.24 a	44.64 b	81.88 a	0.42 a	6.32 d
90CS/10R	715.29 c	23.92 b	52.63 a	76.55 b	0.38 b	6.41 c
80CS/20R	840.39 b	16.56 c	56.22 a	72.78 b	0.34 c	6.53 b
70CS/30R	910.49 a	11.82 d	55.29 a	67.11 c	0.31 d	6.69 a

Averages followed by the same letter in the column do not differ from each other by Tukey test at 5% probability. 100CS – 100% commercial substrate; 90CS/10R – 90% commercial substrate + 10% remineralizer; 80CS/20R – 80% commercial substrate + 20% remineralizer; 70CS/30R – 70% commercial substrate + 30% remineralizer.

Source: Authors.

The addition of remineralizer to the substrates provided an increase in density and water retention capacity, and reduced macroporosity and total porosity. Although the differences, substrates physical and chemical characteristics remained within the expected standards for substrates used in forest seedlings production (Pascual et al., 2018). Thus, despite *M. scabrella* results, all substrates of this study can be used in forest nurseries, considering the intrinsic needs of the species. Total porosity is important for gas exchange in plant root systems (Pascual et al., 2018), and balance between macro and micropores will determine the water and nutritional management to be adopted in the nursery.

The changes observed in this experiment were related to particle size and shape (Fermio et al., 2018), since remineralizer is composed of fine and dense particles. To a certain degree, an increase in water retention capacity is beneficial for plants since they are restricted to small containers and depend on the water retained in substrates to maintain themselves (Stüpp et al., 2015). On the other hand, water excess reduces substrate aeration, inhibiting root growth, and causing tissue death and decay (Pascual et al., 2018). *M. scabrella* is a species that thrives best in environments with less water accumulation and does not tolerate substrates with high water saturation (Avrella et al., 2019b, 2019c). Water accumulation increased with the addition of remineralizer, causing a

reduction in plant growth at doses higher than 20%.

The pH values varied between 6.32 and 6.69 in our study. The adequate values of pH for forest seedling production, in general, should be between 5.2 and 6.5 (Pascual et al., 2018). The subtle increase in pH, associated with the addition of the remineralizer, is related to the origin of the remineralizer, and was observed by Aquino et al. (2020) when evaluating different types of rocks with potential use as natural fertilizers. Significant changes in substrate pH provide differences in nutrients availability, even though we did not observe such effects in this experiment. Despite there were many minerals in remineralizer, these were not readily available (Ramos et al. 2015); therefore, we consider that its effect on plant growth was more related to changes in substrates physical characteristics.

The descriptive statistics exhibit a summary of the data obtained in the evaluation at 180 days after sowing (Table 2). Height showed high variance due to the difference between the maximum (83.0 cm) and minimum (2.5 cm) values measured. This behavior is a consequence of different substrate compositions, with the lowest values observed in the treatment composed only of a commercial substrate, without CRF (Figure 1). However, other variables showed low variance and standard deviation, with low minimum values at the end of experimental period.



Table 2. Descriptive statistics of height, stem diameter, shoot, root, and total biomass, and Dickson Quality Index of *M. scabrella* seedlings at 180 days, submitted to increasing doses of CRF (Osmocote® 5M (18-05-09) MiniPrill) and remineralizer

Parameters	Minimum	Medium	Maximum	Variance	St. Dev.	CV (%)
Height (cm)	2.5	33.89	83.0	312.95	17.69	0.52
Stem diameter (mm)	0.28	2.36	5.28	0.90	0.95	0.40
Shoot biomass (g)	0.026	0.74	2.1	0.25	0.50	0.67
Root biomass (g)	0.08	0.76	2.18	0.25	0.50	0.66
Total biomass (g)	0.10	1.50	4.28	0.91	0.95	0.63
Dickson Quality Index	0.004	0.09	0.28	0.003	0.05	0.58

Variance - Sample variance; St. Dev. - Standard Deviation; CV - Coefficient of variation.

Source: Authors.

The effect of CRF doses, associated with the addition of remineralizer to the commercial substrate, is clear on plant growth results (Figure 1). Except for treatment with 10% remineralizer, we observed greater plant growth as CRF increased to 8 kg m^{-3} , followed by reduced growth in plants subjected to 12 kg m^{-3} CRF. This result in the highest CRF dose indicates a potential toxic effect caused by excess of nutrients on plants when combined with the remineralizer. Although *M. scabrella* is considered a promising species for its use in saline soils, it presents a vulnerability to drought in the field (Avrella et al. 2019a). Salt excess in plant rhizosphere inhibits water flow because of the osmotic effect external to roots, resulting in salt and water stress (Taiz et al. 2014).

In this experiment, seedlings produced with up to 20% remineralizer and at least 4 kg m^{-3} of CRF showed morphological parameters similar to those observed by Avrella et al. (2019a) in fertilized *M. scabrella* plants subjected to salt stress of up to -0.2 MPa . Stüpp et al. (2015), on the other hand, obtained lower values of height and diameter in *M. scabrella* seedlings submitted to different CRF doses. Height values obtained in this experiment indicate the formation of seedlings suitable for planting in the field even before 180 days. The high values for this variable, not accompanied by compatible values of stem diameter and biomass, caused low DQI values. The harmony between plants' morphological characteristics, expressed through the DQI, indicates the appropriate balance between seedling shoot and root parts (Binotto et al., 2010). However, higher seedlings have an advantage in the field

concerning to weeds, especially in the first six months after planting, which are the most critical for plantation success (Stuepp et al., 2020).

Regarding the effect of treatments on plants, we observed that remineralizer and CRF provided changes in *M. scabrella* seedling growth, with a quadratic behavior for all variables. In general, plants submitted to doses of 10% remineralizer had greater growth and biomass accumulation when were compared to plants from other treatments, with significant differences according to the increase in CRF dose, starting with 4 kg m^{-3} (Figure 1). As it was expected, treatments without fertilizer and remineralizer showed the lowest average values for all variables, indicating the efficiency of using these resources for efficient production of *M. scabrella* seedlings.

The highest mean values for height and stem diameter were, respectively, 43.16 cm and 2.65 mm, those results were obtained adding 10 % remineralizer and 12 kg m^{-3} CRF to the substrate. It indicates that higher doses of remineralizer and CRF than those used in this study hindered seedling development. Despite similar behavior of height and stem diameter, factor levels had more influence on the height of plants that had higher variability and standard deviation (Table 2). Stem diameter, on the other hand, showed numerically similar averages (CV 0.40%), without major differences between treatments. The addition of remineralizer, combined with 4 and 8 kg m^{-3} CRF, contributed to an increase in biomass and DQI of *M. scabrella* seedlings. As it was expected, in

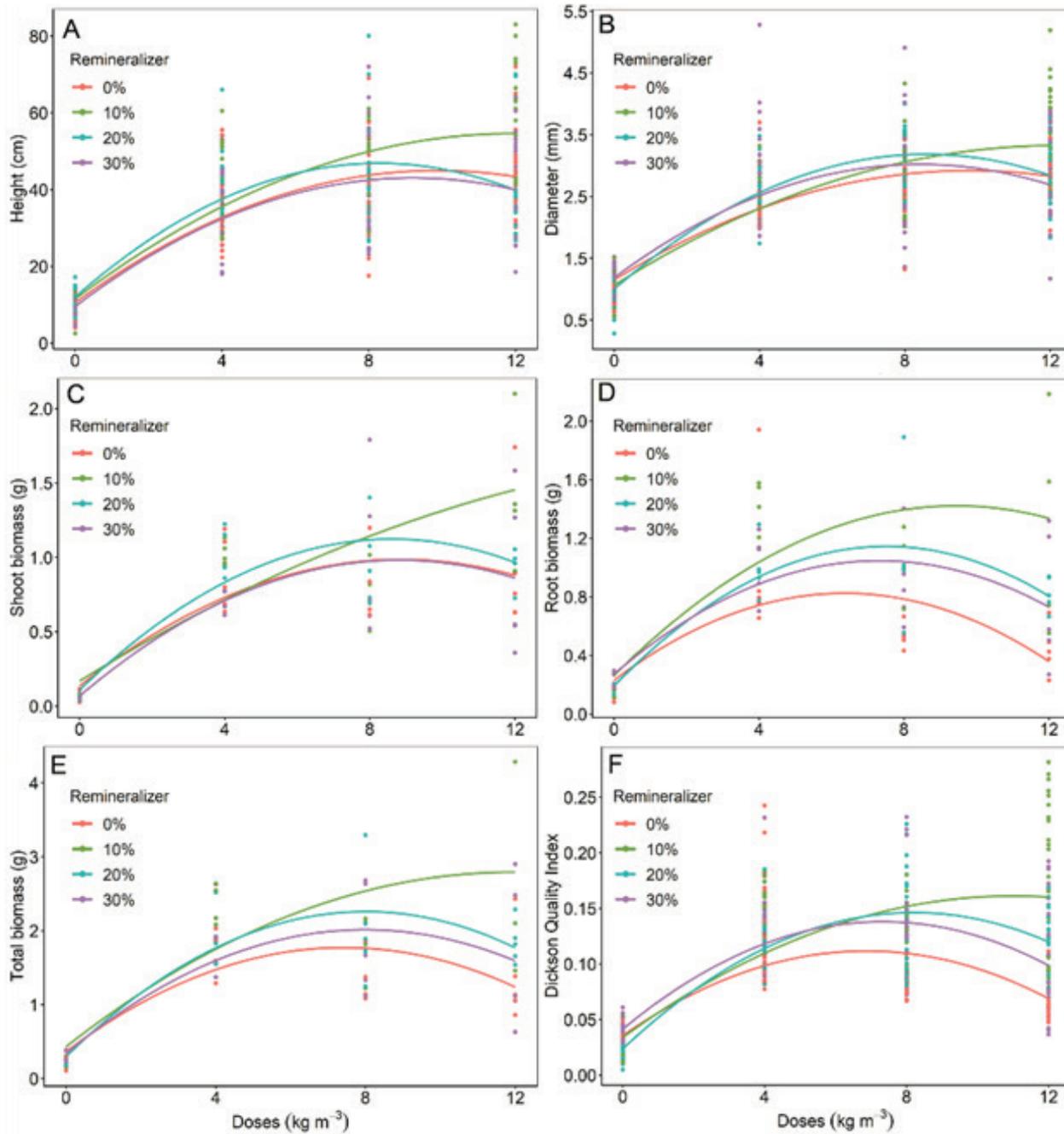


Figure 1. Polynomial regression for height (A), stem diameter (B), shoot (C), root (D), and total biomass (E), and Dickson Quality Index (F) of *M. scabrella* seedlings submitted to increasing doses of CRF (Osmocote® 5M (18-05-09) MiniPrill) and remineralizer.

Source: Authors

the treatment composed only of commercial substrate (CS), biomass was lower than other treatments. As a result of the combination of all other variables, DQI also indicates that the use of 10% remineralizer, combined with 4 and 8 kg m⁻³ CRF, for seedlings has an appropriate balance of morphological characteristics. Table 3 shows the components

of the adjusted equations of all variables. Coefficients were significant in all polynomial equations, using the CRF values for each remineralizer concentration as a dependent variable. The values obtained for adjusted R-square were not higher than 0.77, a result explained by the high variability within the blocks under analysis.



Table 3. Polynomial regression equations fitted for height, stem diameter, shoot, root, and total biomass, and Dickson quality index of *M. scabrella* seedlings submitted to increasing doses of CRF (Osmocote® 5M (18-05-09) MiniPrill) and basalt rock dust.

Parameter	Remineralizer	Equations	R ²
Height	0 %	$H = 10.49 + 6.98^{**}x - 0.35^{**}x^2$	0.61
	10 %	$H = 11.52 + 7.21^{**}x - 0.30^{**}x^2$	0.71
	20 %	$H = 11.97 + 8.42^{**}x - 0.51^{**}x^2$	0.64
	30 %	$H = 9.54 + 7.28^{**}x - 0.39^{**}x^2$	0.59
Stem diameter	0 %	$D = 1.15 + 0.36^{**}x - 0.018^{**}x^2$	0.69
	10 %	$D = 1.06 + 0.37^{**}x - 0.015^{**}x^2$	0.72
	20 %	$D = 1.00 + 0.50^{**}x - 0.027^{**}x^2$	0.77
	30 %	$D = 1.18 + 0.43^{**}x - 0.026^{**}x^2$	0.48
Shoot biomass	0 %	$SDB = 0.13 + 0.19^{**}x - 0.011^{**}x^2$	0.55
	10 %	$SDB = 0.16 + 0.15^{**}x - 0.003^{ns}x^2$	0.65
	20 %	$SDB = 0.10 + 0.23^{**}x - 0.013^{**}x^2$	0.74
	30 %	$SDB = 0.06 + 0.20^{**}x - 0.011^{**}x^2$	0.49
Root biomass	0 %	$RDB = 0.23 + 0.18^{**}x - 0.014^{**}x^2$	0.38
	10 %	$RDB = 0.26 + 0.24^{**}x - 0.013^{**}x^2$	0.47
	20 %	$RDB = 0.19 + 0.25^{**}x - 0.016^{**}x^2$	0.68
	30 %	$RDB = 0.27 + 0.21^{**}x - 0.014^{**}x^2$	0.47
Total biomass	0 %	$TDB = 0.36 + 0.37^{**}x - 0.025^{**}x^2$	0.51
	10 %	$TDB = 0.43 + 0.39^{**}x - 0.016^{**}x^2$	0.56
	20 %	$TDB = 0.30 + 0.49^{**}x - 0.030^{**}x^2$	0.74
	30 %	$TDB = 0.34 + 0.41^{**}x - 0.026^{**}x^2$	0.51
Dickson Quality Index	0 %	$DQI = 0.035 + 0.02^{**}x - 0.001^{**}x^2$	
	10 %	$DQI = 0.034 + 0.023^{**}x - 0.001^{**}x^2$	0.49
	20 %	$DQI = 0.023 + 0.029^{**}x - 0.001^{**}x^2$	0.71
	30 %	$DQI = 0.041 + 0.026^{**}x - 0.001^{**}x^2$	0.42

** Significant at $p < 0.01$; ns – Not significant; R² – Adjusted R-squared.

Source: Authors.

In this study we observed that high doses of nutrients have adverse effects on *M. scabrella* seedling growth, reducing increments in its morphological characteristics. The addition of remineralizer to the substrate provided satisfactory seedling growth in a concentration of 10%. On the other hand, it harmed plant development when the amount

was equal or greater than 20%. This study will be fundamental for the establishment of *M. scabrella* seedlings production that pretend a greater sustainability of the process using residues from mining industry, and look for an adequate nutritional management of the plants with CRF. 

CONCLUSIONS

The 10% remineralizer doses associated with 4.0 kg m⁻³ CRF were the most suitable for *M. scabrella* seedlings growth. The combination of remineralizer and CRF in the

doses above mentioned increased seedlings' height, stem diameter, and biomass; therefore, increasing seedlings' quality parameters. 

CONTRIBUTIONS OF THE AUTHORS

Alexandre Dal Forno Mastella: research, conceptualization, writing. **Mônica Moreno Gabira:** research, writing, data analysis, review. **Letícia Siqueira Walter:** research, writing, data analysis, review. **Rodrigo Condé Alves:** research, conceptualization, methodology, original draft, research, data analysis, review. **Chaiane Rodrigues Schneider:** research, review. **Karen Koch Fernandes de Souza:** research, review and editing. **Dagma Kratz:** research, supervision, review, methodology. **Alessandro Camargo Ângelo:** research, supervision, project manager, acquisition of resources.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was carried out with the support of the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Financing code 001. The authors thank the Chauá Society® for technical support.

REFERENCES

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., De Moraes Gonçalves, J.L. & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Aquino, J.M., Taniguchi, C.A.K., Magini, C. & Berni, G.V. (2020). The potential of alkaline rocks from the Fortaleza volcanic province (Brazil) as natural fertilizers. *Journal of South American Earth Sciences*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102800>

Avrella, E.D., Emer, A.A., Paim, L.P., For, C.S. & Schafer, G. (2019a). Efeito da salinidade no desenvolvimento inicial de mudas de *Mimosa scabrella* Benth. *Iheringia - Serie Botanica*, 74. <https://doi.org/10.21826/2446-82312019v74e2019004>

Avrella, E.D., Paim, L.P., Rivera, E.A.R., Mazzurana, M., Schafer, G. & For, C.S. (2019b). Initial development of *Mimosa scabrella* seedlings under different water regimes. *Bosque*, 40(3), 277-285. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000300277>

Avrella, E.D., Weber, J.M. & Fior, C.S. (2019c). Water saturation stress in *Mimosa scabrella* seedlings. *Floresta e Ambiente*, 26(1). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.023516>

Binotto, A.F., Lúcio, A.D. & Lopes, S.J. (2010). Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne*, 16(4), 457-464. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa SDA Nº 17. Diário Oficial da União - Seção 1, nº 99, 24 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. Brasília, DF: Diário Oficial da União.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária (2013a) Instruções para a análise de sementes de espécies florestais. Brasília, 98 p. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/instrucoes-para-analise-de-sementes-de-especies-florestais>

BRASIL. Lei No 12.890 de 10 de dezembro de 2013b. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura. Brasília, DF: Diário Oficial da União.

Brito, L.P.S., Bezerra, T.T., Nunes, E.M.B., Cavalcante, M.Z.B. & Filho, J.A.S. (2018) Production of *Schinopsis brasiliensis* Engler seedlings under washed coconut coir fiber and increasing doses of controlled release fertilizers. *Ciência Florestal*, 28:1022-1034. <https://doi.org/10.5902/1980509833385>

Cabreira, G.V., Leles, P.S.D.S., Alonso, J.M., Abreu, A.H.M., Júnior, J.C.A., Gusmão, A.V.V. & Lopes, N.F. (2019). Fertilization and containers in the seedlings production and post-planting survival of *Schizolobium parahyba*. *Ciência Florestal*, 29(4), 1644-1657. <https://doi.org/10.5902/1980509833261>

Carvalho, P.E.R. (2003). Espécies arbóreas brasileiras. Colombo: Brasília: Embrapa Informação tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas.

Citadini-Zanette, V., Negrelle, R.R.B., Leal-Filho, L.S., Remor, R., Elias, G.A. & Santos, R. (2017). *Mimosa scabrella* benth. (Fabaceae)



- enhances the restoration in coal mining areas in the Atlantic Rainforest. *Cerne*, 23(1), 103–114. <https://doi.org/10.1590/01047760201723012245>
- Cortina, J., Vilagrosa, A. & Trubat, R. (2013). The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. *New Forests*, 44, 719–732. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9379-3>
- Dalmora, A.C., Ramos, C.G., Silva Oliveira, M.L., Silva Oliveira, L.F., Homrich Schneider, I.A. & Kautzmann, R.M. (2020). Application of andesite rock as a clean source of fertilizer for eucalyptus crop: Evidence of sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120432>
- Dickson, A.; Leaf, A.L. & Hosner, J.F. (1960). Seedling quality — soil fertility relationships of white spruce, and red and white pine in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(3), 237–241. <https://doi.org/10.5558/tfc36237-3>
- Fermino, M.H., Araujo, M.M., Aimi, S.C., Turchetto, F., Berghetti, A. L.P., Zavistanovicz, T.C., Mieth, P., Griebeler, A.M. & Vilella, J.D.E.M. (2018). Reutilization of residues as components of substrate for the production of *Eucalyptus grandis* seedlings. *Cerne*, 24(2), 80–89. <https://doi.org/10.1590/01047760201824022522>
- Fragoso, R.D.O., Stuepp, C.A., Carpanezzi, A.A., Wendling, I., Zuffellato-Ribas, K.C. & Soares Koehler, H. (2017). Substratos renováveis na produção de mudas de *Ficus enormis* proveniente de jardim clonal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(88), 537–541. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1246>
- Gabira, M.M., Gomes, J.F.P., Kratz, D., Wendling, I. & Stuepp, C.A. (2020a). Industrial residues as substrate components for the production of *Ilex paraguariensis* seedlings. *Comunicata Scientiae*, 11. <https://doi.org/10.14295/CS.v11i0.3215>
- Gabira, M.M., Silva, R.B.G.D.A., Mateus, C.D.E.M.D., Villas Bôas, R.L. & Silva, M.R.D.A. (2020b). Effects of water management and composted sewage sludge substrates on the growth and quality of clonal eucalyptus seedlings. *Floresta*, 50(2), 1307–1314. <https://doi.org/10.5380/rf.v50i2.62952>
- Kratz, D., Nogueira, A.C., Wendling, I., & Elias, J.E.M. (2017). Physic-chemical properties and substrate formulation for *Eucalyptus* seedlings production. *Scientia Forestalis*, 45(113), 63–76. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n113.06>
- Machado, R.V., Andrade, F.V., Passos, R.R., Ribeiro, R.C.D.A.C., Mendonça, E.S. & Mesquita, L.F. (2016). Characterization of ornamental rock residue and potassium liberation via organic acid application. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 40, v40. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150153>
- Machado, S.D.O.A., Bartoszeck, A.C.D.E.P.S., Filho, A.F. & Oliveira, E.B.D.E. (2008). Efeito da densidade e do sítio sobre as curvas de distribuição diamétrica em bracatingais nativos (*Mimosa scabrella* Benth.) da região metropolitana de Curitiba. *Ambiência*, 4(1), 37–50. Retrieved from <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/287>
- Madrid-Aispuro, R.E., Prieto-Ruiz, J.Á., Aldrete, A., Hernández-Díaz, J.C., Wehenkel, C., Chávez-Simental, J.A. & Mexal, J.G. (2020). Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. *Forests*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/f11010071>
- Mikula, K., Izydorczyk, G., Skrzypczak, D., Mironiuk, M., Moustakas, K., Witek-Krowiak, A. & Chojnacka, K. (2020). Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture – A review. *Science of the Total Environment*, 712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136365>
- Pascual, J.A., Ceglie, F., Tuzel, Y., Koller, M., Koren, A., Hitchings, R. & Tittarelli, F. (2018). Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0508-4>
- R CORE TEAM. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing.
- Ramos, C.G., Querol, X., Oliveira, M.L.S., Pires, K., Kautzmann, R.M. & Silva, L.F.O. (2015). A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture

as soil a remineralizer. *Science of the Total Environment*, 512–513, 371–380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.070>

Restrepo, A.P., Medina, E., Pérez-Espinosa, A., Agulló, E., Bustamante, M.A., Mininni, C., Bernal, M.P. & Moral, R. (2013). Substitution of peat in horticultural seedlings: suitability of digestate-derived compost from cattle manure and maize silage codigestion. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(1-4), 668–677. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.748004>

Santos, R.M., Natale, W., Taniguchi, C.A.K., Corrêa, M.C.M., Serrano, L.A.I. & Artur, A.G. (2020) Association of controlled-release and foliar fertilizers in the production of grafted dwarf cashew seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 43:1048–1056. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1711934>

Saueressig, D. (2014). Plantas do Brasil: árvores nativas. Irati: Plantas do Brasil.

Silva, A.D.A.S., Sampaio, J.A., Luz, A.B., França, S.C.A. & Ronconi, C.M. (2013). Modeling controlled potassium release from phlogopite in solution: Exploring the viability of using crushed phlogopite rock as an alternative potassium source in Brazilian soil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 24(8), 1366–1372. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20130173>

Souza, M.E.P.D.E., Cardoso, I.M., Carvalho, A.M.X.D.E., Lopes, A.P., Jucksch, I. & Janssen, A. (2018). Rock powder can improve vermicompost chemical properties and plant nutrition: an on-farm experiment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1418372>

Souza, F.N.D.A.S., Oliveira, C.G.D.E., Martins, É.D.E.S. & Alves, J.M. (2017). Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. *Revista Agri-Environmental*

Sciences, 3(1). Retrieved from <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/204/345>

Stuepp, C.A., Fragoso, R.D.E.O., Monteiro, P.H.R., Kratz, D., Wendling, I. & Zuffellato-Ribas, K.C. (2017). Use of renewable substrates for ex vitro production of *Melaleuca alternifolia* Cheel clonal plants by mini-cuttings technique. *Cerne*, 23(4), 395–402. <https://doi.org/10.1590/01047760201723042434>

Stuepp, C.A., Kratz, D., Gabira, M.M. & Wendling, I. (2020). Survival and initial growth in the field of eucalyptus seedlings produced in different substrates. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2020.v55.01587>

Stüpp, Â.M., Navroski, M.C., Felipe, D., Knies, D.D.C., Amancio, J.C., Silva, M.A. & pereira, M.D.O. (2015). Crescimento de mudas de *Mimosa scabrella* Benth em função de diferentes tamanhos de recipientes e doses de fertilizante. *Ecologia e Nutrição Florestal*, 3(2), 40–47. <https://doi.org/10.5902/2316980x18613>

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M. & Murphy, a. (2014). Plant physiology and development (6th ed.). Sunderland: Sinauer Associates.

Theodoro, S.H., Leonardos, O.H., Rocha, E., Macedo, I. & Rego, K.G. (2013). Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: A case study of remineralization of the tucuruí degraded land for agroforest reclamation. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 85(1), 23–34. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000100003>

Van Eerd, L.L., Turnbull, J.J.D., Bakker, C.J., yn, R.J., Mckeown, A.W. & Westerveld, S.M. (2018). Comparing soluble to controlled-release nitrogen fertilizers: Storage cabbage yield, profit margins, and N use efficiency. *Canadian Journal of Plant Science*, 98, 815–829. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0277>

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.



PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS DE *Stevia rebaudiana* Bert. EN CONDICIONES DIFERENCIALES DE LUZ SOLAR Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN INVERNADERO

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN *Stevia rebaudiana* Bert. UNDER DIFFERENTIAL CONDITIONS OF SUNLIGHT AND NITROGEN FERTILIZATION IN GREENHOUSE

Alfredo de Jesús Jarma-Orozco • ajarma@correo.unicordoba.edu.co

Ingeniero agrónomo PhD, Profesor Titular, Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad de Córdoba.

Carina Cecilia Cordero-Cordero • ccordero@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo, MsC. Agrosavia C.I. Motilonia.

José Alejandro Cleves-Leguizamo • jose.cleves@uptc.edu.co

Ingeniero agrónomo, PhD, Profesor Titular, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Facultad Seccional Duitama, Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias, Duitama, Colombia.

Autor de correspondencia: ajarma@correo.unicordoba.edu.co

Citación: Jarma-Orozco, A., Cordero-Cordero, C., Cleves-Leguizamo, J. (2022). Pigmentos fotosintéticos en *Stevia rebaudiana* Bert. en condiciones diferenciales de luz solar y fertilización nitrogenada en invernadero. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 75 – 88. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4528>



RESUMEN

Contextualización: El área de siembra del cultivo de estevia ha venido creciendo de manera significativa, debido a las nuevas tendencias de consumo de alimentos naturales, bajos en calorías. Los efectos de las altas radiaciones, debidas al cambio climático global, han evidenciado la necesidad de desarrollar nuevos estudios sobre el comportamiento fisiológico de los pigmentos fotosintéticos de las especies agrícolas.

Vacío de conocimiento: El desconocimiento del comportamiento de los cultivos de estevia frente a los cambios actuales y futuros del ambiente (principalmente ante aumentos de los niveles de radiación solar) hace que los agricultores y productores no obtengan los rendimientos esperados.

Propósito del estudio: El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de diferentes niveles de radiación solar y de fertilización

nitrogenada, en condiciones controladas, en la producción de pigmentos fotosintéticos de *Stevia rebaudiana* Bert.

Metodología: El ensayo se estableció mediante un diseño estadístico completamente al azar (DCA), bajo un arreglo factorial 2 x 6, y 16 repeticiones por tratamiento; el factor A correspondió a dos niveles de radiación solar incidente (300 y 1.500 μmol de fotones. $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ correspondientes al 20% y 100% de radiación respectivamente) y el factor B a seis dosis de nitrógeno (0, 60, 120, 180, 240 y 300 kg ha^{-1}). Se evaluó el contenido de clorofilas a, b y total en hojas jóvenes y sanas a los ocho meses después del trasplante.

Resultados y conclusiones: Los resultados evidenciaron que los contenidos de clorofilas a, b y total fueron afectados significativamente por la radiación solar, pero no por los niveles de nitrógeno. En ambos ambientes de

radiación, los contenidos de clorofila a fueron superiores a los de clorofila b. En el ambiente de menor radiación solar se presentaron los máximos contenidos de los pigmentos fotosintéticos. En el ambiente de 1.500 μmol

de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, los contenidos de clorofilas a, b y total fueron menores en las plantas que no se fertilizaron. 

Palabras clave: clorofila a; clorofila b; clorofila total; nitrógeno; radiación solar

ABSTRACT

Contextualization: The areas planted with stevia have been growing significantly in response to the new trends in consumption of low-calorie and natural foods. The effects of high radiation levels, due to global climate change, have evidenced the need to development new studies about the physiological behavior of the photosynthetic pigments of agricultural species.

Knowledge gap: The lack of knowledge of the behavior of stevia crops in the context of current and future environmental changes (mainly, the increases in solar radiation levels) means that farmers and producers do not obtain the expected yields.

Purpose: The objective of this study was analyze the effect of different levels of solar radiation and nitrogen fertilization, under greenhouse conditions, on the production of photosynthetic pigment in *Stevia rebaudiana* Bert.

Methodology: The trial was done using as completely randomized design (CRD), employing a 2 x 6 factorial arrangement and 16 replicates per treatment; factor A

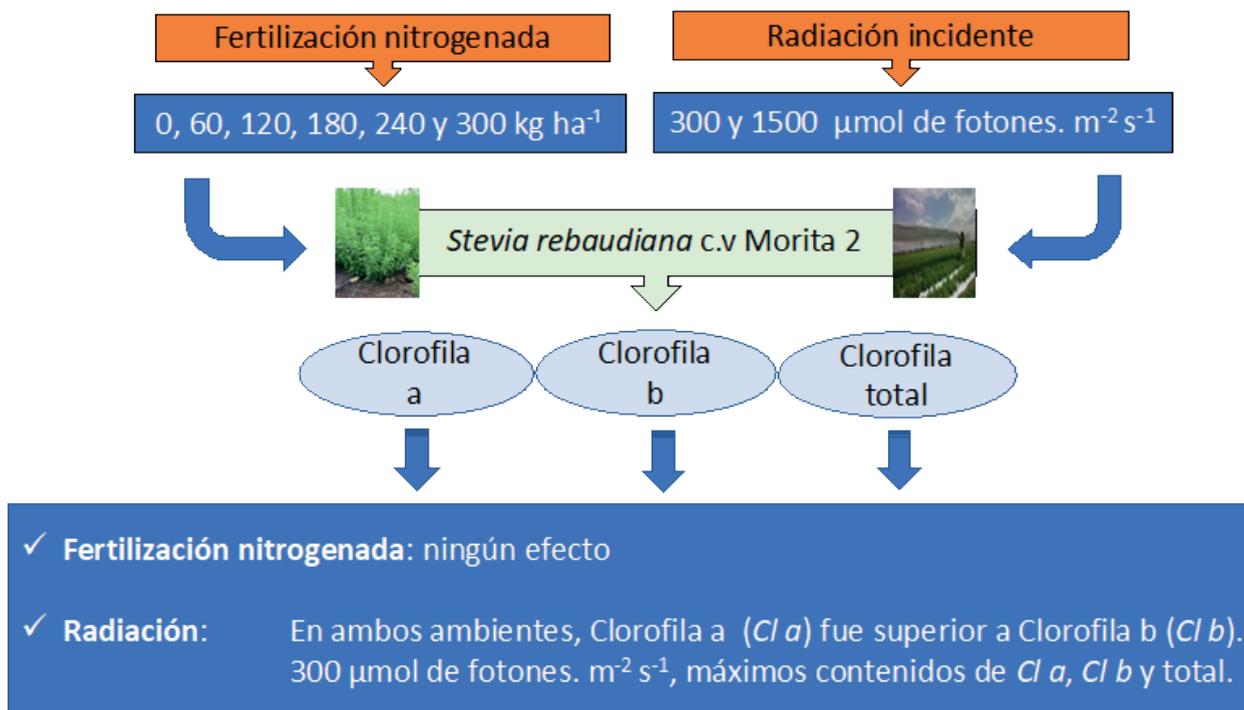
corresponded to two levels of incident solar radiation (300 and 1.500 μmol photons. $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ corresponding to 20% and 100% radiation respectively) and factor B corresponded to six doses of nitrogen (0, 60, 120, 180, 240 and 300 kg ha^{-1}). Chlorophyll a, b, and total chlorophyll content was evaluated in young and healthy leaves eight months after transplanting.

Results and conclusions: The results showed that the contents of chlorophyll a, b and total were significantly affected by solar radiation, but not by the nitrogen supplied. In both radiation environments, the contents of chlorophyll a were higher than the contents of chlorophyll b in all plants evaluated. In the environment of lower solar radiation (300 μmol of photons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), the maximum levels of the photosynthetic pigments were presented. In the environment of 1.500 μmol of photons. $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, the contents of chlorophyll a, b and total were lower in control plants (0 kg ha^{-1}). 

Keywords: chlorophyll a; chlorophyll b; total chlorophyll; nitrogen; solar radiation



RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores.

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios en la composición atmosférica exponen a los seres vivos a nuevas intensidades y longitudes de onda de radiación solar, obligándoles a generar adaptaciones que les permitan sobrellevar estos cambios ambientales (Meisel et al., 2011). La radiación modifica la estructura y función del hábitat de los ecosistemas terrestres y acuáticos, afectando procesos fotobiológicos (fotosíntesis, fotoperiodo, fototropismos), y con repercusiones sobre los factores ambientales (temperatura, humedad relativa, precipitación, brillo solar, nubosidad) y los ciclos naturales (diarios, anuales, hídricos, nutrientes) que finalmente inciden en la distribución y adaptación de los organismos vivos (Haussermann & Gorsterra, 2009).

La radiación que llega a la tierra abarca una amplia gama del espectro electromagnético y aproximadamente el 40% de ella es la que conocemos como luz o radiación visible. Esta comprende longitudes de onda que van de los 400 a los 700 nm y abarca los colores violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo; al ser usado por los vegetales en el proceso de la fotosíntesis, también se le denomina

radiación fotosintéticamente activa o PAR (sigla derivada del inglés Photosynthetic Active Radiation) (Carrasco-Ríos, 2009).

Las plantas, al no estar en capacidad de soportar altas intensidades de luz, principalmente al medio día desarrollaron interesantes adaptaciones, permitiéndoles percibir la luz en distintas longitudes de onda e intensidades, generando respuestas celulares que se traducen en procesos fisiológicos como la reorientación del crecimiento y desarrollo de las especies vegetales (Casal, 2013).

Se ha podido evidenciar que el fototropismo y la reorientación de cloroplastos intracelularmente, al igual que la síntesis de clorofila, son procesos fisiológicos regulados por la luz azul, siendo percibida por la planta debido a la existencia de receptores conocidos como criptocromos y fototropinas (Ballaré, 2014).

La intensidad de la radiación solar y la concentración de nitrógeno en las células vegetales influyen en la síntesis de los pigmentos fotosintéticos. De acuerdo con Khavari-Nejad et al. (2009), una deficiencia

de nitrógeno, además de acelerar la senescencia foliar y estimular la producción de especies reactivas de oxígeno, conduciría a la degradación de las macromoléculas como proteínas, y por supuesto a la degradación de la clorofila en las plantas. Tal disminución gradual de pigmentos fotosintéticos podría deberse a procesos degenerativos del metabolismo de los cloroplastos, reduciendo así la disponibilidad de clorofila e iniciándose este proceso en las hojas más viejas, debido a la alta movilidad del nitrógeno a través del floema (Franklin & Quail, 2010; Kong & Okajima, 2016).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, es importante ampliar la disponibilidad de información actualizada referente a las adaptaciones y/o estrategias fisiológicas de las plantas, en particular las de estevia por el interés comercial que tiene, analizando la incidencia positiva en la eficiencia de la producción de clorofila en el proceso de la fotosíntesis. Este análisis funcionaría como una estrategia eficiente que permitirían a los agricultores obtener y mantener los rendimientos estimados en los cultivos (Benzing, 2000).

Estevia es una planta herbácea perenne de la familia Asterácea (que incluye plantas tan conocidas como el diente de león, el girasol, la achicoria y el crisantemo). Las hojas son lanceoladas, tienen aproximadamente 5 cm de longitud y 2 cm de ancho, son alternas y enfrentadas en grupo de dos; en forma silvestre alcanza una altura variable entre 40 y 80 cm y en monocultivo alcanza 1,0 m de altura (Jarma-Orozco, 2008). Puede utilizarse para la producción comercial por un periodo de cinco o más años, dando varias cosechas anuales a partir de la parte aérea de la planta. Las raíces permanecen en el suelo y permiten el rebrote de la planta, aunque no las macollas. Las plantas con un metro de altura tienen un peso seco medio de 70 g y el peso seco de las hojas puede variar entre 15 y 35 g/planta (Jarma et al., 2005).

Teniendo en cuenta la importancia de la estevia actualmente, los objetivos principales de este estudio fueron: a) Determinar la adaptabilidad de los pigmentos fotosintéticos de la estevia a dos niveles de radiación solar incidente (300 y 1.500 μmol de fotones. m^{-2}

s^{-1} y seis dosis de nitrógeno (0, 60, 120, 180, 240 y 300 kg ha^{-1}) y b) Evaluar el contenido de clorofilas a, b y total en hojas jóvenes y sanas a los ocho meses después de trasplante (DDT). Los datos obtenidos serán relevantes para analizar el comportamiento de la estevia frente a los cambios actuales y futuros del ambiente (principalmente a los aumentos en la intensidad de la radiación solar) asociados a fenómenos antropogénicos como el cambio climático.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y material experimental

La investigación se realizó en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba en el municipio de Montería, departamento de Córdoba (8° 52' LN y 76° 58' LO) temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa promedio del 83%, altura sobre el nivel del mar de 18 msnm y precipitación anual de 1.200 mm. Esta localidad se encuentra en la zona de transición entre Bosque Seco Tropical (BsT) y Bosque Húmedo Tropical (BhT), según la clasificación de Holdridge (1982). El ensayo se estableció mediante un diseño estadístico completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 2 x 6, para un total de 12 tratamientos y 16 repeticiones por tratamiento, en el que el factor A correspondió a los dos niveles de radiación solar (300 y 1.500 μmol de fotones. $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ correspondientes al 20% y 100% de radiación respectivamente) y el factor B correspondió a las seis dosis de nitrógeno (0, 60, 120, 180, 240 y 300 kg ha^{-1}).

El sustrato utilizado para el semillero (arena lavada) se desinfectó con Metalaxil + Mancozeb, por medio de una mezcla de 30 gramos del producto por cada 10 litros de agua. Luego se sembraron esquejes de estevia con cinco yemas en promedio del genotipo Morita 2. Se utilizó una malla polisombra negra de polietileno de alta densidad para permitir el paso del 20% de radiación solar incidente, y un ambiente sin polisombra que representó el 100% de la radiación solar incidente. En total se utilizaron 192 macetas con capacidad de 5 litros cada una, de las cuales 96 correspondieron al ambiente de sombra (20% de radiación incidente) y 96 al ambiente con el 100% de la radiación incidente (300 y 1500 μmol de fotones. $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente).



Cada nivel de fertilización se aplicó en 16 macetas de cada nivel de radiación. Para las soluciones nutritivas se utilizaron las fórmulas del elemento faltante de la solución de Hoagland modificada en agua destilada. El volumen de solución para cada aplicación por planta fue de 200 ml. Para el cálculo de las cantidades de nitrógeno necesarias se tuvo en cuenta una densidad de población de 125.000 plantas ha⁻¹ (Espitia et al. 2009).

Las soluciones se aplicaron cada 4 días después del trasplante. Las respuestas fisiológicas se midieron en función del contenido de pigmentos fotosintéticos (Clorofilas a, b y total), evaluadas en tres plantas por tratamiento, para ello se colectaron hojas del tercio superior alrededor de los ocho meses después del trasplante. Los esquejes provinieron de plantas vigorosas y sanas, sin presencia de flores o botón floral, con 8 y 10 cm de longitud y como mínimo 5 pares de hojas.

Extracción de clorofila (Clorofilas a, b y total)

Se tomaron 3 plantas por dosis de nitrógeno, en cada nivel de radiación solar. De estas plantas se tomaron las hojas del tercio superior para realizar el respectivo procedimiento de extracción de pigmentos. La extracción de los pigmentos fotosintéticos se realizó alrededor de los 8 meses después del trasplante (fase vegetativa), es decir, al final del ensayo. Se realizaron las lecturas de la absorbancia a los 470, 645, 652, 662 y 663 nm con el lector de absorbancia y/o espectrómetro de absorción molecular (Perkin-Elmer Lambda XLS). El proceso de extracción se realizó en el laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad de Córdoba y las respectivas lecturas de absorbancia, en el laboratorio de suelos de la Universidad de Córdoba.

Cabe resaltar que para Morita 2 (especie de estudio de esta investigación), la floración inicia aproximadamente a los 90 días después del trasplante. No obstante, en la presente investigación las plantas, durante todo el período evaluado, se mantuvieron en fase vegetativa, ya que las estructuras florales se retiraban de manera permanente en la medida que aparecían (la poda de floración

es una labor contemplada para un mejor manejo de la plantación). Para la extracción y determinación de clorofilas a y b presentes en hojas de estevia se utilizó acetona al 100% y se siguió la metodología descrita a continuación:

1. Se colocó en el mortero 1 g de hojas de estevia, sin las nervaduras grandes y cortadas en pequeños tamaños.
2. Se agregó arena y 4 ml de acetona al mortero para moler el tejido y obtener una pasta fina. Se adicionaron 20 ml más de acetona.
3. Se transfirió cuidadosamente el extracto resultante al embudo de Buchner provisto de papel filtro, y se filtró al vacío.
4. Se agregaron otros 60 ml de acetona a la pulpa de las hojas y se reanudó la molienda y el filtrado. Este segundo extracto se agregó al primero.
5. Después de lavar el mortero y el embudo con 50 ml de acetona, este contenido se incorporó al filtrado.
6. Se realizó la lectura de la densidad óptica o absorbancia (D) del extracto a 470, 645, 652, 662 y 663 nm.

Las ecuaciones que se utilizaron para los cálculos de los pigmentos fotosintéticos (Clorofila a (Cl a); Clorofila b (Cl b) y Clorofila total (Cl t) son las siguientes:

Ecuación 1
 $Cl\ a\ (\mu g.ml^{-1}) = 10,81\ Abs_{662} - 0,75\ Abs_{645}$

Ecuación 2
 $Cl\ b\ (\mu g.ml^{-1}) = 19,02\ Abs_{645} - 3,98\ Abs_{662}$

Ecuación 3
 $Cl\ t\ (\mu g.ml^{-1}) = 6,83\ Abs_{662} + 18,27\ Abs_{645}$

La concentración de clorofila fue expresada en μg por ml de acetona al 100% (Val et al. 1985).

Análisis estadísticos

Los resultados se analizaron mediante el paquete Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1, con licencia para la Universidad

de Córdoba. Previamente al análisis de la varianza, se verificó la normalidad de los datos a través de la prueba de Shapiro-Wilks. Las pruebas de comparación de medias se utilizaron cuando se detectaron diferencias estadísticas en los factores individuales mediante la prueba de Tukey, con nivel de probabilidad del 5%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN CLOROFILAS

Los resultados más relevantes indicaron que solamente el efecto de la radiación tuvo un efecto significativo ($P < 0,01$) sobre las concentraciones de las clorofilas a, b y total (Tabla 1).

Tabla 1. Cuadrados medios y niveles de significancia para las variables Clorofilas a, b y Clorofila total de estevia, en función de dos niveles de radiación solar y seis dosis de nitrógeno.

Fuente de variación	GL	Clorofila a ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	Clorofila b ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	Clorofila total ($\mu\text{g ml}^{-1}$)
Radiación solar	1	276,113**	654,506**	1783,654**
Nitrógeno	5	0,997 NS	0,490 NS	1,295 NS
Radiación Nitrógeno	5	2,533 NS	3,268 NS	10,887 NS
Error	24	4,429	4,499	15,634
R2		0,73	0,86	0,83
CV		11,64	18,76	13,45

** : Significativo al 1%. NS: No significativo.

Fuente: autores

80

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio de la producción de clorofilas a, b y total. La concentración de clorofila a osciló entre 20,43 y 21,46 $\mu\text{g ml}^{-1}$ para la radiación de 300 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y entre 13,84 y 16,89 μgml^{-1} para la radiación de 1.500 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Es importante resaltar que en el ambiente de baja radiación (300 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) se presentó una producción 27% mayor de Cl a, superando significativamente ($p < 0,05$) los niveles observados en el ambiente alta radiación.

La concentración de Cl b registró un comportamiento similar al de la Cl a. Los valores de clorofila b oscilaron entre 14,17 y 16,56 $\mu\text{g ml}^{-1}$ para 300 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$,

y entre 6,15 y 7,92 $\mu\text{g ml}^{-1}$ para 1500 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La prueba de comparación de medias, entre los ambientes de radiación, indicó que en ambientes de baja radiación se registra aproximadamente un 55% de mayor contenido promedio de clorofila b respecto a un ambiente de alta radiación.

De manera consistente con los resultados observados para las Cl a y Cl b, la clorofila total presentó respuestas diferenciales significativas ($p < 0,05$) solo por el efecto de la radiación solar, oscilando entre 34,60 y 37,72 $\mu\text{g ml}^{-1}$ para el nivel de radiación de 300 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y entre 19,99 y 24,81 $\mu\text{g ml}^{-1}$ para el de 1.500 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabla 2).

Tabla 2. Prueba de comparación de medias (Tukey) para las variables Clorofilas a, b y total de *Stevia rebaudiana* Bert. en función de la Radiación solar.

Radiación solar	Clorofila a (μgml^{-1})	Clorofila b (μgml^{-1})	Clorofila total (μgml^{-1})
300 μmol de fotones. $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	20,85 a	15,56 a	36,43 a
1.500 μmol de fotones. $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	15,31 b	7,039 b	22,35 b

* Letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p=0,05$).

Fuente: autores



Al analizar la prueba de comparación entre medias para determinar el efecto de la radiación solar sobre la concentración de la clorofila total, se pudo establecer que a un nivel menor de radiación se presentó alrededor de 1,6 veces mayor contenido promedio de Cl total, respecto al nivel de alta radiación incidente.

Con relación a los resultados, hay que decir que el aumento de los contenidos de clorofila en las plantas que crecen en ambientes de poca radiación solar constituye una estrategia fisiológica, que le permite a las mismas garantizar una óptima captación de luz; de tal manera que la cantidad de energía percibida permita excitar las moléculas de la proteína necesaria para iniciar el proceso fotoquímico y así sintetizar poder energético y reductor, necesarios para la asimilación de CO₂ en estos ambientes de sombra. La mayoría de los trabajos que evalúan el efecto de la radiación sobre la concentración de los pigmentos fotosintéticos confirman lo expresado. Campanello et al. (2011), manifiestan que individuos juveniles de especies menos tolerantes a la sombra pueden responder rápidamente a los cambios en los niveles de radiación, ajustando su fisiología y morfología para mantener tasas de crecimiento mayores que las de especies más tolerantes.

Así mismo, Martin et al. (1999), indican que hojas de *Bromelia karatas* presentaron respuestas típicas de aclimatación a sol y sombra, con mayores concentraciones de clorofila total en plantas de sombra, comparada con plantas expuestas a radiación directa. Los valores de clorofilas totales fueron similares y comparables con los encontrados en otras bromeliáceas terrestres (Benzing, 2000; Skillman et al., 2005; Matsubara et al., 2009).

Estos resultados confirmarían los reportados para la estevia en este estudio. Otros estudios también corroboran los hallazgos reportados en este estudio con estevia. Por ejemplo, Santelices et al. (2013) reportan que las plantas de *Nothofagus leonii* sometidas a mayor sombra presentaron mayor cantidad de clorofila que las plantas a plena luminosidad, lo que a su vez coincide con lo reportado por Taiz & Zeiger (2012).

Por su parte, autores como Elorza et al. (2007), al trabajar en *Vanilla planifolia* Andrews, también observaron que el mayor contenido de clorofila se produjo en plantas bajo los sistemas de malla sombra. Carrasco y Escobar (2002), de acuerdo con sus resultados, reportaron que las plantas en condiciones de un 80 % de sombra contienen una mayor cantidad de pigmentos foliares, tanto de clorofila a como de b, lo que se expresó en el color verde más oscuro de las hojas. Los valores corresponden a 10,29 y 4,78 mg g⁻¹ de peso fresco para clorofila a y b con 80% de sombra y de 5,32 y 2,37 para clorofila a y b sin sombra. Un comportamiento similar fue reportado por Arboleda (2011) en *Aptenia cordifolia*. Estos resultados conciden con los encontrados para estevia en este estudio.

Aunque los resultados de esta investigación coinciden con los de otras especies, tal como se mencionó anteriormente y como lo reportan Fahl et al. (1994); Carelli y Fahl (2000); Pompelli (2008), quienes encontraron en plantas jóvenes de ciertos cultivares de café que los contenidos de clorofila a, b y total se incrementaron en las plantas crecidas a la sombra, en comparación con las expuestas a pleno sol.

Trabajos como los de Del Ángel-Hernández et al. (2017) en una investigación en calabacita (*Cucurbita pepo* cv. *Zucchini*), reportaron que plantas que crecieron bajo un túnel con policarbonato de color claro (el de mayor transmitancia 82,57%), tuvieron mayor contenido de clorofila y mayor desarrollo foliar. Por el contrario, las plantas en un túnel de policarbonato rojo (que tuvo la menor transmitancia, 23,51%), que recibieron la menor cantidad de radiación PAR, presentaron menor contenido de clorofila y menor desarrollo foliar.

Para el caso de la estevia en el presente estudio, la mayor producción de Cl a y Cl b (a 300 μmol de fotones m⁻² s⁻¹) pudo manifestarse como una estrategia propia de las plantas de sombra para tratar de crecer y desarrollarse bajo condiciones de poca luz; sin embargo, esta estrategia no se vio reflejada en la producción de biomasa y en las tasas de asimilación de CO₂, que fueron

significativamente menores en un ambiente de baja radiación respecto a uno de alta radiación (datos no mostrados). Es importante aclarar que en condiciones de alta radiación, como las que regularmente se registran en el Caribe colombiano (Burbano-Erazo et al. (2020), los pigmentos que (en su orden) procesan mayor cantidad de energía radiante son los carotenos, las clorofilas b y por último las clorofilas a (Taiz & Zeiger, 2012).

Consecuentemente con lo anterior, sería de esperarse que los niveles de Cl b registren un aumento respecto a los de Cl a cuando la radiación es mayor; sin embargo, es probable que en este trabajo no se detecten esas diferencias, y que la condición de adaptación de la estevia a la alta radiación se vea reflejada en el aumento en la producción de carotenos, los cuales desafortunadamente no se midieron.

Otras condiciones estresantes, que pueden derivarse de una foto-saturación lumínica, pueden también tener un efecto en el decrecimiento de clorofilas en la planta. González-Salvatierra et al. (2013) manifiestan que durante la temporada de sequía, como respuesta al exceso de luz, los tejidos de las hojas de plantas expuestas y de sombra de *Bromelia karatas* disminuyeron el contenido de clorofilas e incrementaron el contenido de carotenoides. Por su parte, los estudios realizados por Peñaranda et al. (2020) en *Baccharis latifolia* encontraron que la concentración de clorofilas se vio favorecida por los tratamientos de PAR y UVA50 (50% de UVB respecto a la radiación solar diaria), y fue negativamente influenciada por los tratamientos UVB100 y UVB150.

Respecto a la relación de clorofilas a y b, Casierra-Posada et al. (2012) al estudiar parámetros fisiológicos de la caléndula y evaluar cada hora el contenido de clorofilas y carotenos en plantas cultivadas a plena exposición, bajo una malla de polisombra con 37% de reducción de luz, encontraron que los contenidos de clorofila b y clorofila total mostraron diferencias a lo largo del día, con tendencia al incremento entre las 6:00 y 18:00 horas; además, el valor de la relación clorofila a-clorofila b fue más elevado en las hojas de plantas sombreadas y el valor de la relación carotenos/clorofila fue más alto en las plantas que crecieron a plena exposición.

En el caso de la estevia, esta relación no fue evidente al compararse con los resultados de Casierra-Posada et al. (2012), lo que podría indicar que la respuesta de reducción de clorofilas en ambientes de alta radiación fue igual para ambas. La discusión la complementa Reddy (2006), quien menciona que la disminución gradual de los pigmentos fotosintéticos y la clorosis podrían deberse a procesos degenerativos del metabolismo de los cloroplastos, reduciendo así la disponibilidad de clorofila. Este proceso se inicia en las hojas más viejas, debido a la alta movilidad del nitrógeno a través del floema. Esto coincide con lo reportado por Khavari-Nejad et al. (2009), quienes afirman que la deficiencia de nitrógeno acelera la senescencia foliar y estimula la producción de especies reactivas de oxígeno, lo que conduce a la degradación de las macromoléculas como proteínas y la clorofila en las plantas.

Los resultados obtenidos para las plantas de *Stevia* expuestas al 100% de radiación solar no coinciden con los reportados por Chaves (2007) al estudiar el retraso del reverdecimiento en las hojas nuevas de *Pernettya prostrata* (Ericaceae), pues sus resultados sugieren que la pigmentación rojiza de las hojas nuevas de esta especie vegetal podría representar una adaptación fisiológica contra el exceso de radiación solar que estas reciben en ambientes de páramo. Así mismo, Aguirre (2009) encontró que en condiciones de invernadero, las hojas de *Solanum viarum* (Solanaceae) que crecieron bajo sombra presentaron menor contenido de clorofila. De igual forma, los resultados obtenidos en este estudio difieren de los resultados expuestos por Ramos et al. (2013), quienes en un trabajo con pasturas observaron que a la mayor temperatura y a la mayor radiación se evidenció un aumento del contenido de clorofilas de *Polylepis cuadriflora*, evidenciado por la presencia de un parénquima en empalizada estratificado.

NITRÓGENO

Aunque en esta investigación no se evidenció un efecto estadísticamente significativo del nitrógeno sobre la producción de pigmentos fotosintéticos en estevia, Utumi et al. (1999) reportaron que plantas



de esta especie vegetal con deficiencia de nitrógeno mostraron reducción generalizada del crecimiento, observadas en ramificaciones delgadas y alargadas, presentando disminución en el contenido de clorofila en las hojas basales. Lo anterior probablemente podría ser consecuencia de una baja producción de clorofilas, lo que afectaría de manera

importante las tasas de fotosíntesis y, por lo tanto, tendría un efecto negativo sobre el crecimiento.

En la Figura 1 (a y b), se comparan los contenidos de los pigmentos fotosintéticos de estevia (clorofilas a, b y total) para cada ambiente y nivel de fertilización nitrogenada.

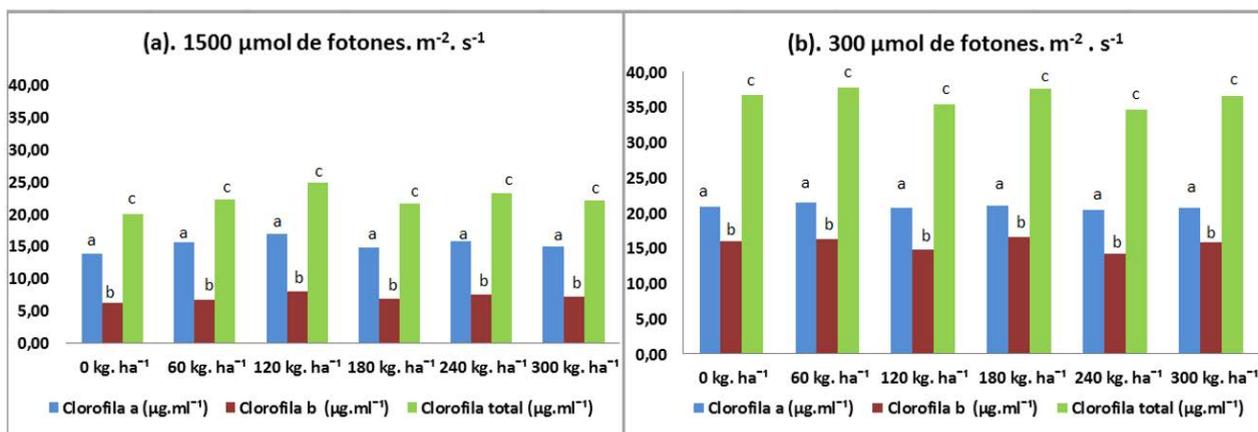


Figura 1 a y b. Contenidos de clorofila a, b y total en función de la fertilización nitrogenada en *Stevia Rebaudiana* Bert. a los 8 meses después del trasplante, en plantas sometidas a 1.500 (a) y 300 μmol de fotones. m⁻² s⁻¹ (b). Los promedios con la misma letra, dentro de un mismo nivel de radiación, no difieren estadísticamente.

Fuente: autores

Como se puede observar, hay una evidencia clara de que, independientemente de la dosis de nitrógeno, en ambos ambientes los contenidos de clorofila a fueron mayores en todas las plantas evaluadas, comparándolos con los contenidos de clorofila b (Figura 1 a y b).

A pesar de no encontrar una relación directa con los niveles de nitrógeno en este estudio, es importante considerar otras investigaciones que se han realizado con relación al efecto del nitrógeno y la producción de clorofilas en otras especies. Gutiérrez Del Pozo (2010) afirma que el aumento del suministro de nitrógeno incrementa la concentración de clorofila y no altera el balance entre la clorofila y la rubisco o el nitrógeno total en las hojas relativamente jóvenes.

Autores, como Mendoza-Elos et al. (2006), reportan que los niveles más altos de clorofila en los maíces, de alta calidad proteínica (QPM) y normal V₁ blanco, se obtuvieron cuando las plantas se fertilizaron con 100 y 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Este resultado no coincide con los encontrados en este ensayo, en el cual, utilizando dosis de nitrógeno cercanas

(60 y 120 kg ha⁻¹), no se presentó aumento estadísticamente significativo del contenido de clorofila.

En lo referente a la evaluación del contenido de clorofila a través de métodos no destructivos, es decir utilizando equipos como el SPAD, Salgado (2013) encontró para estevia que el tratamiento con 9 meq L⁻¹ de NO₃ originó los mayores valores en las respuestas de las variables fisiológicas, incluyendo las lecturas SPAD que normalmente se usan para medir contenido de clorofilas (Soil Plant Analysis Development). Por otra parte, aunque estos resultados no coinciden con lo reportado estadísticamente en este estudio, Medina (2011), reportó que la reducción de nitrógeno provocó una disminución significativa en la concentración total de clorofila en brotes de *Castilleja tenuiflora*.

Curvas de absorbancia de pigmentos fotosintéticos de *Stevia rebaudiana* Bert.

En la Figura 2 (a y b), se muestran las curvas de absorbancia de pigmentos fotosintéticos de estevia a los 8 meses después del trasplante.

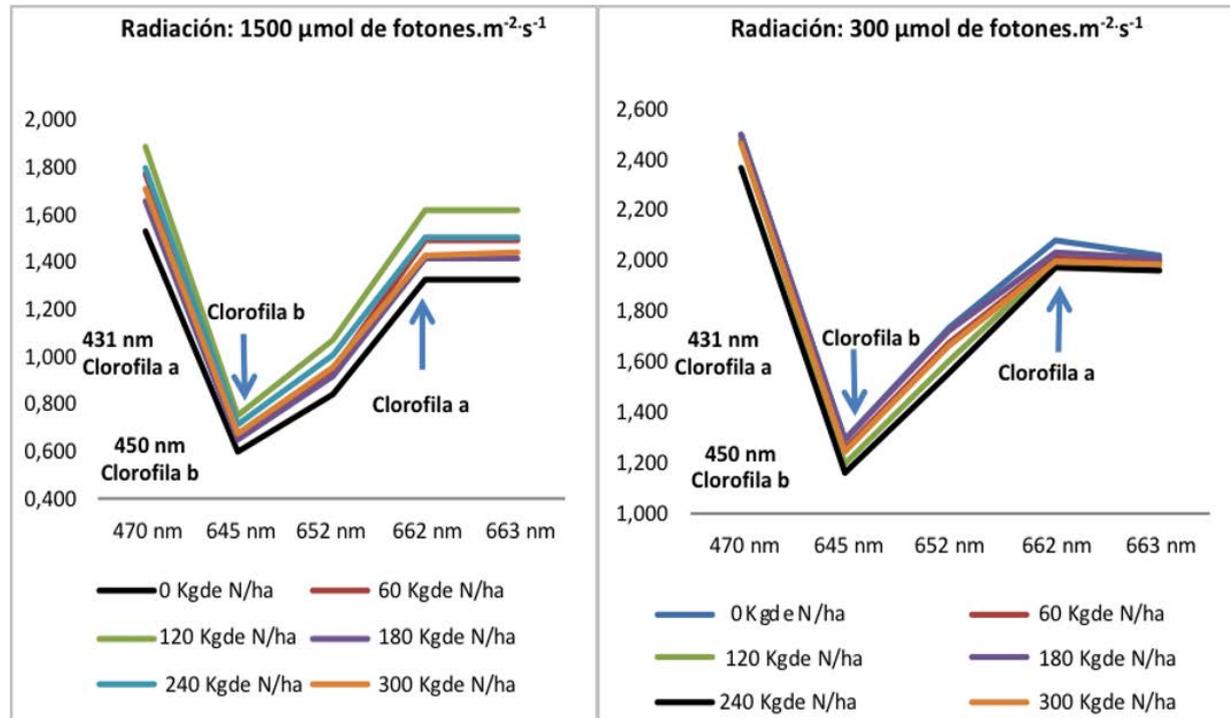


Figura 2. Curvas de absorbancia de pigmentos de *Stevia Rebaudiana* Bert. Los pigmentos se extrajeron con acetona al 100%, a los 8 meses después del trasplante, en un ambiente de 1.500 (a) y 300 $\mu\text{mol de fotones. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (b).

Fuente: autores

Los máximos valores de clorofilas a y b, usando acetona al 100 %, aparecen a los 662 y 645 nm respectivamente. También estos pigmentos presentan absorción a 431 nm para la clorofila a y a 450 nm para la clorofila b (Val et al., 1985). Estos resultados son

similares a los reportados por Medina (2011) quien determinó los contenidos de clorofila en brotes de *Castilleja tenuiflora*, utilizando el método de Lichtenthaler & Wellburn (1983), haciendo las lecturas de los pigmentos fotosintéticos en absorbancias similares.

CONCLUSIONES

Los contenidos de clorofilas a, b y total en estevia fueron afectados significativamente por la radiación solar. En ambos ambientes de luz, los contenidos de clorofila a fueron superiores en todas las plantas evaluadas, al compararse con los contenidos de clorofila b. En el ambiente de menor radiación solar (300 $\mu\text{mol de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$), se presentaron los máximos contenidos de los pigmentos fotosintéticos. Aunque este ensayo no evidenció un efecto significativo de las dosis de nitrógeno, ni de la interacción radiación solar-nitrógeno, sobre el comportamiento de los pigmentos fotosintéticos de estevia, se observó que, a diferencia del ambiente de 300 $\mu\text{mol de fotones.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, en el que los

valores de los pigmentos no presentaron una tendencia definida con respecto a las dosis de nitrógeno aplicadas, en el ambiente de 1500 $\mu\text{mol de fotones.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, los contenidos de clorofilas a, b y total fueron menores en las plantas testigo (0 kg ha⁻¹).

Para el caso de la estevia en el presente estudio, aunque se resalta nuevamente que es una planta heliófila, el comportamiento del genotipo evaluado Morita 2 (a 300 $\mu\text{mol de fotones) m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pudo manifestarse como una estrategia típica de las plantas de sombra para tratar de crecer y desarrollarse bajo condiciones de poca luz, aumentando los contenidos de clorofilas a, b y total, pero con menor cantidad de biomasa.



RECOMENDACIONES

Atendiendo a que la molécula de clorofila está compuesta por los elementos nitrógeno y magnesio, para futuros ensayos se recomienda evaluar el efecto de ambos macroelementos de manera simultánea y así corroborar la presencia o ausencia de un efecto significativo sobre la producción de pigmentos fotosintéticos en las plantas de estevia.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: adquisición de recursos, administrador del proyecto, análisis de datos, conceptualización y escritura. Segundo autor: metodología, conceptualización, trabajo de campo, investigación, análisis de datos, escritura y borrador original. Tercer autor: conceptualización, logística, revisión, edición, control de estilo y borrador final.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sentidos agradecimientos a la Universidad de Córdoba por el apoyo económico y logístico brindado para la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

Aguirre, C. A. (2009). *Efecto de la calidad de la hoja de Solanum viarum (Solanaceae) en el desarrollo de Gratiana boliviana (Coleoptera: Crisomelidae)* [Tesis de F pregrado, Universidad Zamorano]. Biblioteca Digital Wilson Popenoe. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/340/1/T2718.pdf>

Arboleda, M. E. (2011). Efecto de la irradiancia en el crecimiento y desarrollo de *Aptenia cordifolia (L.f) Schwantes* como cobertura ornamental. *Bioagro*, 23(3), 175-184.

Ballaré, C. L. (2014). Light regulation of plant defense. *Annual review of plant biology*, 65, 335-363. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040145>

Benzing, D. H. (2000). *Bromeliaceae: Profile of an Adaptive Radiation*. Cambridge

University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511565175>

Burbano-Erazo, E., Cordero, C., Pastrana, I., Espitia, L., Gómez, E., Morales, A., Pérez, J., López, L. & Rosero, A. (2020). Interrelation of Ecophysiological and Morpho-Agronomic Parameters in Low Altitude Evaluation of Selected Ecotypes of Sweet Potato (*Ipomoea batatas [L.] Lam.*). *Horticulturae*, 6(4), 99. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040099>

Campanello, P. I., Gatti, M. G., Montti, L., Viillagra, M. y Goldstein, G. (2011). Ser o no ser tolerante a la sombra: economía de agua y carbono en especies arbóreas del Bosque Atlántico (Misiones, Argentina). *Ecología Austral*, 21(3), 285-300.

Carelli, M. L. C. y Fahl, J. I. (2000). Crecimiento y asimilación del Carbono y Nitrógeno en plantas jóvenes de *Coffea* en condiciones de sol y de sombra. En L. Zamora y J. Echeverry. (Eds.). *XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura: Memorias* pp. 101-108. Icafé.

Carrasco, L. y Escobar, H. (2002). Cambios en los contenidos de clorofila, proteínas y niveles de fluorescencia de clorofila en plantas de café (*Coffea arabica L.*) cultivadas en zonas áridas en diferentes condiciones de luminosidad. *Idesia*, 20(2), 111-118. https://www.idesia.cl/Numeros/IDESIA_21/CAP4CA1.PDF

Carrasco-Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas. *Idesia*, 27(3), 59-76.

Casal, J. (2013). Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annual review of plant biology*, 64, 403-427.

<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120221>

Casierra-Posada, F., Ávila-León, O. y Riascos-Ortíz, D. (2012). Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. *Temas Agrarios*, 17(1), 60-71.

Chaves, O. (2007). Retraso del enverdecimiento en las hojas nuevas de *Pernettya prostrata* (ericaceae): posibles funciones adaptativas. *Pensamiento actual*, 7(8-9), 96-104. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5897840.pdf>

Del Ángel-Hernández, M., Zermeño-González, A., Melendres-Álvarez, A., Campos-Magaña, S. G., Cadena-Zapata, M. y Del Bosque-Villarreal, G. A. (2017). Características de la cubierta de un túnel efecto en radiación, clorofila y rendimiento de calabacita. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1127-1142.

Elorza, P., López, M., Hernández, A., Olmedo, G., Domínguez, C. y Maruri, J. (2007). Efecto del tipo de tutor sobre el contenido de vainillina y clorofila en vainas de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) en Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 7(1), 228-236. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v9i1.345>

Espitia, M., Montoya, R. y Atencio, L. (2009). Rendimiento de *Stevia rebaudiana* Bert. bajo tres arreglos poblacionales en el Sinú Medio. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 151-161.

Fahl, J., Carelli, M., Vega, J. & Magalhaes, A. (1994). Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea Arabica* L.). *Journal of Horticultural Science*, 69(1), 161-169.

Haussermann, V. & Gorsterra, G. 2009. Ecological and biogeographical aspects of the Chilean Fjord Region. En V. Haussermann & G. Gorsterra (Eds). *Marine benthic fauna of Chilean Patagonia* (pp. 61-76). Nature in Focus.

Franklin, K. A. & Quail, P. H. (2010). Phytochrome functions in Arabidopsis development. *Journal of experimental Botany*, 61(1), 11-24. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp304>

González-Salvatierra, C., Andrade, J. L., Orellana, R., Peña-Rodríguez, L. M. y Reyes-

García, C. (2013). Microambiente lumínico y morfología y fisiología foliar de *Bromelia karatas* (Bromeliaceae) en una selva baja caducifolia de Yucatán, México. *Botanical Sciences*, 91(1), 75-84.

Gutiérrez Del Pozo, D. (2010). *Aclimatación de la fotosíntesis en el dosel vegetal del trigo al aumento del CO₂ atmosférico, función del nitrógeno y las citoquininas en cultivos en cámaras de campo con clima mediterráneo* [Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca]. Digital. CSIC. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/29201/3/DGP-tesis.pdf>

Holdridge, L. R. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura. <http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>

Jarma, A., Rengifo, T. y Araméndiz-Tatis, H. (2005). Aspectos fisiológicos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en el Caribe colombiano: I. Efecto de la radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 207-216. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316955003.pdf>

Jarma-Orozco, A. (2008). Estudios de adaptación y manejo integrado de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.): nueva alternativa agroindustrial del Caribe colombiano. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(1), 109-121. <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i1.1176>

Khavari-Nejad, R., Najafi, F. & Tofighi, C. (2009). Diverse responses of tomato to N and P deficiency. *International Journal Agriculture Biology*, 11(2), 209-213. http://www.fspublishers.org/published_papers/93814.pdf

Kong, S. & Okajima, K. (2016) Diverse photoreceptors and light responses in plants. *Journal of Plant Research*, 129, 111-114. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10265-016-0792-5.pdf>

Lichtenthaler, H. & Wellburn, A. (1983). Determination of total carotenoids and



- chlorophylls A and B of leaf in different solvents. *Biology Society Transaction*, 11 (5), 591-592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Martin, C. E., Tüffers, A., Herppich, W. B. & Von Willert, D. J. (1999). Utilization and dissipation of absorbed light energy in the epiphytic crassulacean acid metabolism bromeliad *Tillandsia ionantha*. *International Journal of Plant Sciences*, 160(2), 307-313. https://kuscholarworks.ku.edu/bitstream/1808/9892/1/Martin_IJoPS_160_307-313.pdf
- Matsubara, S., Krause, G. H., Aranda, J. E., Virgo, A., Beisel, K. G., Jahns, P. & Winter, K. (2009). Sun-shade patterns of leaf carotenoid composition in 86 species of neotropical forest plants. *Functional Plant Biology*, 36(1), 20-36. <https://doi.org/10.1071/FP08214>
- Medina, V. (2011). *Efecto de la reducción de nitrógeno en el metabolismo de compuestos fenólicos en brotes de *Castilleja tenuiflora* Benth. cultivados en biorreactor de inmersión temporal* [Tesis de Maestría, Instituto politécnico Nacional]. Repositorio Digital IPN. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/7283>
- Meisel, L., Urbina, D. y Pinto, M. (2011). *Fotorreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas*. Universidad de La Serena.
- Mendoza-Elos, M., Mosqueda-Villagómez, C., Rangel-Lucio, J. A., López-Benítez, A., Rodríguez-Herrera, S. A., Latournerie-Moreno, L. y Moreno-Martínez, E. (2006). Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM. *Agricultura Técnica en México*, 32(1): 89-99. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v32n1/v32n1a9.pdf>
- Peñaranda, J. C., Rodrigo, G. C., Ticona-Bustillos, A. R., Valenzuela, E., Ramos, S., San Martín, A., Ghezzi, F. G. y Almanza, G. R. (2020). Variation in concentration of flavonoids and chlorophyll, and changes on morphology and foliar anatomy, due to visible (PAR) or ultraviolet (UVA, UVB) radiation in *Baccharis Latifolia*. *Revista Boliviana de Química*, 37(5), 210-222.
- Pompelli, M. (2008). *Crecimiento e adaptaciones morfofisiológicas de plantas jóvenes de *Coffea arabica* L., submetidas a diferentes niveles de nitrogênio e irradiância* [Tesis de Doctorado, Universidad Federal de Viçosa].
- Ramos, C., Buitrago, S. P., Pulido, K. L. y Vanegas, L. (2013). Variabilidad ambiental y respuestas fisiológicas de *Polylepis cuadrijuga* (Rosaceae) en un ambiente fragmentado en el Páramo de la Rusia (Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 351-361. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v61n1/a30v61n1.pdf>
- Reddy, K. (2006). Nutrient Stress. En K. V. Madhava, A. S. Raghavendra & K. J. Reddy. (Eds.). *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants* (pp. 187-217). Springer.
- Salgado, L. (2013). *Requerimiento de nitrógeno en la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni en hidroponía en invernadero* [Tesis Maestría, Colegio de Postgraduados]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/10521/2133>
- Santelices, R., Espinoza, S. y Cabrera, A. M. (2013). Efecto de distintos niveles de sombra y dosis de fertilizante en el cultivo en vivero de plantas de *Nothofagus leonii* *Espinosa* procedentes de su distribución más septentrional. En Sociedad Española de Ciencias Forestales (Ed.), *Sexto congreso forestal español*, pp. 1-9. Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Skillman, J. B., García, M., Virgo, A. & Winter, K. (2005). Growth irradiance effects on photosynthesis and growth in two co-occurring shade-tolerant neotropical perennials of contrasting photosynthetic pathways. *American Journal of Botany*, 92(11), 1811-1819. <https://doi.org/10.3732/ajb.92.11.1811>
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology*. 5th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA

Utumi, M., Monnerat, P., Gomes, P., Rezende, P. y Campos, V. (1999). Deficiência de macronutrientes em estévia: Sintomas visuais e efeitos no crescimento, composição química e produção de esteviosídeo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(6), 1039-1043. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000600016>

Val, J., Heras, L., y Monge, E. (1985). Nuevas ecuaciones para la determinación de pigmentos fotosintéticos en acetona. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei*, 17(3-4), 231-238. <http://hdl.handle.net/10261/13836>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.





CARACTERIZACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE GULUPA (*Passifora edulis f. edulis Sims*) EN LAS REGIONES NORTE Y CENTRO - OCCIDENTE DE TOLIMA

CHARACTERIZATION AND TYPIFICATION OF PURPLE PASSION FRUIT (*Passifora edulis f. edulis Sims*) PRODUCTION SYSTEMS, IN TOLIMA NORTHERN AND CENTRAL-WESTERN REGIONS

Eleonora Rodríguez-Polanco • Irodriguezp@agrosavia.co

Ph D. Fitopatología. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. C.I. NATAIMA. Colombia.

Paula Bermeo Fúquene • pbermeo@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. C.I. NATAIMA. Colombia.

José Segura-Amaya • jsegura@agrosavia.co

Tecnólogo Agrícola. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. C.I. NATAIMA. Colombia.

Edinson Parra-Alferes • ebayardo@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. C.I. NATAIMA. Colombia.

Citación: Rodríguez-Polanco, E., Bermeo, P., Segura-Amaya, J., Parra-Alferes, E. (2022). Caracterización y tipificación de los sistemas de producción de gulupa (*Passifora edulis f. edulis Sims*) de las regiones Norte y Centro - Occidente de Tolima. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 89 – 107.
DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4583>



RESUMEN

Contextualización: La gulupa es una de las frutas exóticas con mayor demanda en el mercado internacional y es el tercer fruto que más exporta el país. El departamento de Tolima incrementó el área de cultivos de gulupa en un 61 %, del 2015 al 2019, lo que indica la progresiva importancia económica del cultivo en el departamento.

Vacío de conocimiento: A pesar de lo anterior, no se evidencian estudios de caracterización y/o tipificación de los productores, lo que limita una adecuada orientación de las políticas públicas de inversión, investigación y transferencia de tecnología. En consideración con esta situación, este estudio tuvo como objetivo caracterizar y tipificar los sistemas de producción de gulupa, teniendo en cuenta

los aspectos productivos, tecnológicos y sanitarios vinculados al cultivo en los principales municipios productores de las regiones Norte y Centro-Occidente del departamento de Tolima.

Metodología: Con este propósito se diseñó y aplicó una encuesta estructurada para la captura de la información. La caracterización de los productores se realizó mediante análisis multivariado empleando análisis de correspondencia múltiple (ACM). La agrupación se llevó a cabo a través de análisis clúster, utilizando la distancia euclidiana y el método de Ward.

Resultados y conclusiones: En general, los resultados revelaron un nivel tecnológico bajo-alto asociado a la producción de gulupa en el departamento.

Se identificaron dos grupos de productores. El Grupo I (GI) agrupó los productores ubicados principalmente en Cajamarca y Casabianca con un nivel tecnológico alto y con empleo de buenas prácticas agrícolas (BPA), el Grupo II (GII) agrupó a los productores ubicados principalmente en Santa Isabel y Rovira con un nivel tecnológico bajo y uso deficiente de BPA. El empleo de sistema de riego y cubierta plástica fueron identificadas como las prácticas tecnológicas asociadas al grado de

tecnificación del cultivo de gulupa en el Tolima. Los niveles de incidencia de la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*) alcanzaron valores entre el 4 % al 59 % en los principales municipios productores, constituyéndose así en una potencial limitante sanitaria para la sostenibilidad en el tiempo del agronegocio de gulupa en el departamento.

Palabras clave: Análisis de conglomerado; análisis de componentes principales; *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims; tipología de fincas

ABSTRACT

Contextualization: The highest demand in the international market is exhibited by purple passion fruit, known as gulupa, which is the third most exported fruit in Colombia. Tolima department had increased 61 % of gulupa crop area from 2015 to 2019, which demonstrates progressive economic importance of the crop in the zone.

Knowledge gap: However, characterization and typification farm assessments are not evidenced, that limits an adequate orientation of public investment, research, and technology transfer policies.

Purpose: Furthermore, to know the productive, technological, and health aspects associated to cultivation in the main producing municipalities of Tolima department was the aim of this study.

Methodology: Thus, a structured survey was designed and applied to capture farm information. The characterization of the producers was carried out by multivariate analysis, using multiple correspondence analysis (MCA). Clustering was realized

through cluster analysis, using the Euclidean distance and Ward's method.

Results and conclusions: Overall, a low-high technological level associated with gulupa production in Tolima was revealed. Two groups of producers were identified. group I (GI) clustered producers located mainly in Cajamarca and Casabianca with a high technological level and employing good agricultural practices (GAP). Farmers located mainly in Santa Isabel and Rovira with a low technological level and poor use of BPA were arranged in group II (GII). The use of an irrigation system and plastic cover were identified as modern technological practices of gulupa crop in Tolima. Incidence levels (between 4 % to 59 %) of vascular wilt (*Fusarium oxysporum*) in the main producing municipalities were observed, establishing potential sanitary limitation for gulupa agribusiness sustainability in Tolima over time.

Keywords: Cluster analysis; *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims; principal component analysis; farm typology



Tolima - Colombia



Fuente: autores

1. INTRODUCCIÓN

La gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) o fruta de la pasión púrpura pertenece a la familia passiflorae, en la que el género pasiflora está caracterizado como el más importante, con alrededor de 530 especies distribuidas en América y en menor proporción en el sudeste tropical y subtropical de Asia, Australia y Nueva Zelanda (Ocampo y Wyckhuys, 2012). La gulupa está posicionada en un lugar preferencial dentro del mercado internacional, debido a su naturaleza exótica, excelentes propiedades organolépticas y alto contenido de compuestos bioactivos (Dhawan et al., 2004; Fischer & Rezende, 2008; Portafolio, 2020).

La producción comercial de gulupa en Colombia se encuentra entre los 1.400 y 2.200 msnm. En altitudes mayores, la producción inicia entre los 12 a 18 meses y el tamaño

de la fruta se reduce (Miranda et al., 2009). En altitudes de 1.200 a 1.500 msnm, la vida útil del cultivo es de 8 años, por el contrario, a los 800 msnm la viabilidad económica de la plantación es de 3 a 4 años (Nakasone & Paull, 1998). Para el país, las temperaturas óptimas para el cultivo están en el rango de 15°C a 20°C (Jiménez et al., 2009). En general, las pasifloráceas requieren una precipitación bien distribuida durante todo el año, por lo que no crecen bien dada la falta de suministro de riego adicional (Fischer, 2010). Como límite pluviométrico inferior para cultivos de granadilla y el fruto de la pasión púrpura (gulupa) se sugieren zonas con un mínimo de 900 mm de precipitación anual uniformemente distribuida (Lüdders, 2003).

Dentro de la producción nacional se pasaron de exportar 4144 t netas en el periodo de 2017 a exportar 5497 t en el

mismo periodo de 2018, registrando un crecimiento de 32,6 % (Agudelo, 2019). Para este año, la producción y el rendimiento nacional de gulupa fue de 24,798 t y 16,55 t/ha respectivamente, destacándose el departamento de Antioquia como principal productor con 13,161 t y un rendimiento de 24,74 t/ha. Esto debido a la tecnificación del cultivo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura], 2019). Le siguen los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Tolima, este último reportado con baja productividad (1970 t) y rendimiento (5,76 t/ha) (Minagricultura, 2019). En Tolima, estas explotaciones corresponden a economías campesinas, realizadas con mano de obra familiar. Sin embargo, no existe claridad de las limitantes tecnológicas que pueden estar originando la baja competitividad del cultivo de gulupa en el departamento.

En el país existe una amplia brecha tecnológica entre el conocimiento técnico y su adopción en las diferentes regiones productoras de gulupa, en las que, inclusive, las características de adaptación de la planta han sido poco estudiadas (Ocampo y Wyckhuys, 2012; Rodríguez et al., 2019). Las bajas producciones del cultivo son ocasionadas por diversos factores, entre estos los siguientes: exigencia del mercado asociada con la alta calidad del producto (Ramírez et al., 2017), escasa tecnificación, poca asociatividad entre productores, limitada transferencia tecnológica y problemas fitosanitarios.

En Colombia, las enfermedades constituyen un grave problema para la producción de gulupa al ocasionar pérdidas en cantidad y calidad de la fruta, las que pueden llegar a ser muy altas cuando existen condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de los patógenos. Por ejemplo, enfermedades como la roña (*Cladosporium cladosporioides*) pueden reducir entre un 20 % a 40 % de la producción en presencia de condiciones ambientales favorables para su desarrollo, tales como: lluvias periódicas y prolongadas, densidades de siembra superiores a 850 plantas/ha y alta humedad relativa (>80 %) (Ocampo y Wyckhuys, 2012).

Una situación similar ocurre con la mancha aceitosa (*Xanthomonas axonopodis* pv. *passiflorae*), que reduce considerablemente la productividad del cultivo. Las condiciones

ambientales favorables, como mayor altitud y precipitaciones, permiten el incremento del inóculo bacteriano, que puede llegar a extenderse desde las hojas hasta los tallos y frutos (Benítez y Hoyos, 2009; Deshmukh et al., 2017). En suelos con drenaje limitado, el exceso de humedad favorece el desarrollo de enfermedades radicales, como la marchitez vascular (causada por el hongo *Fusarium oxysporum*), que pueden causar una destrucción total del cultivo. Es por esto que terrenos con textura arcillosa obligan a la construcción de drenajes superficiales que impidan la acumulación de aguas lluvias o de riego en el cuello de la raíz (Chacón, 1995), limitando la dispersión del hongo.

Con el propósito de atender los problemas señalados se han implementado métodos para estudiar las características de los productores y de los lugares de producción. Una de las herramientas que permite agrupar los productores por características comunes de manejo, producción y tecnificación de un cultivo es la tipificación (Escobar et al., 2019). Los estudios de tipificación o caracterización de los sistemas de producción agrícola son necesarios e importantes porque permiten identificar grupos de productores dentro de la heterogeneidad de condiciones socioeconómicas y productivas. Por lo que se constituye en i) herramienta de consulta y guía para las entidades gubernamentales y tomadores de decisiones para orientar las políticas públicas, ambientales e inversiones y ii) programas de investigación y transferencia de tecnología que se ajustan a las circunstancias, limitaciones y posibilidades de los grupos de productores identificados (Correa et al., 2010; Escobar y Berdegué, 1990; Santos et al., 2013).

Por su parte, las técnicas estadísticas multivariadas son usadas para el estudio de tipología y caracterización de fincas (Andersen et al., 2007; Guto et al., 2012; Köbrich et al., 2003). Estas técnicas estadísticas permiten crear tipologías de fincas, particularmente cuando se dispone de una extensa base de datos. El empleo del análisis de componentes principales (ACP), por ejemplo, reduce las dimensiones de las tablas de contingencia y proporciona una representación gráfica de la información contenida en estas tablas, además de un nuevo espacio de factores independientes en el que las categorías similares de diferentes variables aparecen



más cercanas (Hernández-Castellano et al., 2019; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013; Toro-Mujica et al., 2015). El ACP permite detectar los factores (dimensiones) que mejor caracterizan las fincas.

Empleando los factores del ACP se puede realizar una agrupación de individuos, de tal manera que cada grupo esté compuesto por unidades homogéneas, y los grupos entre estas sean muy heterogéneos. En la agrupación se pueden emplear métodos como el de Ward utilizando la distancia euclidiana (Köbrich et al., 2003). La única técnica de agrupamiento jerárquico que basa su funcionalidad en un criterio de suma regular de cuadrados es el método de Ward, el cual permite obtener grupos definidos y minimizar la dispersión de cada elemento en cada grupo producido (Murtagh & Legendre, 2014). La medición de distancias, a través de software especializado, genera dendrogramas que muestran la similitud o disimilitud entre grupos definidos.

A nivel microeconómico, la clasificación de agricultores podría ser de utilidad práctica para soluciones tecnológicas localizadas y apoyo de extensión, al constituir grupos de agricultores cuyas circunstancias son lo suficientemente similares para ser elegibles con la misma recomendación tecnológica (Harrington & Tripp, 1984). Los estudios de caracterización de productores, por otra parte, son necesarios a la hora de diseñar tecnologías orientadas al entorno y condiciones específicas de los tipos de productores, facilitando así la adopción de estas. En este sentido, el desconocimiento de los elementos vinculados a la producción de gulupa en el departamento de Tolima es un limitante para mejorar la competitividad y productividad de este cultivo en el departamento.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación planteó la hipótesis de que la producción de gulupa en el departamento de Tolima se realiza con diferentes niveles tecnológicos y presenta diferente grado de afectación por enfermedades. Estos niveles deben ser determinados para formular recomendaciones tecnológicas que respondan a las necesidades de los diferentes grupos de productores. En consecuencia, el objetivo de la investigación fue identificar las tecnologías de producción, prácticas agronómicas y

enfermedades predominantes en cultivo de gulupa del departamento de Tolima, para así generar una línea de base del sistema productivo como insumo para formular proyectos de investigación y transferencia de tecnología.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del sistema productivo de gulupa

La investigación se realizó en el segundo semestre de 2019, en los cinco municipios con mayor área establecida de gulupa en el departamento de Tolima: Cajamarca, Ibagué (Corregimientos Tapias y Toche), Santa Isabel, Casabianca y Rovira (corregimiento de Riomanso), (Figura 1). Los aspectos relacionados con las características tecnológicas, sanitarias y productivas de los productores fueron estudiados mediante la aplicación de una encuesta estructurada para este propósito (Tabla 1).

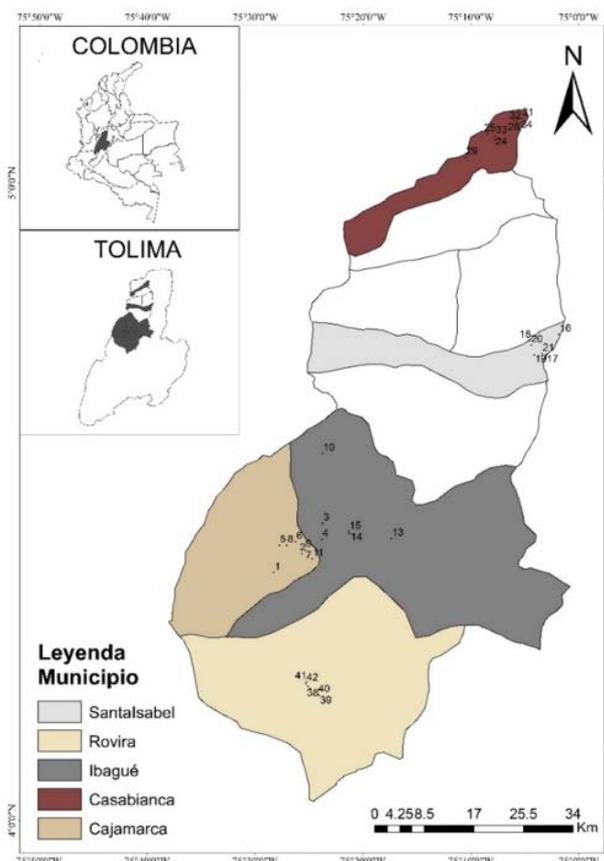


Figura 1. Ubicación geoespacial de las fincas productoras de gulupa encuestadas y enumeradas en los municipios de mayor área del cultivo en el departamento de Tolima. Fuente: autores.

El tamaño de la muestra se estableció mediante un diseño muestral aleatorio simple, sin reemplazo, considerando la varianza máxima según la Ecuación 1:

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot (1-p)}{(N-1) \cdot \varepsilon^2 + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot (1-p)}$$

Donde:

N = población total

$Z^{2\alpha/2}$ = Valor de la distribución normal estándar para un nivel de confianza del 90% (1,645)

p = valor de la proporción a priori de la varianza máxima de una variable de proporción (0,5)

ε = error máximo permitido de la estimación del 13% (0,13)

n = tamaño de la muestra

Para este estudio, el tamaño de la población (N) se expresó como el número de productores de gulupa en el departamento de Tolima, el cual fue determinado por el cociente obtenido del informe oficial más reciente del área plantada en gulupa en el departamento (440 ha), (Minagricultura, 2018) con un área de plantación promedio de gulupa (≈ 1 ha), lo que correspondería a 440 productores aproximadamente. Asimismo, los valores considerados para $Z^{2\alpha/2}$, p y ε fueron 90 % (1.645), 0,5 y 13 % (0,13) respectivamente. Se obtuvo un tamaño de muestra de 42 productores. El tamaño de muestra por municipio fue: Cajamarca (11), Ibagué (corregimiento Tapias y Toche) (4), Santa Isabel (6), Casabianca (13) y Rovira (corregimiento de Riomanso) (8), (Figura 1).

Tabla 1. Aspectos socioeconómicos y tecnológicos consultados a agricultores de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) en una encuesta realizada en las zonas productoras del departamento de Tolima.

		Variable	
		Nombre	Tipo+
1. Aspectos socioeconómicos			
1.1. Entorno social	Localización	Municipio*	Q-mnl
1. 2. Entorno productivo	Unidad productiva	Tenencia de la tierra	Q-mnl
		Topografía	Q-ml
		Altitud*	C-q
		Rendimiento (t/ha)**	C-q
	Entorno de capacitación	Tipo de capacitación*	Q-ds
	Destino de la producción	Mercado (%)	Q-mnl
2. Aspectos tecnológicos			
2.1. Suelo		Análisis de suel*	Q-de
2.2. Semilla		Origen	Q-de
2.3. Siembra		Densidad del cultivo*	C-q
		Edad del cultivo *	C-q
2.4. Irrigación		Sistema de riego*	Q-mnl
		Fuente de agua*	Q-mnl
		Frecuencia de Riego*	Q-mnl
2.5 Prácticas agrícolas		Lugar de descarte de residuos de poda sanitaria*	Q-mnl
		Desinfección de herramientas de cosecha*	Q-de
2.6. Manejo integrado del cultivo	Control de arvenses	Control físico de arvenses	Q-de
	Tipo de fertilización	Fertilización química	Q-de
	Control de plagas	Frecuencia de aplicación de insecticidas* (PesticidaFrec)	Q-mnl
		Plaga principal	Q-ml



Control de enfermedades

Frecuencia de aplicación de fungicidas*(FungicidaFrec)	Q-mnl
Principal enfermedad*	Q-ml
Incidencia de Fusarium*	Q-ml
Total enfermedades*	C-q
Semi-cubierta*	Q-de
Clasificación*	Q-mnl

2.7. Prácticas de poscosecha

Variables sin asterisco, no se consideraron debido a que presentaban variación menor al 13%. *Variables utilizadas para el análisis de componentes principales. **No se consideró debido a falta de información del 35% de las encuestas. +Q-de: doble estado cualitativo; Q-mnl: multiestado cualitativo, no lógico; Q-ml: multiestado cualitativo, lógico; C-q: cualitativo continuo.

Fuente: Autores.

La encuesta se dividió en dos secciones asociadas con el aspecto socioeconómico y tecnológico e incluyó 27 variables que se categorizaron de acuerdo con las respuestas de los productores (Tabla 1). Para el análisis de los datos se descartaron las variables que presentaron variación menor al 13 % como: tenencia de la tierra (propia en un 90,5%), topografía (escarpada 95,2 %), origen de la semilla (vivero 78,6 %), manejo de la fertilización (química 97,6 %), control de arvenses (guadaña 95,23 %), área con gulupa (0,4 a 2 ha 78,6 %), y el tipo de mercado (exportador 100 %). Dentro del aspecto productivo no se consideró el rendimiento (t/ha) debido a que el 35 % de la muestra (15 predios) se encontraban aún en fase de crecimiento y no había iniciado la fase reproductiva.

Las 16 variables cualitativas empleadas en el análisis fueron: municipio, tipo de riego, frecuencia de riego, fuente de riego, análisis de suelos, principal enfermedad, frecuencia de aplicación de fungicidas, frecuencia de aplicación de insecticidas, disposición de residuos de la poda, tipo de capacitación, uso de *semitecho*, desinfección de herramientas en cosecha, selección de fruta para exportación, densidad de plantas, edad de las plantas e incidencia de *Fusarium*. Las tres variables cuantitativas fueron la altitud, el área en gulupa y el total de enfermedades (Tabla 1).

Incidencia de enfermedades

Se determinó la incidencia de enfermedades foliares y de fruto en gulupa [mancha aceitosa (*Xanthomonas axonopodis* pv. *passiflorae*), roña (*Cladosporium cladosporioides*) y antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*)]. Para esto en cada predio

y dentro del cultivo se realizó un muestreo sistemático tipo grilla, estableciéndose 30 unidades de muestreo (planta de gulupa) en un área aproximada de 2.250 m², separadas 20 m dentro de los surcos y 7,5 m entre los surcos; el área de cada unidad de muestreo fue de un metro cuadrado (Mora, 2011). En cada unidad de muestreo fueron contados total de frutos sanos, total de frutos afectados por mancha aceitosa y total de frutos afectados por roña.

Por su parte, la incidencia de la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*) fue estimada en un área de media hectárea, considerando plantas afectadas con relación al total de plantas en media hectárea (1.100) y empleando la escala desarrollada por Osorio et al. (2020) (alta: > 31%; media: 20-30 %; baja: 1-19 % y ausente: 0 %). El patrón de distribución de la secadera, como también se le conoce, se categorizó de la siguiente forma. Aislado: presencia de pocas plantas individuales afectadas dentro del cultivo; focos: presencia de uno o varios grupos de plantas con presencia de síntomas; generalizado: se observa más del 80 % de plantas dentro del cultivo con presencia de síntomas.

Análisis estadístico

La caracterización de los productores se realizó mediante análisis multivariado empleando análisis de correspondencia múltiple (ACM). La agrupación se llevó a cabo a través de análisis clúster, utilizando la distancia Euclidiana y el método de Ward. Para identificar las variables con mayor correlación generadas en el ACM se utilizó la función dimdesc con el empleo de la razón de correlación al cuadrado (R²) en el paquete *FactoMineR* (Lê et al., 2008). Posteriormente,

se realizaron tablas de contingencia entre las variables y los grupos generados, y se utilizó la prueba chi-cuadrado (Chi-q) para determinar diferencias estadísticas entre los grupos. Todos los datos se analizaron con el software estadístico Rstudio versión 1.2.5042 (R project versión 3.5.3).

Para la incidencia de las enfermedades foliares y de raíz-tallo se tuvieron en cuenta dos factores: i) la localización o municipio: Santa Isabel, Ibagué, Cajamarca, Rovira y Casabianca; y ii) el tipo de enfermedad: mancha aceitosa, roña y marchitez vascular. La interacción de estos factores generó un total de 15 tratamientos, en los que la incidencia de la enfermedad fue la variable de respuesta, según la ecuación 2:

$$\text{Incidencia (\%)} = (\text{número de frutos o plantas con síntomas/número total de frutos o planta observadas}) * 100 \quad (2)$$

Los totales de frutos sanos y total de frutos enfermos, para el caso de bacteriosis y roña, se usaron como variables independientes; y la cantidad de plantas enfermas y plantas sanas, como variables independientes para el caso de la marchitez vascular. Debido a que los datos no mostraron una distribución normal, éstos se analizaron mediante un modelo lineal generalizado (GLM).

Al asumir que cada infección ocurrió de manera independiente entre los frutos o plantas y que la probabilidad de infección se mantuvo constante durante la colecta de los datos, la distribución que mejor se ajustó a la variable de respuesta fue la binomial (con *logit* como función de enlace) (Di Rienzo et al., 2012), con parámetros n desconocido y $n=30$. Para comparar las diferencias entre las medias se utilizó la prueba de LSD Fischer ($P<0,05$). Todos los datos se analizaron con el software estadístico Rstudio versión 1.2.5042 (R project versión 3.5.3).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del sistema productivo de gulupa

De acuerdo con el ACM, diez componentes se obtuvieron, los cuales explicaron un 73,69 % del total de la varianza acumulativa del

análisis. Los dos primeros componentes explican el 19,59 % y 10,7 % de esta varianza, respectivamente. El primer componente fue caracterizado por la variable cuantitativas «total de enfermedades» (correlación 0,54; $P<0,001$); y por las cualitativas asociadas a riego: frecuencia de riego; fuente de riego y municipio ($R^2 = 0,88; 0,87; 0,86$ y $0,81$; respectivamente, con $P < 0,001$ para todos); densidad de siembra; semicubierta; residuos de poda y análisis de suelos ($R^2 = 0,44; 0,4; 0,43$ y $0,27$; respectivamente, con $P < 0,001$ para todos); frecuencia de aplicación de insecticidas; capacitaciones; clasificación de la fruta; incidencia de *Fusarium*; edad del cultivo y desinfección de herramientas ($R^2 = 0,26; 0,19; 0,22; 0,25; 0,11$ y $0,1$ respectivamente y con $P<0,05$ para todos).

El segundo componente fue explicado por la variable cuantitativa «área de gulupa» ($R^2 = 0,5; P < 0,001$). Dentro de las variables cualitativas que explican el agrupamiento se encuentran: el municipio; la incidencia de *Fusarium*; tipo de riego; la frecuencia de riego; la frecuencia de insecticidas ($R^2 = 0,61; 0,59; 0,5; 0,33$ y $0,3$ respectivamente y con $P < 0,001$ para todos); la edad del cultivo; desinfección de herramienta; la principal enfermedad y el análisis de suelos ($R^2 = 0,13; 0,13; 0,21$ y $0,1$; respectivamente, con $P < 0,05$ para todos) (Figura 2).

Igualmente, dentro de las categorías representativas en el componente uno, se encuentran las características: fincas sin uso de tecnologías de riego (sin sistema de riego), municipio de Rovira, densidades de siembra menor de 2.000 plantas/ha, residuos de poda dentro del lote, *semitecho*, análisis de suelos, frecuencia de insecticidas semanal, selección de fruta por su sanidad u homogeneidad, capacitación de forma empírica, bacteriosis como principal enfermedad, bajas incidencias de marchitez vascular, edad del cultivo mayor a dos años y desinfección de herramientas de cosecha (Figura 2). Todas las categorías con ($P < 0,05$).

Dentro de las categorías representativas del segundo componente se encuentran: municipio de Santa Isabel, altas incidencias de marchitez vascular, otro tipo de riego, frecuencia de riego quincenal, aplicación de insecticidas semanal, marchitez vascular

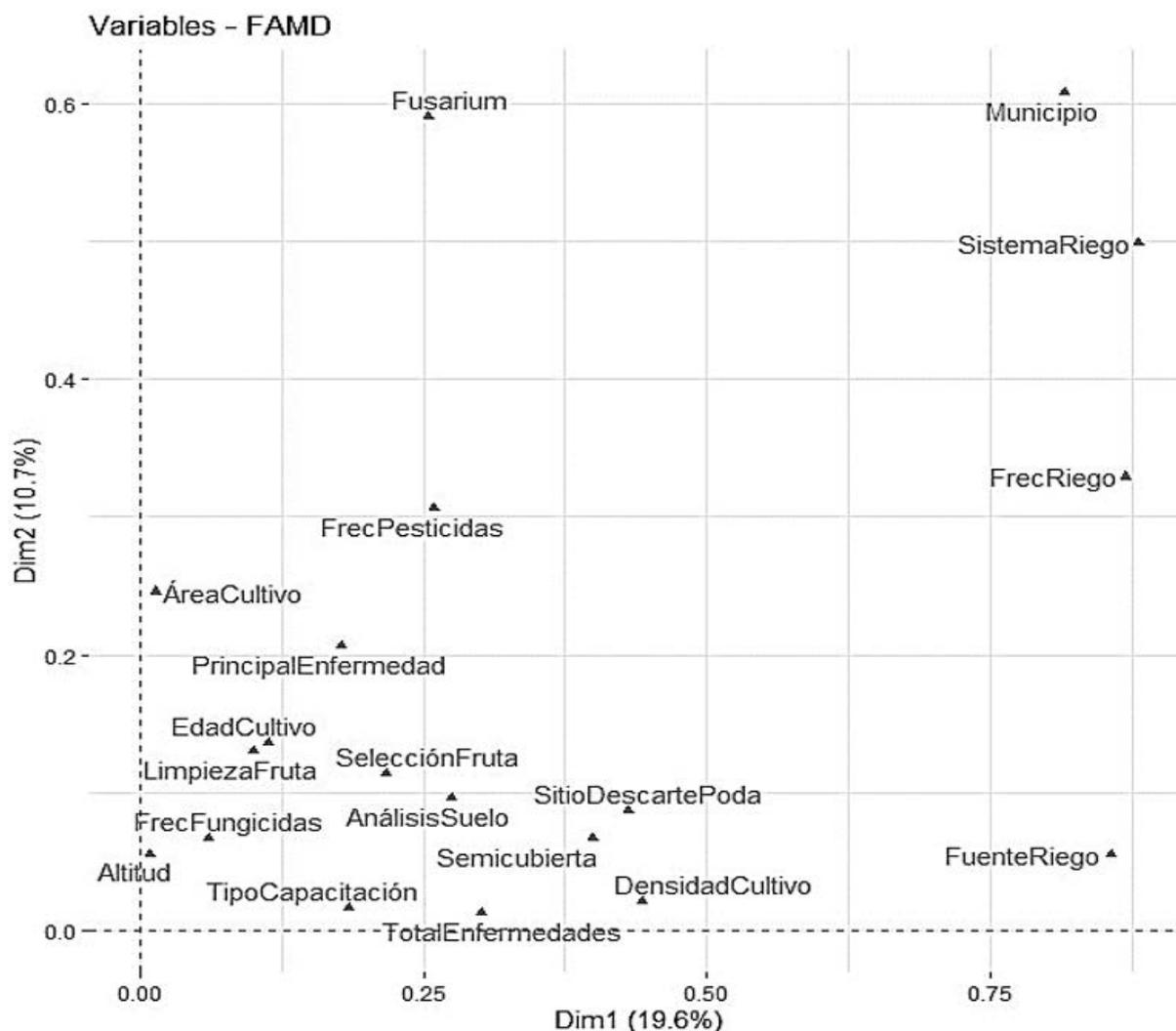


Figura 2. Resultados del análisis de correspondencia múltiple por variable de productores de gulupa encuestados en el departamento de Tolima. Mapa de factores que muestra las 19 variables que describen los dos primeros agrupamientos (Detalle de las variables en la Tabla 1).

Fuente: autores.

como principal enfermedad, edad del cultivo mayor a dos años, desinfección de herramientas, selección de la fruta por sanidad u homogeneidad y análisis de suelos (Figura 2). Todas las categorías con ($P < 0,05$).

El análisis multivariado de datos mixtos permitió la formación de dos conglomerados (GI y GII) de agricultores, lo que evidencia la existencia de divergencia dentro de los productores de gulupa en el departamento de Tolima (Figura 3). De acuerdo con Jiménez et al. (2017), este método permite relacionar variables de diferentes criterios (geográfico, manejo del cultivo y producción del cultivo), con el fin de generar agrupamientos que presentan características individuales,

identificando así las problemáticas asociadas al sistema productivo y la focalización de esfuerzos para generar las estrategias eficientes para mejorarlas.

En el GI se encontraron el 64,3 % de los predios de la muestra donde se realizan prácticas de tecnificación del cultivo: sistema de riego por goteo (96,29 %) -con aplicación de este diario a semanal (92,6%) - y quebrada como fuente de agua (62,96 %). La mayor proporción de estas fincas se encuentra en el municipio de Casabianca (48,14 %) y Cajamarca (37,7 %) presentan las siguientes características: densidades de siembra superiores a 2000 plantas/ha (88,8 %), cubierta en *semitecho* (62,96 %), uso de

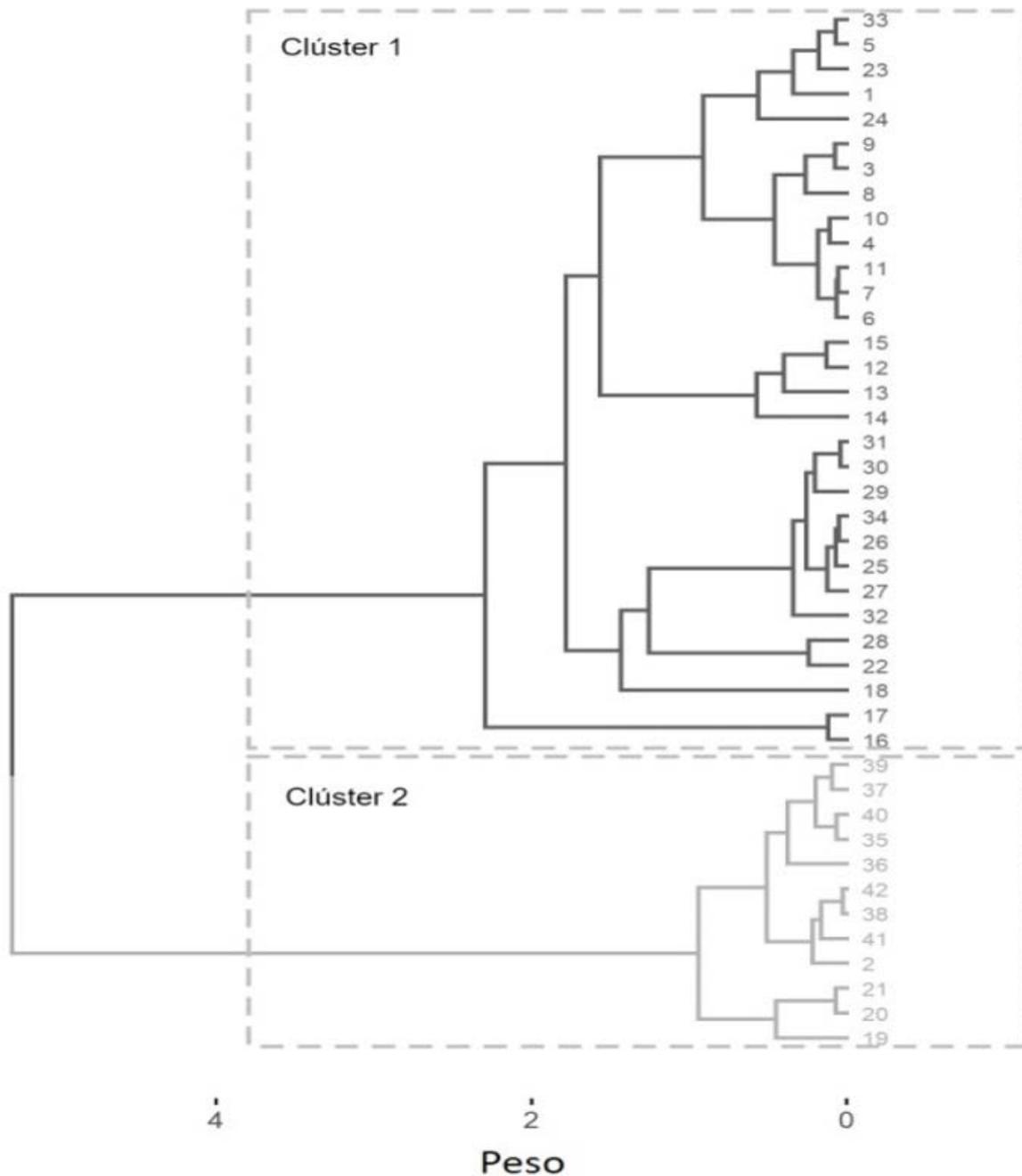


Figura 3. Conglomerados de productores de gulupa del departamento de Tolima, establecidos mediante análisis multivariados por el método de agrupamiento jerárquico de Ward.

Fuente: autores.

una fosa fitosanitaria (74,07%), frecuencia de uso de insecticidas quincenal a mensual (81,48%), selección de la fruta por tamaño (55,5%), análisis de suelos (74,07%), incidencias de marchitez vascular bajas (40,74%) y sin desinfección de herramientas

en cosecha (66,66 %) (Tabla 2). En general, el GI está conformado por fincas localizadas en Casabianca y Cajamarca, caracterizadas por un grado de tecnificación alto, adopción de buenas prácticas agrícolas (BPA) y baja incidencia de marchitez vascular.



Tabla 2. Descripción de las variables y sus categorías utilizadas para el análisis de grupos, a partir de encuestas a productores de gulupa en el departamento de Tolima.

Variable	Categoría	Clúster (%)		P-valor X ²			
		I q(n=27)	II (n=15)				
1. Aspectos socioeconómicos							
1.1. Entorno social	Localización	Municipio	Cajamarca	37,03	6,67	<0,001 ²	
			Casabianca	48,15	0		
			Ibagué	11,11	6,67		
			Rovira	0	53,33		
			Santa Isabel	3,71	33,33		
Entorno de capacitación	Tipo de capacitación	Técnica	81,48	53,33	ns		
		Empírica	18,52	46,67			
2. Aspectos tecnológicos							
2.1. Suelo	Análisis de suelo	Con análisis reciente					
		menor 1 año	74,07	43,34	< 0,01		
		Sin análisis o mayor a 1 año	25,93	66,66			
2.3. Siembra	Densidad de siembra	≤2.000 plantas·ha ¹	11,12	66,66	<0,001		
		>2000 plantas·ha ¹	88,88	33,34			
	Edad del cultivo	≤2 años	77,78	53,33	NS		
		>2 años	22,22	46,67			
2.4. Irrigación	Sistema de riego	Goteo	96,29	6,67	< 0,001		
		Otro riego (microaspersión)	3,71	13,33			
		Sin riego	0	80			
	Fuente de agua	Quebrada	62,96	6,67	< 0,001		
		Otra fuente (manantial)	37,04	13,33			
	No Fuente agua	0	80				
	Frecuencia de riego	Diario-semanal	92,59	6,67	<0,001		
		Quincenal-mensual	7,41	13,33			
		Sin Frecuencia riego	0	80			
2.5 Prácticas agrícolas	Lugar de descarte de residuos de poda sanitaria	Residuo dentro del lote	22,22	80	< 0,01		
		Residuo en fosa sanitaria	74,07	20			
		No realiza poda	3,71	0			
		Desinfección de herramientas de cosecha	Con desinfección	33,34		66,67	< 0,05
		Sin desinfección	66,66	33,33			
Control de plagas	Frecuencia de aplicación de insecticidas	Semanal	11,11	53,33	0,01		
		Quincenal-mensual	81,48	46,67			
		No aplica	7,41	0			
Control de enfermedades	Frecuencia de aplicación de fungicidas	Semanal	22,22	46,67	NS		
		Quincenal-mensual	66,66	46,67			
		No aplica	11,12	6,66			

Principal enfermedad	Mancha aceitosa	11,11	33,33	NS
	Roña	25,92	20	
	Marchitez vascular (Fusarium)	48,14	46,67	
	Otra	14,83	0	
	Incidencia de Fusarium (Osorio et al., 2020)	Alto >31% de incidencia	3,7	33,33
	Medio 20-30% de incidencia	22,22	33,33	
	Bajo 1-19% de incidencia	40,74	33,33	
	Ausente 0% de incidencia	33,34	0	
Total de enfermedades	Cantidad total de enfermedades activas presentes	1,86	2,74	<0,001
Semi cubierta	Con semicubierta plástica en surcos	62,96	6,67	<0,001
	Sin semicubierta plástica en surco	37,04	93,33	
Clasificación	Tamaño	55,55	13,33	<0,01
	Otra clasificación	22,22	73,33	
	No clasifica	22,23	13,34	

2.7. Prácticas de poscosecha

¹Porcentajes en negrilla representan los valores más altos significativos por categoría en cada clúster. ² P<0,05 significativo, P<0,01 muy significativo, P<0,001 altamente significativo, NS: sin diferencia significativa.

Fuente: autores.

El GII con el 35,7 % de los predios muestreados se caracterizó por no poseer sistema de riego (80 %). La mayor proporción de estas fincas se encuentra ubicada los municipios de Rovira (53,33 %) y Santa Isabel (33,33 %), y tienen estas características: densidades de siembra menores a 2.000 plantas/ha (66,66 %), sin cubierta en *semitecho* (93,33 %), disposición de los residuos de poda en el lote (80%), frecuencia de insecticidas semanal (60 %), selección de la fruta por sanidad y homogeneidad (73,33%), sin análisis de suelos (66,66%), y con desinfección de herramientas en cosecha (66,66%) (Tabla 2). En su mayoría, el GII está conformado por fincas localizadas en Rovira y Santa Isabel que se caracterizan por la baja tecnificación y la aplicación de BPA en el cultivo.

De acuerdo con el consolidado de MinAgricultura (2018), el municipio de

Rovira presentó los rendimientos más bajos en el departamento de Tolima con 3 t/ha para el 2018; mientras que el municipio de Casabianca presentó para el 2018 un rendimiento de 25 t/ha, ubicándose como el principal productor en el departamento (MinAgricultura, 2018). Estos valores de producción corroboran la correlación positiva entre el grado de tecnificación del cultivo, que incluye el empleo de BPA, y la productividad debido al uso más eficiente de los recursos (Prieto, 2019). Los niveles más altos de adopción de tecnología están asociados con una mayor competitividad, sostenibilidad y viabilidad de las explotaciones.

En especies del género de pasifloras, como el caso de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.), los aspectos relacionados con la tecnificación del cultivo, como el incremento en la densidad de siembra, han mostrado un incremento en la producción sin afectar la



calidad de los frutos (Moreira et al., 2017). Con relación al manejo de enfermedades, el empleo de cubierta o semitecho plástico ha demostrado ser útil para obtener una reducción en la incidencia y severidad de la mancha aceitosa y enfermedades fúngicas (Montoya et al., 2013), al disminuir la transmisión de la luz visible. Esto afecta directamente a las proteínas fotosensibles a factores LOV (Luz, Oxígeno o Voltaje), presentes en el género *Xanthomonas*. Estas proteínas tienen implicaciones en la fisiología bacteriana al modular características directamente asociadas con su capacidad para colonizar las plantas hospederas como: motilidad, adhesión, formación de biofilm y resistencia al estrés oxidativo, mediante la síntesis de flagellum, exopolisacáridos y adhesinas (Da Silva et al., 2002; Kraiselburd et al., 2017).

Otras prácticas de cultivo, como la eliminación de partes enfermas de la planta y de los residuos de poda y de cosecha (Joy & Sherin, 2016; Ocampo y Wyckhuys, 2012), así como la desinfección de herramientas durante la poda y cosecha (Benítez, 2010; Deshmukh et al., 2017; Joy & Sherin, 2016; John Ocampo y Wyckhuys, 2012) y el uso de cultivares resistentes (Costa et al., 2018), contribuyen en el manejo de la mancha aceitosa y la roña disminuyendo así el detrimento que pueden causar en la producción.

Un estudio de caracterización del sistema productivo de gulupa para los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, desarrollado por Miranda y Carranza (2010), indicó la existencia de dos sistemas: el primero se caracteriza por medianos productores, propietarios de la tierra, con suelos no mecanizados, economía campesina, con gulupa morada de tipo regional, disponibilidad de riego y venta de producto a intermediarios; el segundo grupo solo difería del primero por ser pequeños productores, con terrenos arrendados y no tener disponibilidad de sistema de riego.

Nuestros resultados coinciden en que el empleo de sistema de riego y la cubierta en *semitecho* está asociado con productores con mayor capacidad económica, lo que les permite a los productores mayor acceso a la tecnificación de su cultivo y empleo de BPA

(Tabla 2). Esto garantiza la obtención de fruta de primera calidad con fácil acceso al mercado de exportación. Lo contrario ocurre con el de los productores sin acceso estas tecnologías y aplicación de BPA, ya que obtienen mayor proporción de fruta para el mercado nacional, caracterizada por un precio hasta cinco veces inferior al del mercado exportador, llegando a hacer inviable su permanencia como productores de gulupa.

En un sistema agrícola el recurso hídrico hace parte esencial del funcionamiento de las plantas. En las especies frutícolas como las pasifloras, en las que la floración y la fructificación se presenta durante todo el año, se requiere de precipitación bien distribuida. Los requerimientos hídricos en gulupa y maracuyá se estiman entre 1300 a 1800 mm anuales, alcanzando producciones de 17 t/ha con un 100% de evapotranspiración en suelo (Angulo, 2009; Guilherme et al., 2020; Ocampo et al., 2010). Cuando falta el agua en fases críticas del desarrollo productivo (como la brotación de yemas florales, fecundación, cuajado y llenado) los frutos se quedan pequeños o se caen (Jiménez et al., 2009), por lo que en regiones con mala distribución de lluvias es necesario establecer sistemas de riego en el cultivo que aseguren el buen desarrollo y calidad de la fruta.

Incidencia de enfermedades

La incidencia de las enfermedades foliares y de raíz-tallo, se analizó estadísticamente empleando el modelo lineal generalizado (GLM), con distribución binomial (logit) y la prueba de LSD Fischer para la comparación de medias. La incidencia de cada enfermedad se presentó como variable de respuesta. Se establecieron diferencias significativas ($P < 0,05$) para la incidencia de roña, mancha de aceite y secadera presente en los cultivos de gulupa de los municipios estudiados (Figura 4).

Se identificaron como las enfermedades más prevalentes en el cultivo de gulupa, en la región de Tolima: la roña (*Cladosporium cladosporioides*), la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*) y la mancha de aceite (*X. axonopodis* pv. *passiflorae*). Sólo se observaron dos casos de infecciones similares a las de origen viral en el municipio de Casabianca y no se encontraron síntomas de infección por antracnosis (Figura 4).

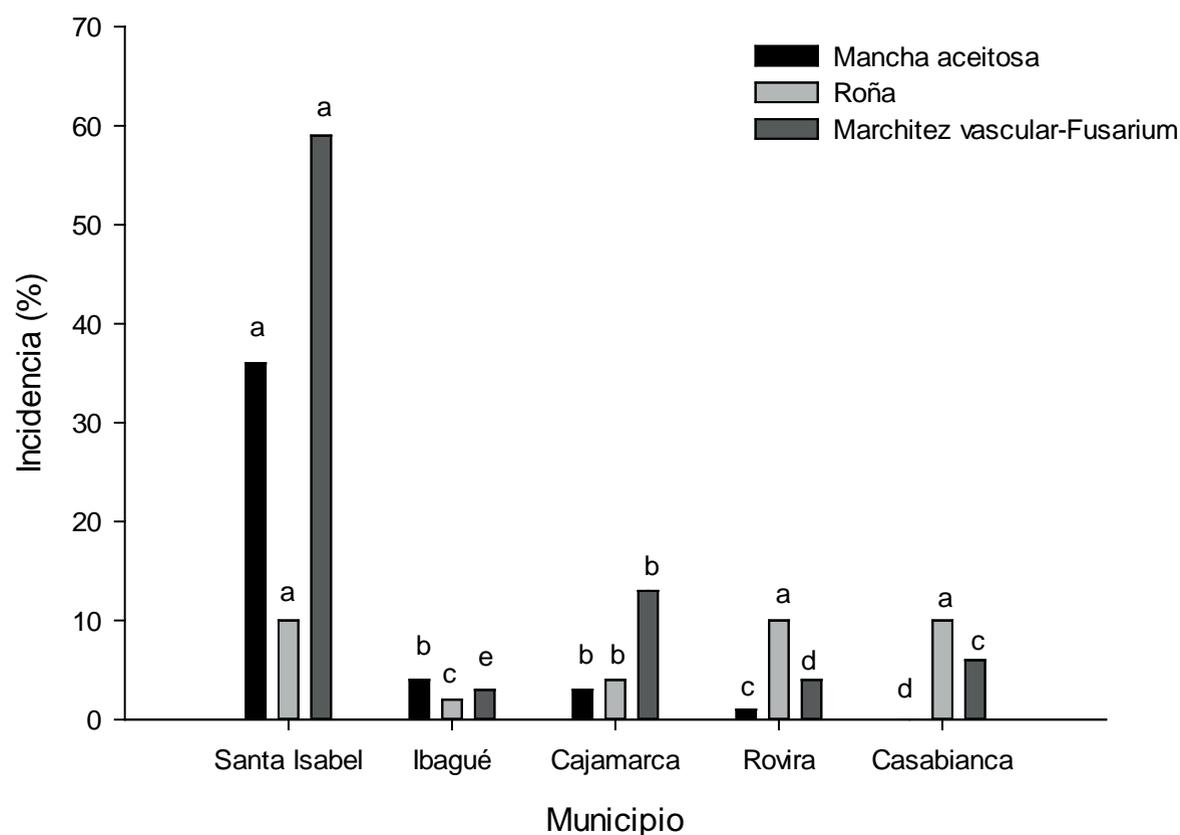


Figura 4. Incidencia de las enfermedades presentes en cinco municipios productores de gulupa del departamento de Tolima. Letras diferentes presentan significancia mediante el uso de la prueba de LSD Fischer ($P < 0,05$).

Fuente: autores.

La incidencia de la roña en frutos presentó los valores más altos en Santa Isabel, Rovira y Casabianca con 10 % para cada una de las regiones y estadísticamente iguales ($P < 0,05$). Los valores más bajos y significativamente diferentes se observaron en Ibagué y Cajamarca con 4% y 2% respectivamente. El valor más alto de incidencia de bacteriosis en frutos fue del 36% en el municipio de Santa Isabel, estadísticamente diferente y seguido en orden decreciente por Ibagué, Cajamarca y Casabianca con valores del 4%, 3% y 0% respectivamente e igual significancia estadística ($P < 0,05$) (Figura 4). El valor más alto de incidencia de la marchitez vascular en plantas se presentó en Santa Isabel con un 59%, seguido en orden decreciente por Cajamarca, Casabianca, Rovira e Ibagué con valores de 13%, 6%, 4% y 3% respectiva y estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0,05$).

En general, las incidencias más altas de roña, mancha bacteriana y muerte vascular se observaron en Santa Isabel (Figura 4).

Los predios de este municipio se ubicaron en el GII, caracterizado por menor empleo de sistemas de tecnificación y BPA, cuya situación favorece el desarrollo de las enfermedades. La alta incidencia de bacteriosis puede también ser atribuida a la altitud a la cual se encuentra ubicado este municipio (1.548 msnm), donde las condiciones climáticas prevalentes (temperatura y humedad relativa de 22 °C y 80% respectivamente), unidas a la falta de cubierta o semitecho plástico en los surcos de platino permite: i) mayor radiación solar incidente que favorece la patogenicidad de las bacterias y ii) mayor dispersión del inóculo a causa de la lluvia dentro de las plantas (Ocampo y Wyckhuys, 2012). En la inspección de Tapias (Ibagué) se encontró que la incidencia para la mancha de aceite, roña y marchitez vascular fue inferior al 4% (Figura 4), debido probablemente a que la mayoría de los cultivos no sobrepasan los 1.5 años, encontrándose al inicio de la etapa productiva. Esto ocasionó una baja densidad



de inóculo inicial en el ambiente y bajos niveles de severidad (Goto, 1990; Mengesha & Yetayew, 2018).

Con relación a la marchitez vascular, la enfermedad diezmo los cultivos de gulupa en Santa Isabel, haciendo poco viable la permanencia de los productores de este municipio en esta actividad agrícola. En Cajamarca, Casabianca y Rovira, municipios que presentan incidencias entre el 5% al

10%, se hace necesario implementar con mayor rigor las prácticas de prevención de la enfermedad, debido a que, una vez establecido el hongo (*Fusarium oxysporum*) en el suelo, su control requiere de la adopción conjunta de prácticas de manejo biológica, culturales y químicas de permanencia rigurosa en el tiempo. Estas prácticas tienen el propósito de disminuir la población del hongo mediante la creación de condiciones adversas para su desarrollo. 

CONCLUSIONES

La sostenibilidad del agronegocio de la gulupa, en regiones productoras del departamento de Tolima, está supeditada a la tecnificación del cultivo y al empleo de buenas prácticas agrícolas que permitan la obtención de fruta con calidad de exportación, haciendo viable la rentabilidad económica del cultivo. Un adecuado sistema de riego por goteo, cubierta de semitecho, uso de fosa fitosanitaria, análisis de suelos y desinfección de herramientas son características que

se relacionan con incidencias bajas de enfermedades, en especial de la secadera, en municipios con alta producción, como es el caso de Casabianca. La adopción de estas estrategias de tecnificación y BPA por los productores de gulupa constituyen uno de los principales desafíos de los sistemas de pequeña escala del departamento, en especial en los municipios de Rovira y Santa Isabel. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: elaboración del proyecto, supervisión de la ejecución de la investigación en campo (metodología), conceptualización, redacción y corrección de la versión final del artículo. Segundo autor: ejecución de la investigación en campo, recolección de la información, realización de los análisis estadísticos (análisis de datos) y redacción de la versión final del artículo. Tercer y cuarto autor: ejecución de la investigación en campo, recolección de la información y procesamiento, realización de los análisis estadísticos y redacción de la versión inicial del artículo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural por la financiación de esta investigación con recursos del convenio TV19. El proyecto de investigación se denominó: "Estrategias de prevención de enfermedades limitantes de las pasifloras (gulupa y granadilla) en Colombia"

(ID 1000573). También agradecemos a los técnicos de campo de Corpoyarumos, Umata de Casabianca, y a los productores de gulupa de los municipios donde se realizó esta investigación.

LITERATURA CITADA

Agudelo, L. C. (2019). *Fortalecimiento del área técnica y de mercados a unidades productivas de gulupa (Passiflora edulis sims) en el municipio de Duitama bajo el enfoque de cadena de valor* [Tesis de pregrado, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia]. Repositorio institucional. https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2813/1/TGT_1417.pdf

Andersen, E., Elbersen, B., Godeschalk, F. & Verhoog, D. (2007). Farm management indicators and farm typologies as a basis for assessments in a changing policy environment. *Journal of Environmental Management*, 82(3), 353-362. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.04.021>

Angulo, R. (2009). Gulupa (*Passiflora edulis var. edulis Sims*). Bayer CropScience.

Benítez, S. V. (2010). *Caracterización del agente etiológico de la enfermedad denominada "mancha de aceite" en cultivos de gulupa (Passiflora edulis Sims) en zonas productoras de Colombia*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/6844/186284.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Benítez, S. y Hoyos, L. (2009). Sintomatología asociada a bacteriosis en zonas productoras de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) en Colombia. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 3(2), 276-280. <https://doi.org/10.17584/rcch.2009v3i2.1218>

Chacón, C. (1995). Fertilización del maracuyá. En R. Guerrero (Ed.), *Fertilización de cultivos en clima medio (2a ed.)* (pp. 187-192). Monómeros Colombo Venezolanos. <http://www.monomeros.com/descargas/dpmanualmedio.pdf>

Correa, E., Araméndiz, H., Azeredo, L., Pombo, C. y Cardona Ayala, C. E. (2010). Tipificación de comercializadores de berenjena en zonas productoras del Caribe Colombiano. *Temas Agrarios*, 15(2), 46-57. <https://doi.org/10.21897/rta.v15i2.679>

Costa, A. P., Nogueira, I., Peixoto, J. R., Blum, L. E. B., Vilela, M. S. & Vendrame, W. (2018). Reaction of yellow passion fruit to passion fruit woodiness disease and to bacterial spot. *Bioscience Journal*, 34(6), 189-196. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n6a2018-39686>

Da Silva, A. C. R., Ferro, J. A., Reinach, F. C., Farah, C. S., Furlan, L. R., Quaggio, R. B., Monteiro-Vitorello, C. B., Van Sluys, M. A., Almeida, N. F., Alves, L. M. C., Do Amaral, A. M., Bertolini, M. C., Camargo, L. E. A., Camarotte, G., Cannavan, F., Cardozo, J., Chambergo, F., Ciapina, L. P., Cicarelli, R. M. B ... Kitajima, J. P. (2002). Comparison of the genomes of two *Xanthomonas* pathogens with differing host specificities. *Nature*, 417(6887), 459-463. <https://doi.org/10.1038/417459a>

Deshmukh, N., Patel, R., Okram, S., Banga, U., Vishwavidyalaya, K. & Rymbai, H. (2017). Passion fruit (*Passiflora* spp.). En S. Ghosh, A. Singh & A. Thakur (Eds.),

Underutilized fruit crops: importance and cultivation (pp. 979-1005). Narendra Publications. https://www.researchgate.net/publication/312033241_Underutilized_Fruit_Crops_Importance_Cultivation

Dhawan, K., Dhawan, S. & Sharma, A. (2004). Passiflora: A review update. *Journal of Ethnopharmacology*, 94(1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.02.023>

Di Rienzo, J. A., Macciavelli, R. E. y Casanoves, F. (2012). Modelos Lineales Mixtos: aplicaciones en InfoStat. https://www.researchgate.net/publication/283491350_Modelos_lineales_mixtos_aplicaciones_en_InfoStat

Escobar, G. y Berdegué, J. (1990). Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de finca: la experiencia de RIMISP. En G. Escobar y J. Berdegué (Eds.), *Tipificación de sistemas de producción agrícola*. (pp. 13-44). Rimisp.

Escobar, N., Romero, N. J. & Jaramillo, C. I. (2019). Typology of small producers in transition to agroecological production. *Agronomy Research*, 17(6), 2242-2259. <https://doi.org/10.15159/AR.19.221>

Fischer, I. & Rezende, J. A. M. (2008). Diseases of passion flower (*Passiflora* spp.). *Pest Technology*, 2(1), 1-19.

Fischer, G. (2010). Condiciones ambientales que afectan crecimiento, desarrollo y calidad de las pasifloráceas. En M. Parra, C. Carranza, J. Cárdenas, y D. Miranda (Eds.), *Memorias: Primer congreso Latinoamericano de Passiflora* (pp. 10-22). Corporación Centro de Investigación para la gestión Tecnológica de Passiflora del departamento del Huila. <https://studylib.es/doc/7309886/memorias-primer-congreso-latinoamericano-de-passiflora>

Guilherme, A., Ferreira, L., De Luna, A. G., Pereira, A. C., Lima, D., Pereira, A. P. & Cola, J. (2020). Physiology and production of yellow passion fruit with hydroabsorbent polymer and different irrigation depths. *Revista Ceres*, 67(5), 365-373. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202067050004>



- Goto, M. (1990). Fundamentals of Bacterial Plant Pathology. Academic Press. https://books.google.com.co/books?id=js3lpMiU-zUC&pg=PA177&lpg=PA177&dq=low+inoculum+plant+age+bacteria&source=bl&ots=S6-flbEajU&sig=ACfU3U2JsWSx4vW9tzreWYbfug_KxARF8w&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewizvN780qrqAhWJc98KHfprAGIQ6AEwD3oECAsQAQ#v=onepage&q=low_inoculum+plant+age+bacteria&f=false <https://www.sciencedirect.com/book/9780122934650/fundamentals-of-bacterial-plant-pathology>
- Guto, S. N., Pypers, P., Vanlauwe, B., De Ridder, N. & Giller, K. E. (2012). Socio-ecological niches for minimum tillage and crop-residue retention in continuous maize cropping systems in smallholder farms of central Kenya. *Agronomy Journal*, 104(1), 188-198. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0359>
- Harrington, L. W. & Tripp, R. (1984). *Recommendation Domains: A Framework for On-Farm Research*. CIMMYT.
- Hernández-Castellano, L. E., Nally, J. E., Lindahl, J., Wanapat, M., Alhidary, I. A., Fanguero, D., Grace, D., Ratto, M., Bambou, J. C. & De Almeida, A. M. (2019). Dairy science and health in the tropics: challenges and opportunities for the next decades. *Tropical Animal Health and Production*, 51(5), 1009-1017. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01866-6>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.iaeg.unam.mx/portal/recursos/ficha/18641/caracteristicas-edafologicas-fisiograficas-climaticas-e-hidrograficas-de-mexico>
- Jiménez, J., Aranda, Y. & Darghan, E. (2017). Typification of the production system of snuff (*Nicotiana tabacum*) in the Guanenta province, Santander department, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 35(2), 247-255. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.63972>
- Jiménez, Y., Carranza, C. & Rodríguez, M. (2009). Manejo Integrado de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). En D. Miranda, G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. C. W. P y L. E. Flórez (Eds.), *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba* (pp. 159-190). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas. <http://fedepasifloras.org/es/wp-content/uploads/2018/01/Cultivo-poscosecha-y-comercialización-de-las-pasifloráceas-en-Colombia.pdf>
- Joy, P. P. & Sherin, C. G. (2016). Diseases of Passion Fruit (*Passiflora edulis*) and their Management. En A. Kumar & P. Mall (Eds.), *Insect Pests Management of Fruit Crops* (pp. 453-470). Biotech. <https://www.researchgate.net/publication/306034959>
- Köbrich, C., Rehman, T. & Khan, M. (2003). Typification of farming systems for constructing representative farm models: Two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems*, 76(1), 141-157. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00013-6)
- Kraiselburd, I., Moyano, L., Carrau, A., Tano, J. & Orellano, E. G. (2017). Bacterial Photosensory Proteins and Their Role in Plant-pathogen Interactions. *Photochemistry and Photobiology*, 93(3), 666-674. <https://doi.org/10.1111/php.12754>
- Lê, S., Josse, J. & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1-18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Lüdders, P. (2003). Granadilla (*Passiflora edulis* Sims) - A multiple useful tropical fruit. *Erwerbs-Obstbau*, 45(6), 186-191. https://www.researchgate.net/publication/288319314_Granadilla_Passiflora_edulis_Sims_-_A_multiple_useful_tropical_fruit
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Área, Producción y Rendimiento*

Nacional por Cultivo/Gulupa. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>

Mengesha, G. G. & Yetayew, H. T. (2018). Distribution and association of factors influencing bean common bacterial blight (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) epidemics in Southern Ethiopia. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 51(19-20), 1066-1089. <https://doi.org/10.1080/03235408.2018.1551043>

Miranda, D. y Carranza, C. (2010). Caracterización de sistemas productivos de pasifloráceas en Colombia. En M. Parra, C. Carranza, J. Cárdenas y D. Miranda (Eds.), *Memorias: Primer congreso Latinoamericano de Passiflora* (pp. 27-59). Corporación Centro de Investigación para la gestión Tecnológica de Passiflora del departamento del Huila. <https://studylib.es/doc/7309886/memorias-primer-congreso-latinoamericano-de-passiflora>

Miranda, D., Fischer, G., Carranza, C., Magnitskiy, S., Cassierra, F., Piedrahíta, W. y Flórez, L. E. (Eds.). (2009). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.

Montoya-Estrada, C. N., Castaño-Zapata, J. y Villegas-estrada, B. (2013). Evaluación de alternativas de manejo de la bacteriosis del maracuyá. *Acta Agronómica*, 21(2), 40-50. [http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia21\(2\)_5.pdf](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia21(2)_5.pdf)

Mora, R. (2011). *Análisis epidemiológico de roña en gulupa (Passiflora edulis Sims.) en la región del Sumapaz, Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

Moreira, R., Cruz, M., Santos, A., Fernandes, D., & Oliveira, J. (2017). Production viability of passion fruit at high planting density in Jequitinhonha valley, Minas Gerais, Brazil. *Bioscience Journal*, 33(4), 843-849. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n4a2017-36680>

Murtagh, F. & Legendre, P. (2014). Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering

Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? *Journal of Classification*, 31, 274-295. <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>

Nakasone, H. Y. & Paull, R. E. (1998). *Tropical fruits*. CAB INTERNATIONAL.

Ocampo, J., Posada, P., Medina, J., Jarvis, A. y Van Zonneld, M. (2010). Definición de zonas agroecológicas para mejorar los sistemas de producción del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) y gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) en Colombia. En M. Parra, C. Carranza, J. Cárdenas y D. Miranda (Eds.), *Memorias: Primer Congreso Latinoamericano de Passiflora* (pp. 60-61). Corporación Centro de Investigación para la Gestión Tecnológica de Passiflora del departamento del Huila. <https://studylib.es/doc/7309886/memorias-primer-congreso-latinoamericano-de-passiflora>

Ocampo, J. y Wyckhuys, K. (2012). Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims): purple passion fruit. Universidad Jorge Tadeo Lozano

Osorio, J., Martínez, E., Clímaco, J., Aguirre, J., Vergara, J., Luque, N., Rojas, E. y Cruz, G. (2020). *Caracterización sanitaria de los cultivos de granadilla, gulupa y maracuyá en Colombia, con especial referencia a la secadera causada por Fusarium solani f. sp. passiflorae*. Agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigacion.7403381>

Aguacate, uchuva y gulupa, con potencial exportador (2020, febrero 6). *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/economia/aguacate-uchuva-y-gulupa-con-potencial-exportador-537868>

Prieto, D. (2019). *La tecnificación como herramienta para incrementar la productividad agropecuaria en Colombia*. Fundación Universidad de América.

Ramírez, J., Tamayo, P., & Morales, J. (2017). Identification and pathogenicity of microorganisms affecting purple passion



fruit in Colombia. *Revista Ceres*, 64(3), 250-257. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764030005>

Rodríguez, N. C., Melgarejo, L. M., & Blair, M. W. (2019). Purple Passion Fruit, *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*, Variability for Photosynthetic and Physiological Adaptation in Contrasting Environments. *Agronomy*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy9050231>

Santos, V., Zúñiga, J. y Santos, C. (2013). Tipificación de productores agropecuarios: Estudio de caso en la Región Texcoco del Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. <https://www.researchgate.net/>

publication/327424645_Tipificacion_de_productores_agropecuarios_Estudio_de_caso_en_la_Region_Texcoco_del_Estado_de_Mexico

Toro-Mujica, P., Aguilar, C., Vera, R., Rivas, J. & García, A. (2015). Sheep production systems in the semi-arid zone: Changes and simulated bio-economic performances in a case study in Central Chile. *Livestock Science*, 180, 209-219. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.001>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.





POTENCIALES ÁREAS CULTIVABLES DE PASIFLORAS EN UNA REGIÓN TROPICAL CONSIDERANDO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

POTENTIAL SUITABLE AREAS FOR PASSIFLORAS CROPS IN A TROPICAL REGION CONSIDERING CLIMATE CHANGE SCENARIOS

Andrés Mauricio Munar • mauriciomunar4@gmail.com

PhD en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia [CEPASS], Neiva, Colombia.

Adalberto Rodríguez Carlosama • adalberto.rodriguez@cepass.org

Magíster (C) en Ciencias Agrarias, Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia [CEPASS], Neiva, Colombia

Jorge Luis Muñoz España • jorge.munoz@cepass.org

Ingeniero Agrónomo, Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia [CEPASS], Neiva, Colombia

Citación: Munar, A., Rodríguez, A., Muñoz, J. (2022). Potenciales áreas cultivables de pasifloras en una región tropical bajo escenarios de cambio climático. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 109 - 129. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4637>

RESUMEN

Contextualización: El cambio climático y las actividades antrópicas sobre los recursos naturales se constituyen como los principales causantes de la pérdida de biodiversidad y la redistribución de las especies.

Vacío de conocimiento: Sin embargo, los efectos a nivel de comunidades y ecosistemas, así como los impactos en cultivos agrícolas en escala regional, son poco estudiados. Los modelos de distribución de especies se han convertido, por lo tanto, en valiosas herramientas para la predicción de áreas potencialmente aptas para especies cultivables, su gestión y planificación.

Propósito: Este estudio consistió en la predicción de potenciales áreas cultivables de maracuyá (*Passifora edulis* var. *favicarpa* Degener), granadilla (*Passifora ligularis* Juss), y cholupa (*Passifora maliformis* L.) en una región tropical, a través del modelo MaxEnt, en escenarios de cambio climático.

Metodología: Se utilizaron como datos de entrada (para el modelo MaxEnt) registros

de presencia de las especies analizadas, obtenidos a partir de sus coordenadas geográficas. En total, fueron usados 141 registros de presencia de maracuyá, 256 registros de granadilla y 40 registros de cholupa, así como 12 variables bioclimáticas para las proyecciones actuales y futuras en los periodos 2050 y 2070, considerando así dos escenarios RCPs (Representative Concentration Pathways) del Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) (RCP 4.5 y RCP 8.5).

Resultados y conclusiones: Los resultados revelan que las potenciales áreas cultivables para las especies analizadas podrían pronosticarse a través de MaxEnt utilizando registros de presencia en campo y variables bioclimáticas. Así mismo, las simulaciones indicaron que las áreas de ocurrencia potencial para las especies analizadas podrían disminuir en el futuro dependiendo de los escenarios climáticos (RCP 4.5 y RCP 8.5) para los periodos 2050 y 2070. Para los cultivos de maracuyá, granadilla y cholupa, las mayores

reducciones en las áreas de ocurrencia potencial corresponden al 23%, 25% y 31% respectivamente y, se presentarían en el período 2070 en un escenario pesimista (RCP 8.5). Este es el primer estudio que pronostica las potenciales áreas cultivables de pasifloras utilizando el modelo Maxent y escenarios de cambio climático en escala regional en una

región tropical. El abordaje propuesto puede proveer importantes herramientas para la gestión y aprovechamiento sostenible de las especies estudiadas. 

Palabras clave: *Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener, *Passiflora ligularis* Juss, *Passiflora maliformis* L., MaxEnt

ABSTRACT

Contextualization: Climate change and anthropic activities on natural resources are the main causes of the biodiversity loss and the species redistribution.

Knowledge gap: However, the effects at the community and ecosystem levels, as well as the impacts on agricultural crops on a regional scale, are little studied. Species distribution models have become valuable tools for the prediction of areas potentially suitable for cultivable species, their management and planning.

Purpose: This research pretends predict the potential of cultivable areas for passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener), grenadina (*Passiflora ligularis* Juss), and sweet calabash (*Passiflora maliformis* L.), in a tropical region, using the MaxEnt model and considering climate change scenarios.

Methodology: Occurrence records of the analyzed species, obtained from their geographic coordinates, were used as input data for the MaxEnt model. In total, 141 occurrence records of passion fruit, 256 records of grenadina and 40 records of sweet calabash were used for the MaxEnt model, as well as 12 bioclimatic variables for the current

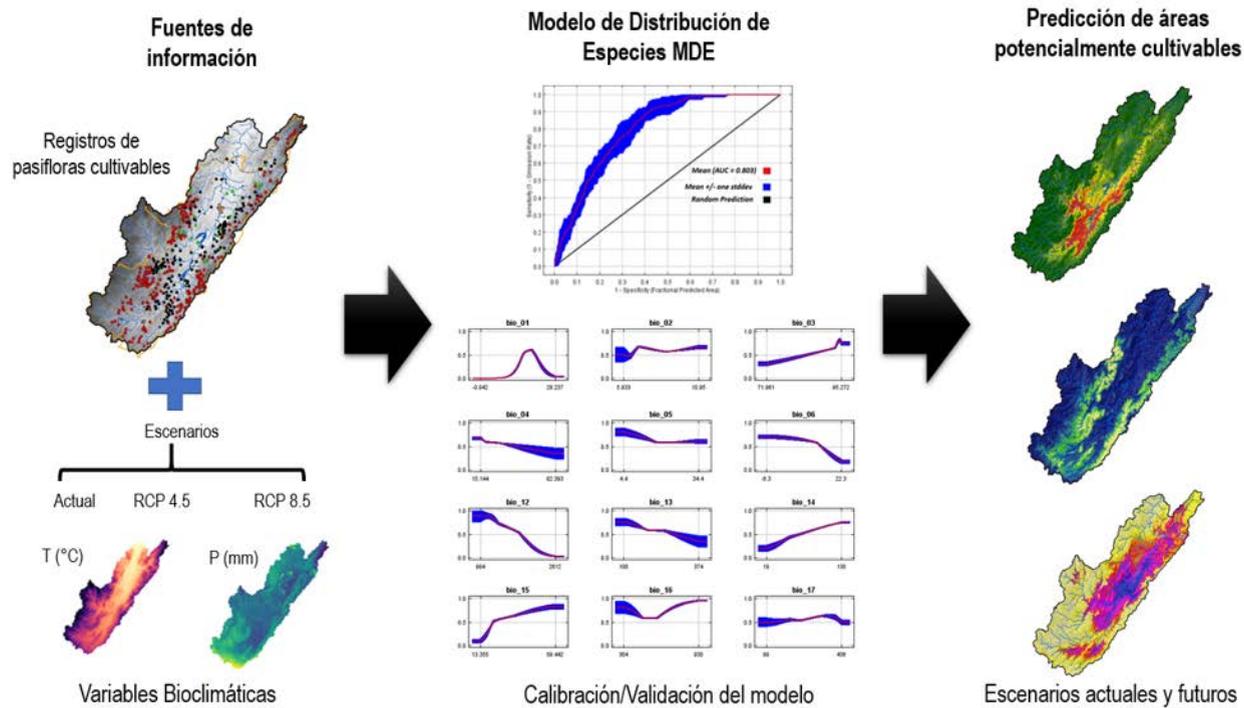
and future projections in the 2050 and 2070 periods, considering two Representative Concentration Pathways RCPs from the CMIP5 (RCP 4.5 and RCP 8.5)

Results and conclusions: The results revealed that the potential suitable areas for the analysed species could be predicted from the MaxEnt model, using field records and bioclimatic variables. Likewise, the simulations indicated that the areas of potential occurrence for the analysed species could decrease in the future, considering climatic scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) for the periods 2050 and 2070. For the passion fruit, grenadina and sweet calabash crops, the greatest reductions in the potential suitable areas correspond to 23 %, 25 % and 31 % respectively, and would occur in the 2070 period in a pessimistic scenario (RCP 8.5). This is the first study that predicts the potential suitable areas for passiflora's crops, using the MaxEnt model and contemplating climate change scenarios on a regional scale in a tropical region. The proposed approach can provide important tools for the management and sustainable use of the species studied. 

Keywords: *Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener, *Passiflora ligularis* Juss, *Passiflora maliformis* L., Maxent



RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos que enfrenta la humanidad hoy en día es el cambio climático, el cual tiene impacto en los ecosistemas, la sociedad y la economía. Los impactos del cambio climático y los cambios en el uso/cobertura del suelo son dos de los principales causantes de la pérdida de biodiversidad, redistribución geográfica de las especies y disminución de la producción agrícola en gran escala (Pecl et al., 2017; Pareek, et al., 2020; Giannini et al., 2013). Sin embargo, los impactos del cambio climático a nivel de ecosistemas y comunidades, así como los efectos en cultivos agrícolas en pequeña escala, son poco estudiados.

En las próximas décadas se tiene previsto que el cambio climático podría impactar drásticamente la distribución de especies, especialmente en los bordes de las ecoregiones, causando fragmentación, acelerando la pérdida de biodiversidad (Werneck et al., 2011; Scanes, 2018), afectando directamente cultivos agrícolas (Lobell et al., 2011, Polce et al., 2014, Rosenzweig et al., 2014) y polinizadores (Bartomeus et al., 2013; Burkle et al., 2013;

Vanbergen & the Insect Pollinators Initiative, 2013; Elias et al., 2017). Así mismo, los cambios significativos en los patrones de las principales variables meteorológicas (p. ej., temperatura y precipitación) que se prevén para el final del siglo XXI (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2013a), conllevan a la necesidad de proponer herramientas de gestión que ayuden a la conservación de los ecosistemas frente a diferentes usos, y que permitan el entendimiento de la dinámica, estructura, funcionamiento y monitoreo.

En los últimos años, se han desarrollado modelos de distribución de especies (MDE) para proyectar las pasadas, presentes y futuras condiciones climáticas, así como estudiar la distribución geográfica de diversas especies, lo que permite identificar áreas de estabilidad climática y predecir los impactos del cambio climático sobre la diversidad de especies (Thuiller et al., 2004; Collevatti, et al., 2011; Espíndola et al., 2012; Collevatti et al., 2014). Dentro de los MDE más utilizados se incluyen los modelos GARP (Stockwell, 1999), BIOCLIM (Nix, 1986), CLIMEX (Sutherst & Maywald, 1985) y Máxima

Entropía [Maxent] (Phillips et al., 2006), siendo este último, uno de los modelos que presenta más ventajas, entre ellas: (1) Los datos de las especies de entrada pueden ser datos de solo presencia; (2) se puede producir directamente un mapa de ocurrencia de hábitat de la especie analizada; (3) se puede evaluar la importancia de las variables ambientales de manera individual a través de la prueba de *Jackknife*; (4) se pueden utilizar datos continuos y categóricos como variables de entrada.

Recientes estudios han empleado el modelo MaxEnt y escenarios del CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) (IPCC, 2013b) para investigar el efecto del cambio climático en cultivos agrícolas en gran escala (Khubaib et al., 2021; Läderach et al., 2017; Shukla et al., 2020; Su et al., 2021). Estos estudios han sido de gran interés para determinar la redistribución geográfica de especies agrícolas, especialmente aquellas más vulnerables al cambio climático y a las condiciones ambientales como las pasifloras (Fernandes et al., 2019; Scherer, 2014; Giannini, et al., 2013). Las pasifloras comprenden alrededor de 520 especies (Wohlmuth et al., 2010) que se encuentran predominantemente en regiones tropicales y subtropicales (Araújo et al., 2017) y su distribución geográfica depende directamente de la temperatura y la precipitación (Scherer, 2014).

Colombia posee la mayor diversidad de especies de la familia *Passifloraceae* en el mundo, registrando 170 especies (Ocampo et al., 2007; Ocampo, 2013a), siendo las más cultivadas: maracuyá (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Degener), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims), curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) y cholupa (*Passiflora maliformis* L.) (Fischer & Miranda, 2021). El país es el tercer mayor productor mundial de maracuyá (~5%) por detrás de India (~9%) y Brasil (~60%) (United States Agency for International Development [USAID], 2014).

Especies cultivables de pasifloras, como el maracuyá, la granadilla y la cholupa, se han visto fuertemente amenazadas por el cambio climático (Bezerra et al., 2019; Loaiza y Mesa, 2019; Kjølhl et al., 2011; Burkle et al., 2013;

Vanbergen y The Insect Pollinators Initiative, 2013; Polce et al., 2014; Settele et al., 2016; Bejarano y Ibarra, 2018; Montero y Laiton, 2016), lo que impacta la polinización natural y disminuye su rendimiento. Sin embargo, en la escala regional existen muy pocos estudios que determinen las condiciones climáticas futuras y la redistribución geográfica de estas especies cultivables, por medio de modelos de distribución, contemplando escenarios de cambio climático. Teniendo en cuenta esto, el objetivo de este estudio fue estimar las potenciales áreas cultivables actuales y futuras de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y cholupa (*Passiflora maliformis* L.) en una región tropical, usando el modelo MaxEnt, considerando escenarios de cambio climático (Representative Concentration Pathway [RCP 4.5 y RCP 8.5]).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El área seleccionada para el estudio fue la cuenca alta del río Magdalena (1°29' y 3°52' N, 74°23' y 76°39' W), Colombia (Fig. 1), que abarca el departamento del Huila. La selección de la cuenca se debió a que el departamento del Huila es el responsable del 45 % de la producción nacional de maracuyá, del 50 % de la producción de granadilla en el país y además lidera la producción nacional de cholupa (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura], 2018). Para la delimitación de la cuenca se utilizó el modelo digital de elevación MDE derivado de la misión SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (Farr et al., 2007), que cuenta con una resolución espacial de 90m (United States Geological Survey [USGS], 2005).

A partir del MDE se realizaron operaciones de geoprocésamiento utilizando el software *ArcGIS 10.2*. La secuencia de operaciones fue la siguiente:

- Relleno de fallas del modelo digital de elevación, cuyo objetivo fue corregir valores nulos en la matriz y zonas muertas de flujo.
- Determinación de la dirección de flujo para estimar el camino más probable

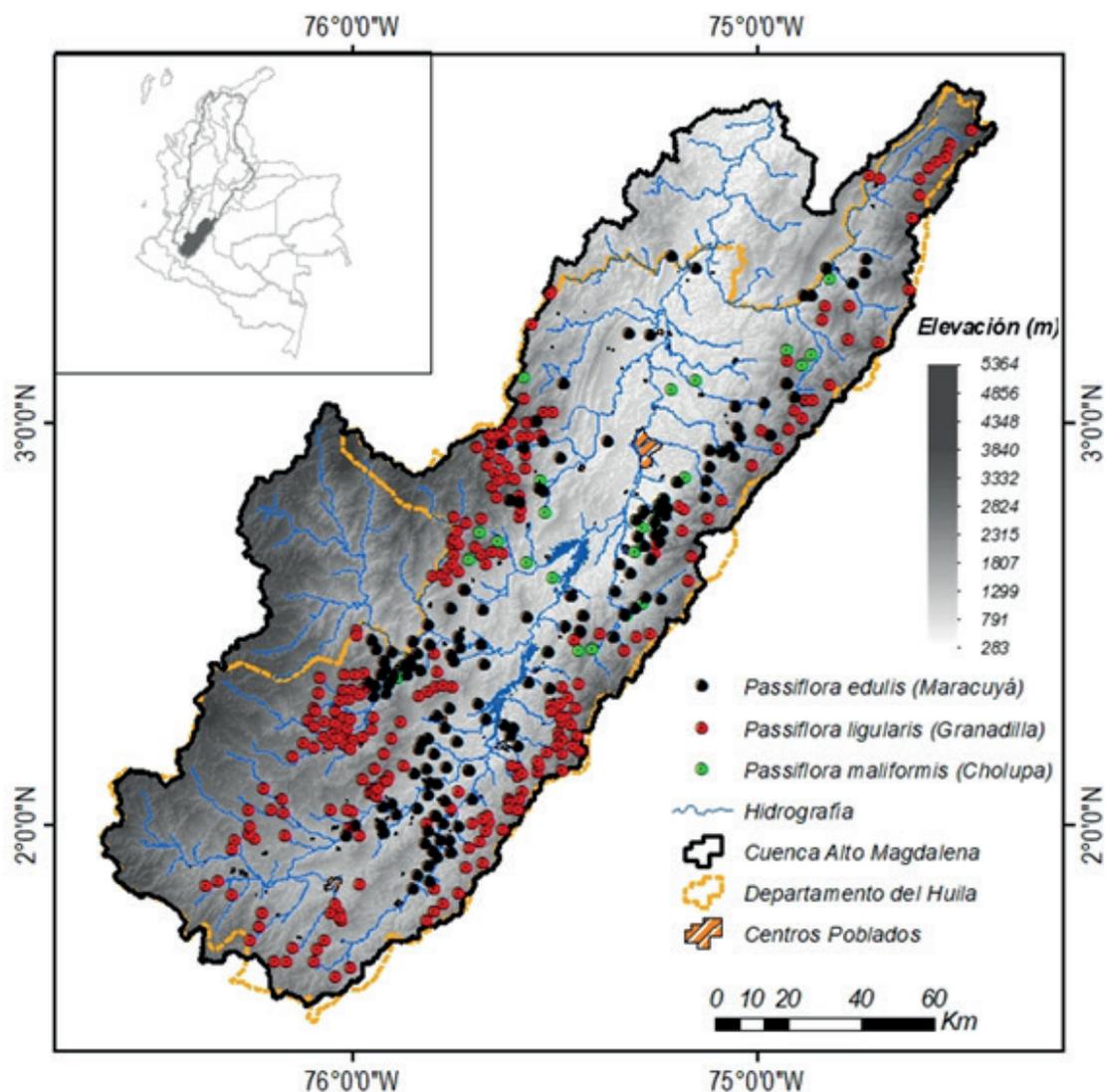


Figura 1. Distribución espacial de registros de presencia de cultivos de maracuyá, granadilla y cholupa en la cuenca alta del río Magdalena.

Fuente: autores.

para la red de drenaje a partir de una evaluación de declividad de cada píxel.

- Mapeo del flujo acumulado para determinar el área drenada por cada píxel.
- Definición del área de drenaje de la cuenca.
- Definición de la red de drenaje.

La cuenca alta del río Magdalena presenta un relieve variado, con altitudes máximas de 5364 m.s.n.m y mínimas de 283 m.s.n.m. En la cuenca alta, nace el río Magdalena, el mayor sistema fluvial de Colombia (área

aproximada ~257.000 km²). Así mismo, en la cuenca del río Magdalena se encuentran las principales ciudades del país (Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla) y se concentra aproximadamente el 80% de la población colombiana (Restrepo & Syvitski, 2006).

2.2 Datos bióticos

Los registros de presencia de cultivos de maracuyá, granadilla y cholupa, y su distribución espacial a partir de sus coordenadas geográficas, se obtuvieron de la base de datos de la Evaluación Agropecuaria del Huila (Gobernación del Huila, 2020). En total, se analizaron 141 registros de presencia de maracuyá, 256 registros de granadilla y 40 registros de cholupa distribuidos en la

cuenca alta del río Magdalena (Fig. 1). Todos los registros de presencia se importaron a Microsoft Excel y se guardaron en formato "CSV" para utilizarse como datos de entrada para el modelo de distribución de especies MDE.

2.3 Datos bioclimáticos

Los datos de variables bioclimáticas, utilizadas como entrada para el modelo MaxEnt, se obtuvieron en resolución de 30 segundos ($\sim 1 \text{ km}^2$) desde la plataforma *WorldClim (Version 2.0)*, para el período actual (Fick & Hijmans, 2017). En la base de datos de *WorldClim*, el "período actual" se definió entre los años 1970 a 2000 (estos datos se han utilizado ampliamente en la creación de modelos de distribución de especies). En total, se utilizaron 19 variables bioclimáticas de temperatura y precipitación para este período. Es de anotar que las variables bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación para generar variables más significativas desde el punto de vista ecológico. Estas variables representan tendencias anuales (p. ej., temperatura media anual, precipitación anual), estacionalidad (p. ej., rango anual de temperatura y precipitación) y factores ambientales extremos o limitantes (p. ej., temperatura y precipitación del mes más frío y del más cálido).

Las proyecciones para las condiciones climáticas futuras se obtuvieron con base en los cambios climáticos previstos para los períodos 2050 (*average for 2041-2060*) y 2070 (*average for 2061-2080*), teniendo en cuenta los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathway*) desarrollados por *Hadley Center Global Environmental Model (HadGEM2-ES)* (Collins et al., 2011) y siguiendo la metodología sugerida por Bezerra et al. (2019). Según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5) (IPCC, 2013b), cada escenario RCP representa un "Camino Representativo de Concentración" de Gases Efecto Invernadero [GEI] y de aerosoles en la atmósfera. Los RCP se describen por su Forzamiento Radiactivo (FR) total para el año 2100, siendo 4.5 y 8.5 vatios por metro cuadrado (W/m^2) los escenarios analizados en este estudio y que corresponden a los escenarios moderado y pesimista, respectivamente.

2.4 Modelo de distribución de especies [MDE]

En esta investigación se utilizó el modelo MaxEnt (Phillips et al., 2006) obtenido de manera gratuita desde <http://www.cs.princeton.edu/>. Este modelo determina patrones de distribución para los datos ingresados y luego selecciona los de configuración más probable basado en la maximización de entropía de Shannon (Merow et al., 2013, Phillips et al., 2006). El modelo MaxEnt utiliza el principio de máxima entropía para estimar, a partir de los registros de presencia de las especies analizadas y presentes en las capas bioclimáticas, una distribución de probabilidad (variando entre 0 y 100%) que puede denominarse como índice de ocurrencia de la especie que se está modelando (Phillips et al., 2006; Phillips et al., 2017).

2.5 Análisis estadístico y medidas de desempeño

Para seleccionar las variables bioclimáticas más representativas se realizó un análisis de componentes principales (ACP), considerando como criterios de selección las variables de mayor correlación ($R^2 \geq 0.75$) y el porcentaje de varianza explicado por autovalores ($> 5\%$) (ver Anexo 1). El ACP fue realizado en el software *ArcGIS 10.2*, siguiendo la metodología propuesta por Moya et al., (2017). A partir de las 19 variables bioclimáticas de temperatura y precipitación analizadas, se seleccionaron 12 variables bioclimáticas de acuerdo con los resultados del ACP (Tabla 1, Anexo 1). Las variables de menor contribución se excluyeron del modelo final para evitar la multicolinealidad de los modelos.

El 75 % de los registros de presencia de cada especie, seleccionados al azar, se utilizaron para la etapa de calibración del modelo y el 25 % restante se utilizó para la etapa de validación. Para evaluar el rendimiento del modelo se calcularon las curvas de disponibilidad de hábitat de cada variable y se calcularon las contribuciones de cada una, utilizando la prueba de *Jackknife*. Esta prueba se empleó para medir los factores climáticos dominantes que determinan la distribución potencial de las especies, identificando así las variables bioclimáticas con la mayor contribución (Moratelli et al., 2011).

Para evaluar el desempeño del modelo MaxEnt se utilizaron la curva ROC (*Receiver*



Tabla 1. Variables bioclimáticas seleccionadas como datos de entrada para el modelo Maxent de acuerdo con el ACP.

Código de la variable bioclimática	Descripción
BIO_01	Temperatura media anual
BIO_02	Rango diurno medio de temperatura
BIO_03	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) (* 100)
BIO_04	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)
BIO_05	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO_06	Temperatura mínima del mes más frío
BIO_12	Precipitación anual
BIO_13	Precipitación del mes más húmedo
BIO_14	Precipitación del mes más seco
BIO_15	Estacionalidad de precipitación (Coeficiente de variación)
BIO_16	Precipitación del período más húmedo.
BIO_17	Precipitación del trimestre más seco

Fuente: autores

Operating Characteristic) y el área bajo la curva ROC (*Area Under Curve [AUC]*), a través de la plataforma *Niche Toolbox* (Niche toolbox, 2016; Peterson et al., 2008), lo que permite evaluar las predicciones del modelo que presentan errores de omisión inferiores al 10%. El desempeño del modelo se clasificó según los valores de AUC, siendo fallido ($0.5 \leq AUC < 0.6$), pobre ($0.6 \leq AUC < 0.7$), razonable ($0.7 \leq AUC < 0.8$), bueno ($0.8 \leq AUC < 0.9$) y excelente ($0.9 \leq AUC \leq 1.0$) (Swets, 1988).

A partir del modelo MaxEnt calibrado/validado se proyectaron las distribuciones actuales y futuras para los períodos 2050 y 2070 en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 (Fig. 2). Las distribuciones fueron basadas en el promedio logístico de 10 réplicas siguiendo la metodología sugerida por Wei et al. (2018), para estimar los índices de ocurrencias que varían entre 0 % (no es probable que ocurra) y 100 % (es más probable que ocurra) (Phillips et al., 2006).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Desempeño del modelo MaxEnt: contribución e importancia de las variables bioclimáticas

Los resultados revelan una buena predicción del modelo MaxEnt para las especies de pasifloras: maracuyá, granadilla y

cholupa, en la cuenca alta del río Magdalena, con valores de AUC de 0.844; 0.803 y 0.742 respectivamente (Fig. 3).

Estos resultados fueron consistentes con estudios similares aplicando el modelo Maxent para predecir la distribución potencial de maracuyá (Bezerra et al, 2019; Giannini et al., 2013; Elias et al., 2017; Ocampo et al., 2013) y especies forestales (Wei et al., 2018; Yuan et al., 2015; Remya et al., 2015; Yi et al., 2016; Sharma et al., 2018). Para el cultivo de cholupa, los resultados fueron razonables $0.7 < AUC < 0.8$. Este comportamiento puede ser debido al número bajo de registros de presencia de la especie (40 registros) utilizados para la calibración del modelo MaxEnt y a las variables bioclimáticas empleadas, que pueden superar del rango de registros observados de la especie (Kumar, 2012).

Las variables bioclimáticas seleccionadas a partir del ACP describieron bien la distribución actual de maracuyá, granadilla ($0.8 \leq AUC < 0.9$) y, de manera razonable, la distribución de cholupa ($0.7 \leq AUC < 0.8$). Entre las 12 variables bioclimáticas (Fig. 4), las variables que más contribuyen en los pronósticos de las especies analizadas fueron BIO_05 (temperatura máxima del mes más cálido y BIO_01 (temperatura media anual), mientras que las variables de mayor

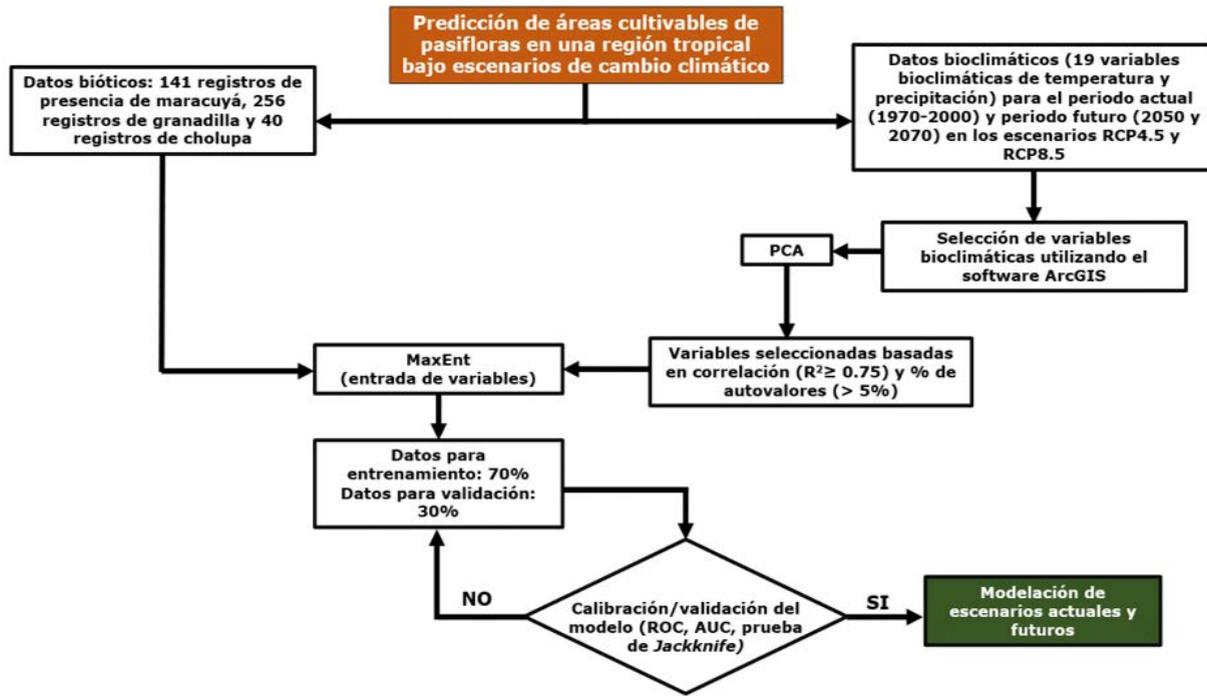


Figura 2. Diagrama de flujo para la predicción de áreas cultivables de pasifloras en una región tropical utilizando el modelo MaxEnt considerando escenarios de cambio climático.

Fuente: autores.

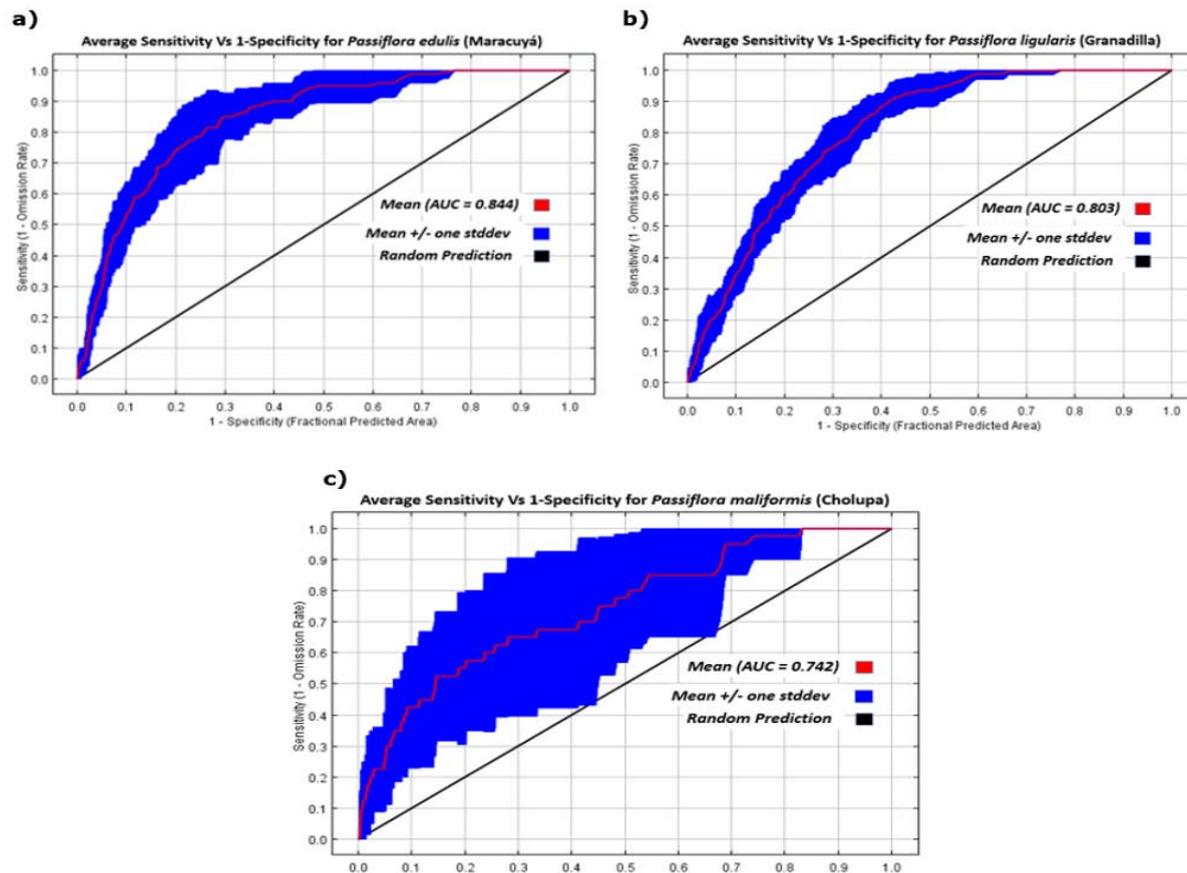


Figura 3. Curvas ROC y valores de AUC para el período actual (10 réplicas) para a) maracuyá, b) granadilla, y c) cholupa.

Fuente: autores



importancia en la permutación corresponden a BIO_01 (Temperatura media anual) y BIO_04 (Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)). Dentro de las variables de precipitación, la variable BIO_14 (Precipitación del mes más seco) es la que más tiene importancia en la permutación

con relación a las otras variables analizadas. Este comportamiento puede darse debido a que las especies analizadas son sensibles a los cambios drásticos de temperatura y precipitación, lo que puede afectar su crecimiento, desarrollo y producción (Fischer & Miranda, 2021; Melgarejo, 2015).

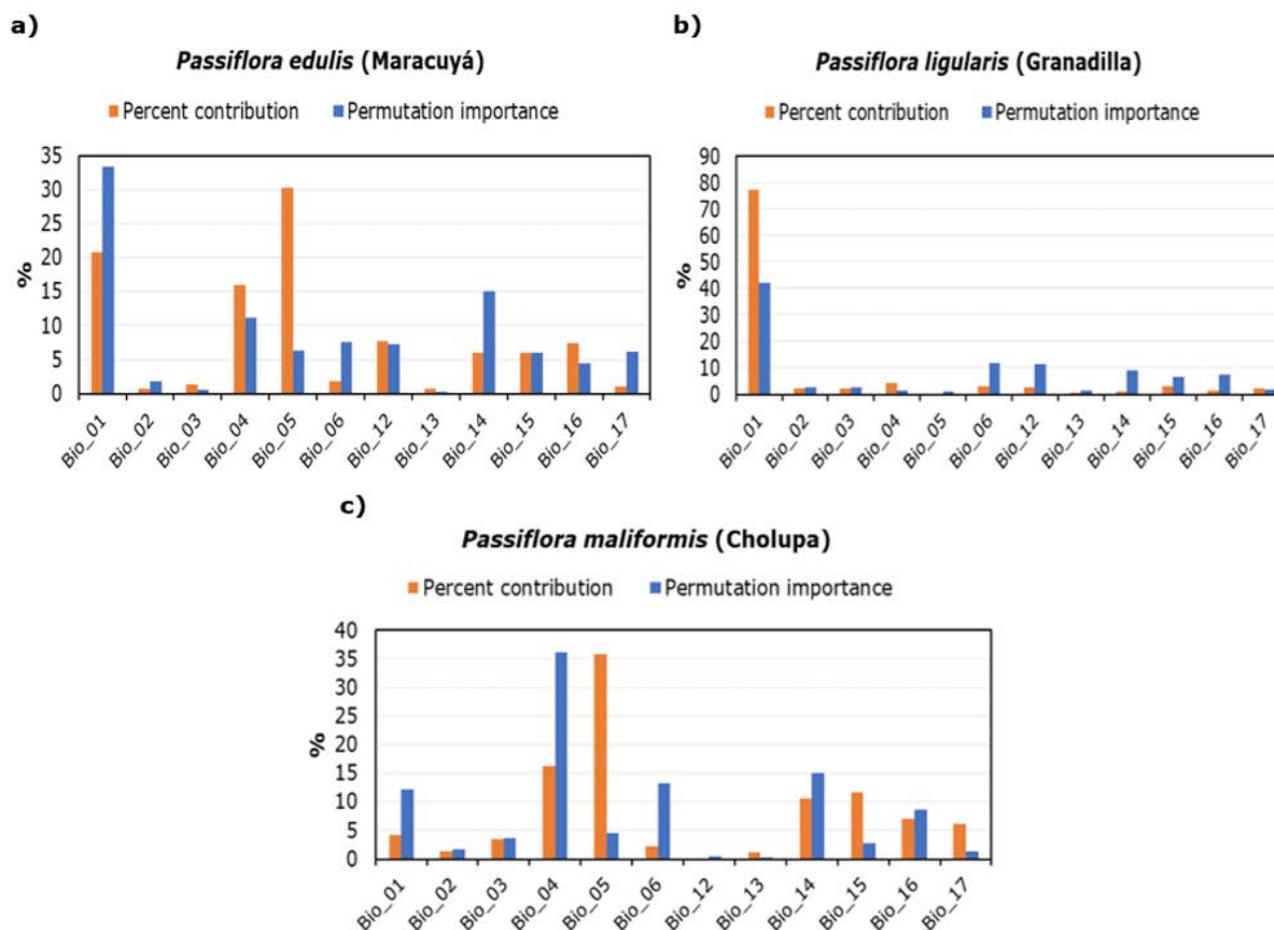


Figura 4. Contribución e importancia de permutación de cada variable analizada en el período actual (10 réplicas) para a) maracuyá, b) granadilla y c) cholupa.

Fuente: autores.

Los resultados de la prueba de *Jackknife* (Fig. 5) corroboran que las variables BIO_01 y BIO_05 son las de mayor contribución e importancia de permutación. Sin embargo, la variable bioclimática BIO_06 (Temperatura mínima del mes más frío) también reveló significativamente alta ganancia y contribución en los resultados obtenidos para los pronósticos de la distribución actual de las especies analizadas, en comparación con las otras variables utilizadas. Esta variable es importante, debido a que las especies analizadas son altamente sensibles a las heladas y esto puede causar daños severos

en los cultivos cuando la temperatura se reduce hasta -2°C (Fischer et al., 2009).

En la Tabla 2 se presentan los valores medios de AUC de las 3 especies analizadas en los períodos futuros (2050 y 2070), de acuerdo con los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5. Los resultados revelan un buen desempeño del modelo, especialmente para maracuyá (AUC > 0.85) y granadilla (AUC > 0.81). Para la especie cholupa, el desempeño del modelo fue bueno para el período 2050 (AUC > 0.81) y razonable para el período 2070 (AUC > 0.74).

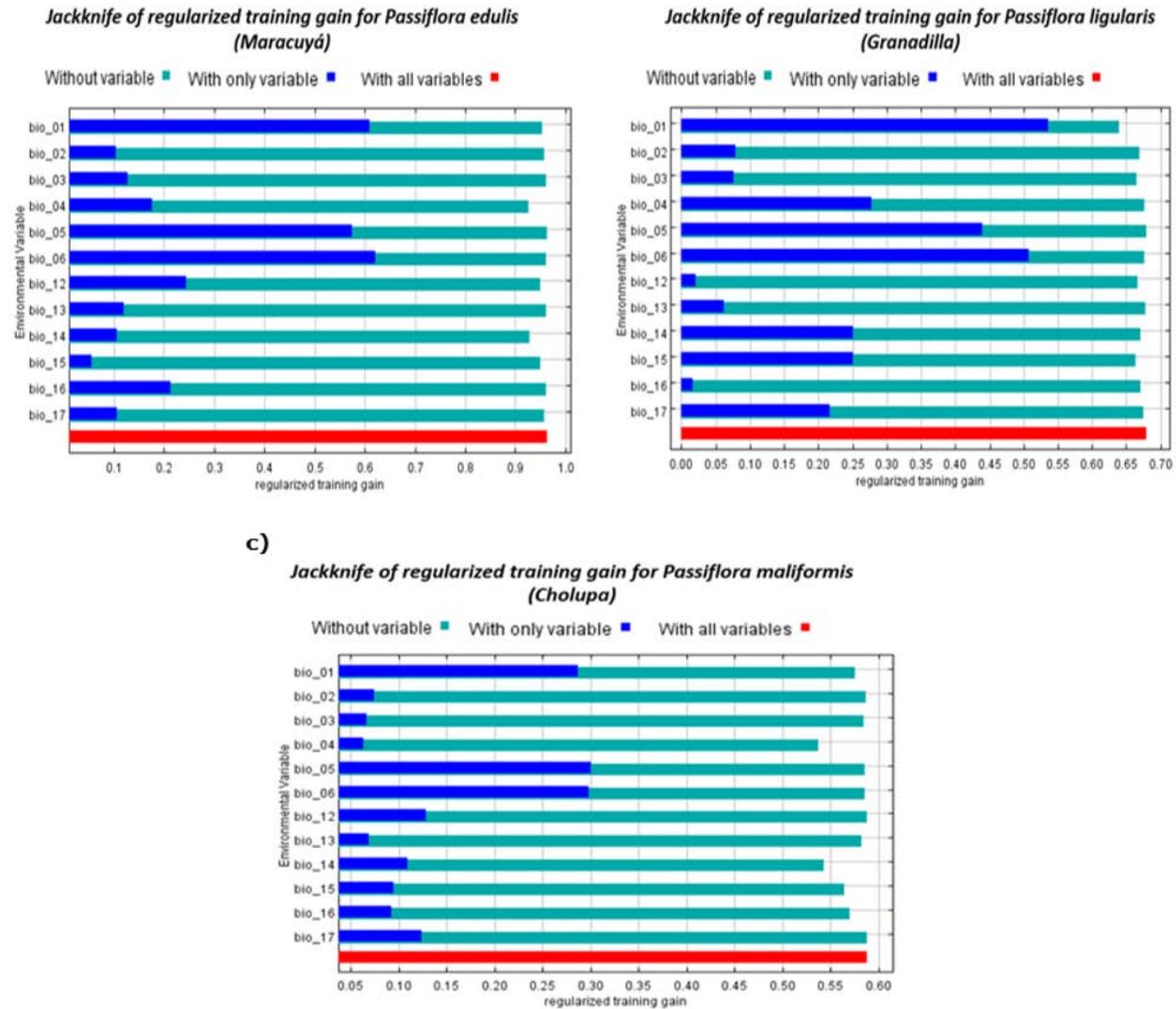


Figura 5. Test de Jackknife de la importancia de cada variable en el período actual (10 réplicas) para a) maracuyá, b) granadilla y c) cholupa.

Fuente: autores.

Tabla 2. Desempeño del modelo MaxEnt en la distribución de maracuyá, granadilla y cholupa, a partir de dos escenarios diferentes de RCP (4.5 y 8.5) en dos períodos futuros (2050 y 2070).

Especie	Período	RCP	AUC promedio	AUC promedio desviación estándar
Maracuyá	2050	RCP 4.5	0.850	0.034
		RCP 8.5	0.855	0.033
	2070	RCP 4.5	0.852	0.035
		RCP 8.5	0.855	0.042
Granadilla	2050	RCP 4.5	0.815	0.024
		RCP 8.5	0.818	0.019
	2070	RCP 4.5	0.817	0.016
		RCP 8.5	0.815	0.042
Cholupa	2050	RCP 4.5	0.814	0.044
		RCP 8.5	0.821	0.059
	2070	RCP 4.5	0.798	0.049
		RCP 8.5	0.745	0.085

Fuente: autores



3.2 Modelación de escenarios actuales y futuros con MaxEnt

La distribución potencial en los escenarios actuales y futuros de las potenciales áreas cultivables de maracuyá, granadilla y cholupa en la cuenca alta del río Magdalena se realizó considerando las salidas de la modelación con MaxEnt, con el apoyo del software ArcGIS 10.2. La estimación de pérdida de áreas de ocurrencia se hizo comparando el escenario actual y los escenarios moderado (RCP 4.5) y pesimista (RCP 8.5) para las 3 especies analizadas.

Para el caso del cultivo de maracuyá (Fig. 6), los pronósticos del modelo revelan una pérdida de las áreas de ocurrencia (mayor en la parte baja de la cuenca), especialmente en las regiones comprendidas entre los 400 y 1.100 m. s. n. m., donde el porcentaje de ocurrencia esperado de la especie es bajo. Por otro lado, los resultados revelan áreas con mayor porcentaje de ocurrencia (> 60 %) de la especie en la parte alta de la cuenca en los escenarios futuros, donde se espera una redistribución geográfica de la especie en zonas con altitudes comprendidas entre 1.100 y 1.600 m. s. n. m. Los resultados revelan que para el período 2070, en el escenario pesimista (RCP 8.5), se pronostican las mayores pérdidas en las áreas de ocurrencia con valores superiores al 23 % (Tabla 3), mientras que en el escenario moderado (RCP 4.5) se podrían presentar pérdidas en las áreas de ocurrencia con valores máximos del 6.3 % y mínimos del 4.95 %. Estos resultados se han observado previamente en ambientes similares (Bezerra et al, 2019; Giannini et al., 2013), donde se evidencia una disminución en las áreas de ocurrencia de la especie y de sus polinizadores debido al cambio climático. Así mismo, a partir de los resultados obtenidos, se observa una redistribución de la especie a zonas potenciales de mayor altitud, principalmente debidas al aumento en la temperatura, disminución en la precipitación

(menor disponibilidad de agua) y nuevas características fisicoquímicas del suelo. En estas nuevas zonas de redistribución será necesario la implementación de nuevas prácticas agronómicas, debido a los posibles cambios en la fisiología de la especie (Ocampo et al., 2013).

Con relación al cultivo de granadilla (Fig. 7, Tabla 3), los resultados obtenidos indican pérdidas en las áreas de ocurrencia ligeramente mayores a las pronosticadas en el cultivo de maracuyá. La redistribución geográfica de las áreas potenciales para el cultivo presenta un porcentaje mayor de ocurrencia (>70 %) en zonas con altitudes comprendidas entre 1300 y 2300 m. s. n. m., coincidiendo con lo reportado previamente por Osorio et al. (2020). Así mismo, los resultados revelan que las pérdidas esperadas en las áreas de ocurrencia para el período 2070 son del orden de 4.95 % para el escenario moderado (RCP 4.5) y cercanas al 25 % en el escenario pesimista (RCP 8.5).

Los resultados obtenidos para el cultivo de cholupa revelan la mayor pérdida en las áreas de ocurrencia pronosticadas por MaxEnt, en comparación con las demás especies analizadas (Fig. 8, Tabla 3). El mayor porcentaje de pérdida en las áreas de ocurrencia se pronostica para las zonas con altitudes bajas comprendidas entre 400 y 1000 m. s. n. m. Los pronósticos muestran que las mayores pérdidas en las áreas de ocurrencia en el escenario pesimista (RCP 8.5) son superiores al 31% para el período 2070, mientras que las menores pérdidas se pronostican en el escenario moderado (RCP 4.5) para el período 2050 con pérdidas del orden del 6 % en las áreas de ocurrencia. Sin embargo, la información existente sobre la especie es limitada, siendo en la mayoría de los casos extrapolada de información proveniente del cultivo de maracuyá (Ocampo et al., 2015).

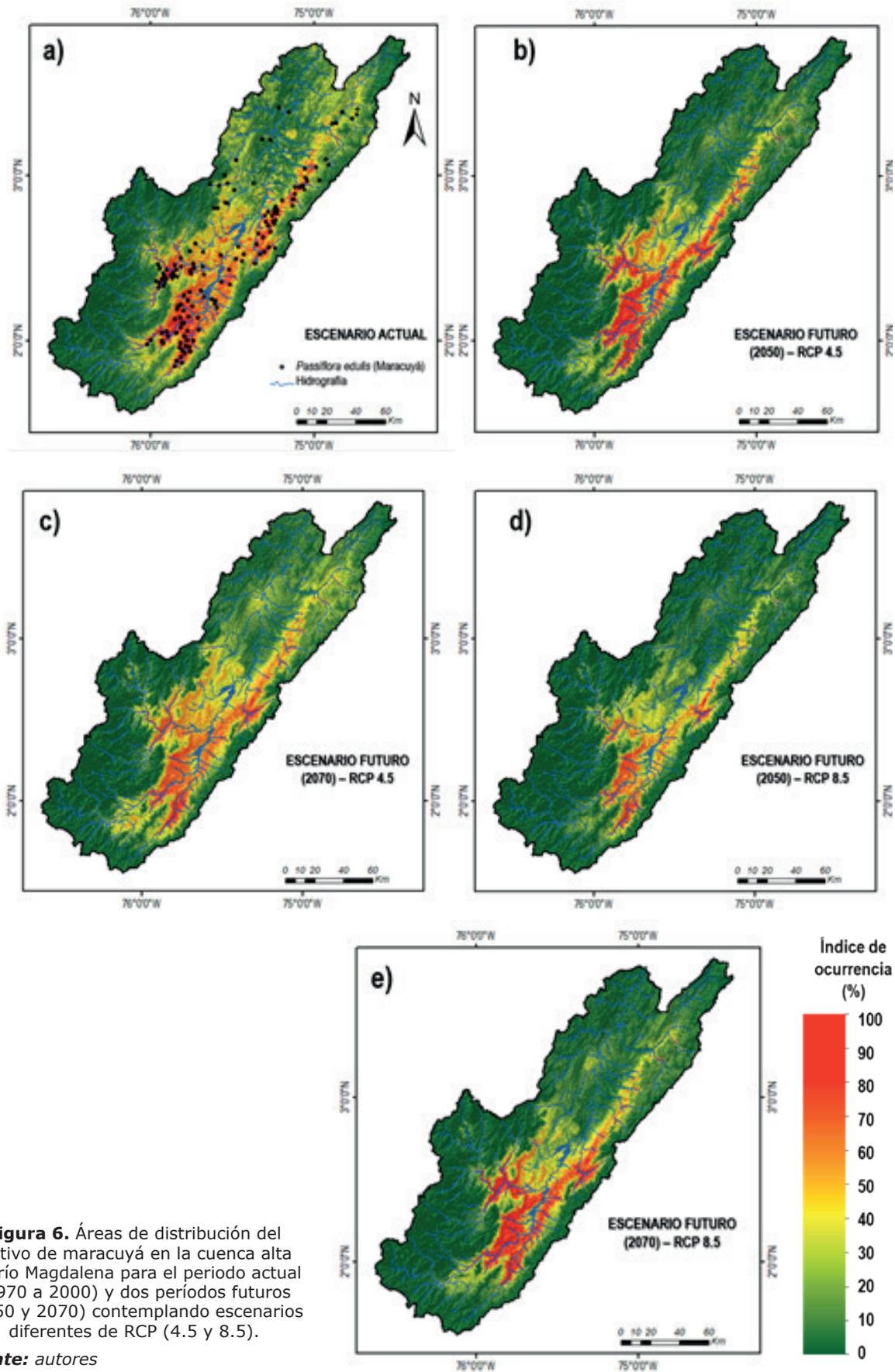


Figura 6. Áreas de distribución del cultivo de maracuyá en la cuenca alta del río Magdalena para el periodo actual (1970 a 2000) y dos periodos futuros (2050 y 2070) contemplando escenarios diferentes de RCP (4.5 y 8.5).

Fuente: autores

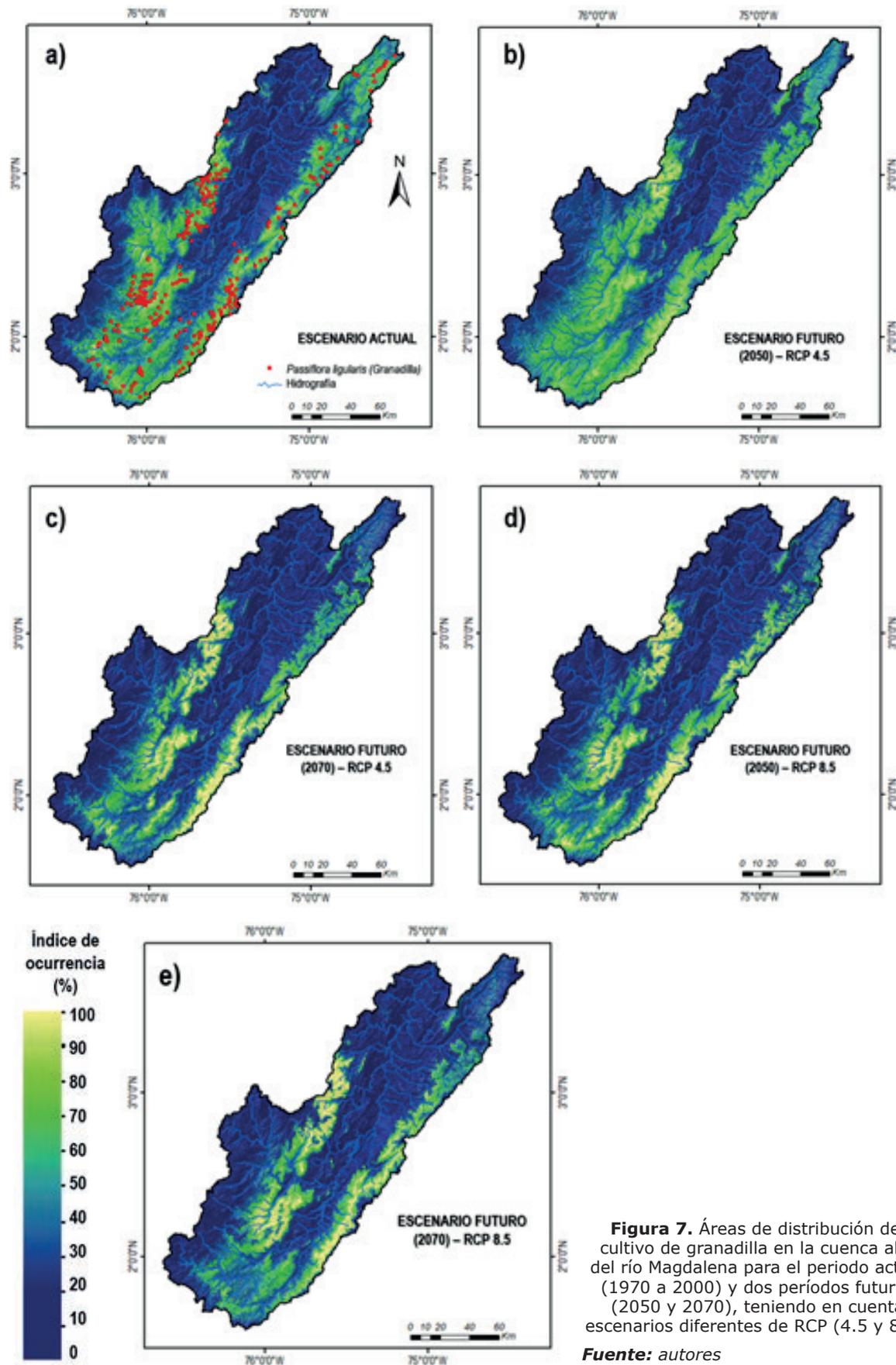


Figura 7. Áreas de distribución del cultivo de granadilla en la cuenca alta del río Magdalena para el periodo actual (1970 a 2000) y dos periodos futuros (2050 y 2070), teniendo en cuenta escenarios diferentes de RCP (4.5 y 8.5).

Fuente: autores

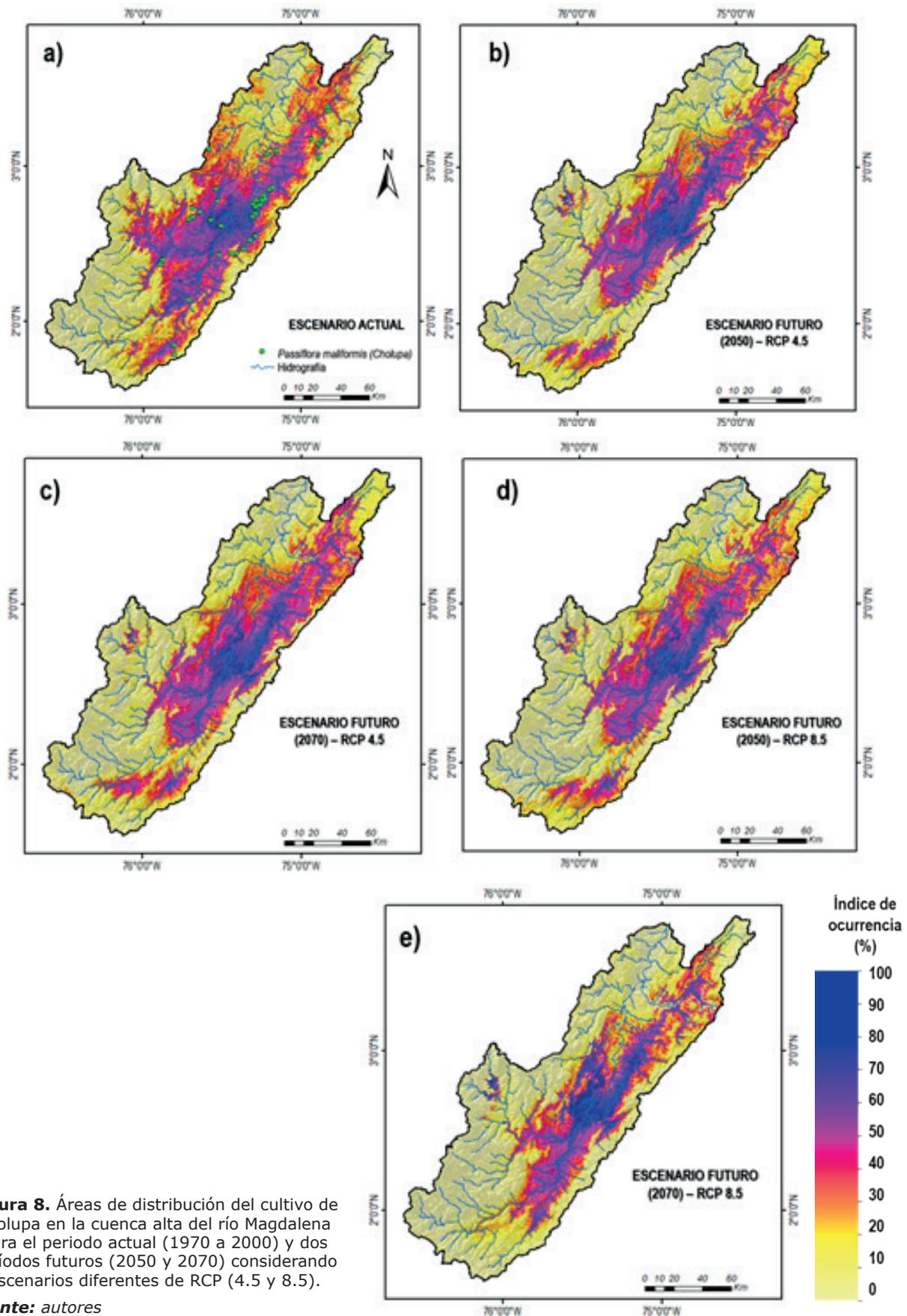


Figura 8. Áreas de distribución del cultivo de cholupa en la cuenca alta del río Magdalena para el periodo actual (1970 a 2000) y dos periodos futuros (2050 y 2070) considerando escenarios diferentes de RCP (4.5 y 8.5).

Fuente: autores



En la siguiente tabla se presenta el resumen de los pronósticos del modelo MaxEnt con la estimación de las áreas de ocurrencia potencial, pérdidas de áreas estimadas en el escenario actual y pérdidas

de área estimadas en futuros escenarios (RCP 4.5, 2050;2070 y RCP 8.5, 2050;2070) para los cultivos de maracuyá, granadilla y cholupa en la cuenca alta del río Magdalena.

Tabla 3. Áreas de ocurrencia potencial y pérdidas de áreas en el escenario actual y los futuros escenarios (RCP 4.5, 2050;2070 y RCP 8.5, 2050;2070) para los cultivos de maracuyá, granadilla y cholupa en la cuenca alta del río Magdalena.

Especie	Escenario	Áreas de ocurrencia potencial (ha)	Potencial Pérdida de área (ha)	(%)
Maracuyá	Actual Vs RCP 4.5 (2050)	64.242,00	3.182,00	4,95%
	Actual Vs RCP 4.5 (2070)	64.242,00	4.042,00	6,29%
	Actual Vs RCP 8.5 (2050)	64.242,00	4.902,00	7,63%
	Actual Vs RCP 8.5 (2070)	64.242,00	15.050,00	23,43%
Granadilla	Actual Vs RCP 4.5 (2050)	52.116,00	1.548,00	2,97%
	Actual Vs RCP 4.5 (2070)	52.116,00	2.580,00	4,95%
	Actual Vs RCP 8.5 (2050)	52.116,00	3.956,00	7,59%
	Actual Vs RCP 8.5 (2070)	52.116,00	12.986,00	24,92%
Cholupa	Actual Vs RCP 4.5 (2050)	44.376,00	2.666,00	6,01%
	Actual Vs RCP 4.5 (2070)	44.376,00	5.246,00	11,82%
	Actual Vs RCP 8.5 (2050)	44.376,00	6.966,00	15,70%
	Actual Vs RCP 8.5 (2070)	44.376,00	13.846,00	31,20%

Fuente: autores

Las potenciales áreas de ocurrencia cultivables para las 3 especies analizadas sugieren que las especies pueden cambiar su actual área de ocurrencia hacia nuevas áreas, especialmente aquellas localizadas en la parte alta de la cuenca del río Magdalena. Las predicciones a partir del modelo MaxEnt indican que las pérdidas en las áreas de ocurrencia potencial tendrían un aumento gradual (2070 > 2050 > período actual), siendo mayores en el escenario pesimista (RCP 8.5) que en el moderado (RCP 4.5), como se ha encontrado en previos estudios Donoghue & Edwards, 2014; Petitpierre et al., 2016). La reducción en las áreas de ocurrencia de las especies analizadas podría generar que la polinización resulte afectada, así como la productividad de los cultivos y, por consiguiente, la economía de las regiones (Settele et al., 2016). Así mismo, los impactos del cambio climático en las áreas de ocurrencia pueden afectar directamente la fenología de algunas especies de plantas

y las interacciones planta-polinizador, que se volverían más vulnerables en paisajes modificados (Kjølhl, et al., 2011; Burkle et al., 2013; Vanbergen & the Insect Pollinators Initiative, 2013; Polce et al., 2014, Settele et al., 2016).

3.3 Capacidades del modelo MaxEnt y limitaciones

Los resultados obtenidos a partir del modelo MaxEnt, para la predicción de potenciales áreas cultivables de maracuyá, granadilla y cholupa en la cuenca alta del río Magdalena, muestran que el desempeño del modelo es satisfactorio para representar los patrones de distribución actual y potencial de las especies analizadas considerando escenarios de cambio climático. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados por gestores y diseñadores de políticas para la selección del tipo de estrategia que debería implementarse para enfrentar los desafíos del cambio climático.

Dentro de las limitaciones o incertezas en los resultados obtenidos pueden incluirse:

i. En la modelación con MaxEnt se utilizaron variables bioclimáticas (temperatura y precipitación) excluyendo factores abióticos (p.ej., tipo de suelo, hidrogeología, altitud), que pueden ser variables significativas para la distribución de especies (Zhang et al., 2018). Los factores abióticos no se consideraron debido a que la altitud es una variable proxy que podría generar correlaciones con las variables de temperatura y precipitación, las cuales son suficientes para determinar los límites espaciales de tolerancia climática de las especies

(Kogo et al., 2019; Sun et al., 2013; Woodward, 1987).

ii. Baja resolución espacial de los datos bioclimáticos derivados de la plataforma *Worldclim* con relación a la cuenca alta del río Magdalena, lo que podría afectar el desempeño del modelo MaxEnt (Kumar, 2012).

iii. Los patrones de distribución actual y potencial derivados de Maxent para las 3 especies analizadas se obtuvieron mediante la extrapolación del modelo, es decir, el modelo MaxEnt se utilizó para hacer predicciones a partir de las variables bioclimáticas que pueden superar el rango de los registros utilizados para calibrar el modelo. 

CONCLUSIONES

Este estudio consistió en la predicción de potenciales áreas cultivables de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), y cholupa (*Passiflora maliformis* L.), en una región tropical a través del modelo MaxEnt, considerando escenarios de cambio climático. Los resultados revelan que las áreas de ocurrencia potencial para las especies estudiadas disminuirían gradualmente en el futuro, teniendo en cuenta los escenarios climáticos (RCP 4.5 y RCP 8.5) para los períodos 2050 y 2070. Las mayores reducciones en las áreas de ocurrencia potencial se presentarían en el período 2070 para el escenario pesimista (RCP 8.5), con reducciones superiores al 23% para el cultivo de maracuyá, 25% para el cultivo de granadilla y superiores al 31% para el cultivo de cholupa. Los potenciales impactos del

cambio climático podrían afectar la fisiología de las especies analizadas siendo necesario de la implementación de nuevas prácticas agronómicas.

Este es el primer estudio que contempla el pronóstico de áreas potencialmente cultivables utilizando el modelo Maxent y escenarios de cambio climático en escala regional en una región tropical, contribuyendo a un mejor entendimiento de los patrones de distribución de pasifloras cultivables y de los potenciales impactos del cambio climático. El marco metodológico propuesto puede proveer importantes herramientas para la gestión y aprovechamiento sostenible de los cultivos de maracuyá, granadilla y cholupa en regiones tropicales para enfrentar los desafíos del cambio climático. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. Segundo autor: análisis de datos, revisión, discusión de resultados y edición. Tercer autor: adquisición de recursos, administrador del proyecto, supervisión, conceptualización, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación [Minciencias]

y al Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología y la Innovación "Francisco José de Caldas" por financiar la estancia postdoctoral de A. M. Munar desarrollada en la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia [CEPASS]. Este estudio se deriva de la investigación postdoctoral: "Potenciales impactos del cambio climático en la dinámica hidrológica y en los patrones de distribución de Passifloras en la cuenca alta del río Magdalena, utilizando modelación hidrológica/modelación de distribución de especies, dados in-situ,



técnicas de percepción remota y proyecciones de cambio climático AR5 – IPCC” aprobada por Minciencias en la Convocatoria 848/2019.

LITERATURA CITADA

Araújo, M. H., Silva, I. C., Oliveira, P. F., Barreto, A. R. R., Konno, T. U. P., Esteves, F. A., Barth, T., Aguiar, F., Lopes, N., Dermenjian, R. K., Guimarães, D. O., Leal, I. C. R., Lasunskiaia, E. B. & Muzitano, M. F. (2017). Biological activities and phytochemical profile of *Passiflora mucronata* from the Brazilian Restinga. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 27(6), 702-710. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2017.07.005>

Bartomeus, I., Park, M. G., Gibbs, J., Danforth, B. N., Lakso, A. N. & Winfree, R. (2013). Biodiversity ensures plant-pollinator phenological synchrony against climate change. *Ecology Letters*, 16(11), 1331-1338. <https://doi.org/10.1111/ele.12170>

Bejarano, P. A. D. y Ibarra, F. D. M. M. (2018). Impacto de la variabilidad climática y de los sistemas agrarios en el cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) de Oxapampa, Pasco, Perú. *Biotempo*, 15(1), 41-48.

Bezerra, A. D. M., Pacheco, A. J., Bomfim, I. G. A., Smagghe, G. & Freitas, B. M. (2019). Agricultural area losses and pollinator mismatch due to climate changes endanger passion fruit production in the Neotropics. *Agricultural systems*, 169, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.12.002>

Burkle, L. A., Marlin, J. C. & Knight, T. M. (2013). Plant-Pollinator Interactions over 120 years: Loss of species, Co-Occurrence, and Function. *Science*, 339(6127), 1611-1615. <https://doi.org/10.1126/science.1232728>

Collevatti, R. G., Nabout, J. C. & Diniz-Filho, J. A. F. (2011). Range shift and loss of genetic diversity under climate change in *Caryocar brasiliense*, a Neotropical tree species. *Tree Genetics & Genomes*, 7(6), 1237-1247. <https://doi.org/10.1007/s11295-011-0409-z>

Collevatti R. G., Lima-Ribeiro M. S., Terribile L. C., Guedes L. B. S., Rosa F. F. & Telles M. P. C. (2014). Recovering species demographic

history from multi-model inference: the case of a Neotropical savanna tree species. *BMC Evolutionary Biology* 14(213). <https://doi.org/10.1186/s12862-014-0213-0>

Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C. D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., Connor, F. O., Rae, J., Senior, C., Sitch, C., Toterdel, I., Wiltshire, A. & Woodward, S. (2011). Development and evaluation of an Earth-System model-HadGEM2. *Geoscientific Model Development*, 4(4), 1051-1075. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>

Donoghue, M. J. & Edwards, E. J. (2014). Biome Shifts and Niche Evolution in Plants. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 547-572. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091905>

Elias, M. A. S., Borges, F. J. A., Bergamini, L. L., Franceschinelli, E. V. & Sujii, E. R. (2017). Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.026>

Espíndola, A., Pellissier, L., Maiorano, L., Hordijk, W., Guisan, A. & Alvarez, N. (2012). Predicting present and future intra-specific genetic structure through niche hindcasting across 24 millennia. *Ecology Letters*, 15(7), 649-657. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01779.x>

Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodríguez, E., Roth Ladislav., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D. & Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2). <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>

Fernandes, F. F., Esposito, M. P., Gonçalves, M. R., Cardoso-Gustavson, P., Furlan, C. M., Hoshika, Y., Carrari, E., Magni, G., Domingos, M. & Paoletti, E. (2019). The passion fruit liana (*Passiflora edulis* Sims, *Passifloraceae*) is tolerant to ozone. *Science of The Total Environment*, 656, 1091-1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.101>

org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.425

Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Fischer, G., Casierra-Posada, F. y Piedrahíta, W. (2009). Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. En D. Miranda, G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra-Posada, W. Piedrahíta, L. E. Flórez (Eds.). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba* (pp. 45-67). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.

Fischer, G. & Miranda, D. (2021). Review on the ecophysiology of important Andean fruits: Passiflora L. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(2), 9471-9481. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.91828>

Giannini, T. C., Acosta, A. L., Silva, C. I., Alves, P. E., Imperatriz-Fonseca, V. L. & Saraiva, A. M. (2013). Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. *Agriculture, ecosystems & environment*, 171, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.003>

Gobernación del Huila. (2020). *Evaluación Agropecuaria del Huila 2019*. <https://www.huila.gov.co/agricultura-y-mineria/>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013a). *Climate Change 2013: the physical basis*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013b). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

Khubaib, N., Asad, S. A., Khalil, T., Baig, A., Atif, S., Umar, M., Kropp, J., Pradhan, P. & Baig, S. (2021). Predicting areas suitable for wheat and maize cultivation under

future climate change scenarios in Pakistan. *Climate Research*, 83, 15-25. <https://doi.org/10.3354/cr01631>

Kjøhl, M., Nielsen, A. & Stenseth, N. C. (2011). *Potential effects of climate change on crop pollination*. <http://www.fao.org/3/i2242e/i2242e00.pdf>

Kogo, B. K., Kumar, L., Koech, R. & Kariyawasam, C. S. (2019). Modelling Climate Suitability for Rainfed Maize Cultivation in Kenya Using a Maximum Entropy (MaxENT) Approach. *Agronomy*, 9(11), 727. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110727>

Kumar, P. (2012). Assessment of impact of climate change on Rhododendrons in Sikkim Himalayas using Maxent modelling: limitations and challenges. *Biodiversity and Conservation*, 21(5), 1251-1266. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0279-1>

Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Racines, C., Zelaya, C., Martínez-Valle, A. & Jarvis, A. (2017). Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change*, 141(1), 47-62. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>

Loaiza, I. D. y Mesa, N. (2019). Evaluación de déficit hídrico en variantes somaclonales de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Deneger), usando mediciones morfométricas. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(31), 56-60. <https://www.revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/182/171>

Lobell, D.B., Schlenker, W. & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Cadena de pasifloras 2018*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2018-09-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Melgarejo, L. M. *Granadilla (Passiflora ligularis* Juss): *Caracterización ecofisiológica del cultivo*. Universidad Nacional de Colombia



- Merow, C., Smith, M. J. & Silander, J. A. (2013), A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Montero, M. U. y Laiton, R. (2016). *Zonificación Ambiental para un Sistema Agroforestal en la Producción de maracuyá (Passiflora edulis Sims) y cholupa (Passiflora maliformis L.) en dos zonas del departamento de Huila, Colombia: escala 1:100.000* [Tesis de pregrado, Universidad distrital]. Repositorio institucional. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3312/MonteroAcostaManuelUlisesyLaitonHerreraRicardo2016.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Moratelli, R., De Andreazzi, C. S., De Oliveira, J. A. & Cordeiro, J. L. P. (2011). Current and potential distribution of *Myotis simus* (Chiroptera, Vespertilionidae). *Mammalia*, 75(3), 227-234. <https://doi.org/10.1515/MAMM.2011.028>
- Moya, W., Jacome, G. & Yoo, C. (2017). Past, current, and future trends of red spiny lobster based on PCA with MaxEnt model in Galapagos Islands, Ecuador. *Ecology and Evolution*, 7(13), 4881-4890. <https://doi.org/10.1002/ece3.3054>
- Nichetoolbox (2016). Welcome to NicheToolBox. <http://shiny.conabio.gob.mx:3838/nichetoolb2/>
- Nix, H. A. (1986). A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. En R. Longmore. (Ed.). *Atlas of Elapid Snakes of Australia* (pp. 4- 15). Australian Government Publishing Service.
- Ocampo, J., Coppens, G., Restrepo, M., Jarvis, A., Salazar, M. & Caetano, C. (2007). Diversity of Colombian Passifloraceae: biogeography and an updated list for conservation. *Biota Colombiana*, 8(1), 1-45. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49180101>
- Ocampo, J. (2013). Diversity and Distribution of Passifloraceae in the Department of Huila in Colombia. *Acta biológica colombiana*, 18(3), 511-516.
- Ocampo, J., Urrea, R., Salazar, M., Hernández, J. & Posada, P. (2013). *Avances de investigación en el cultivo de maracuyá (Passiflora edulis f. flavicarpa Degener)*. En C. Carranza y J. Ocampo. (Eds.). *Congreso Latinoamericano de Pasifloras* (pp. 36-44). Corporación Cepass.
- Ocampo, J. A., Rodríguez, A., Puentes, A., Molano, Z. y Parra, M. (2015). *El cultivo de la Cholupa (Passiflora maliformis L.): Una alternativa para la fruticultura colombiana*. Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia.
- Osorio, J. A., Martínez, E. P., Clímaco, J., Aguirre, J. E., Vergara, J. A., Luque, N. Y., Rojas, E. D. y Cruz, G. N. (2020). *Caracterización sanitaria de los cultivos de granadilla, gulupa y maracuyá en Colombia, con especial referencia a la secadera causada por Fusarium solani f. sp. passiflorae*. *Agrosavia*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7403381>
- Peterson, A. T., Papes, M. & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213(1), 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>
- Pareek, A., Dhankher, O. P. & Foyer, C. H. (2020). Mitigating the impact of climate change on plant productivity and ecosystem sustainability. *Journal of Experimental Botany*, 71(2), 451-456. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz518>
- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengard, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., García, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S ... & Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332). <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Petitpierre, B., McDougall, K., Seipel, T., Broennimann, O., Guisan, A. & Kueffer, C. (2016). Will climate change increase the risk of plant invasions into mountains? *Ecological*

Applications, 26(2), 530-544. <https://doi.org/10.1890/14-1871>

Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E. & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887-893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>

Polce, C., Garratt, M. P., Termansen, M., Ramirez-Villegas, J., Challinor, A. J., Lappage, M. G., Boatman, N. D., Crowe, A., Endalew, A., Potts, S. G., Somerwill, K. E. & Biesmeijer, J. C. (2014). Climate-driven spatial mismatches between British orchards and their pollinators: increased risks of pollination deficits. *Global change biology*, 20(9), 2815-2828. <https://doi.org/10.1111/gcb.12577>

Restrepo, J. D. & Syvitski, J. P. M. (2006). Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean River: the Magdalena drainage basin, Colombia. *Ambio*, 35(2), 65-74. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35\[65:ATEONC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35[65:ATEONC]2.0.CO;2)

Remya, K., Ramachandran, A. & Jayakumar, S. (2015). Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. *Ecological engineering*, 82, 184-188. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.053>

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H. & Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268-3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>

Scanes, C. G. (2018). Human activity and habitat loss: destruction, fragmentation,

and degradation. En C. G. Scanes y S. R. Toukhsati. (Eds.). *Animals and human society* (pp. 451-482). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805247-1.00026-5>

Scherer, C. C. (2014). *Conservação filogenética de nicho climático para espécies do gênero Passiflora L. (Passifloraceae) com ocorrência no Brasil* [Tesis de maestría, Universidad Federal de Paraná]. Biblioteca digital: Teses & Dissertações. <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36262/R%20-%20D%20-%20CAROLINA%20COELHO%20SCHERER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Settele, J., Bishop, J. & Potts, S. G. (2016). Climate change impacts on pollination. *Nature Plants*, 2(16092), 1-3. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.92>

Sharma, S., Arunachalam, K., Bhavsar, D. & Kala, R. (2018). Modeling habitat suitability of *Perilla frutescens* with MaxEnt in Uttarakhand—A conservation approach. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 10, 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.02.003>

Shukla, P. K., Baradevanal, G., Rajan, S. & Fatima, T. (2020). MaxEnt prediction for potential risk of mango wilt caused by *Ceratocystis fimbriata* Ellis and Halst under different climate change scenarios in India. *Journal of Plant Pathology*, 102, 765-773. <https://doi.org/10.1007/s42161-020-00502-9>

Stockwell, D. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13(2), 143-158. <https://doi.org/10.1080/136588199241391>

Su, P., Zhang, A., Wang, R., Wang, J., Gao, Y. & Liu, F. (2021). Prediction of Future Natural Suitable Areas for Rice under Representative Concentration Pathways (RCPs). *Sustainability*, 13(3), 1580. <https://doi.org/10.3390/su13031580>

Sun, J., Cheng, G. W. & Li, W. P. (2013). Meta-analysis of relationships between environmental factors and above ground



- biomass in the alpine grassland on the Tibetan Plateau. *Biogeosciences*, 10, 1707–1715. <https://doi.org/10.5194/bg-10-1707-2013>
- Sutherst, R. W. & Maywald, G. F. (1985). A computerised system for matching climates in ecology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 13(3-4), 281-299. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(85\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0167-8809(85)90016-7)
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293. <https://doi.org/10.1126/science.3287615>
- Thuiller, W., Brotons, L., Araújo, M. B. & Lavorel, S. (2004). Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions. *Ecography*, 27, 165-172. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03673.x>
- United States Agency for International Development. (2014). *The US market for passion fruit*. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00KP21.pdf
- United States Geological Survey. (2005). *Shuttle Radar Topography Mission*. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm>
- Vanbergen, A. J., & the Insect Pollinators Initiative. (2013). Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 251-259. <https://doi.org/10.1890/120126>
- Yi, Y., Cheng, X., Yang, Z. & Zhang, S. (2016). Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. riparia* Lour) in Yunnan, China. *Ecological Engineering*, 92, 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010>
- Yuan, H., Wei, Y., & Wang, X. (2015). Maxent modeling for predicting the potential distribution of Sanghuang, an important group of medicinal fungi in China. *Fungal Ecology*, 17, 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.06.001>
- Wei, B., Wang, R., Hou, K., Wang, X., & Wu, W. (2018). Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China. *Global Ecology and Conservation*, 16, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477>
- Werneck, F. P., Costa, G. C., Colli, G. R., Prado, D. E., & Sites J. W. (2011). Revisiting the historical distribution of Seasonally Dry Tropical Forests: new insights based on palaeodistribution modelling and palynological evidence. *Global Ecology and Biogeography*, 20(2), 272-288. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00596.x>
- Wohlmuth, H., Penman, K. G., Pearson, T., & Lehmann, R. P. (2010). Pharmacognosy and chemotypes of passionflower (*Passiflora incarnata* L.). *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 33(6), 1015-1018. <https://doi.org/10.1248/bpb.33.1015>
- Woodward, F. I. (1987). *Climate & Plant Distribution*. Cambridge University Press.
- Zhang, X., Li, G., & Du, S. (2018). Simulating the potential distribution of *Elaeagnus angustifolia* L. based on climatic constraints in China. *Ecological Engineering*, 113, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.009>

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.



ASPECTOS DE LA FISIOLÓGÍA Y EL CULTIVO DEL LULO (*Solanum quitoense* LAM.) EN COLOMBIA: UNA REVISIÓN

PHYSIOLOGY AND CROP ASPECTS OF *Solanum quitoense*
LAM. (LULO) IN COLOMBIA: A REVIEW

Marilcen Jaime-Guerrero • marilcen.jaime@uptc.edu.co

Ingeniera Agrónoma, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

Javier G. Álvarez-Herrera • javier.alvarez@uptc.edu.co

Ingeniero Agrícola, M. Sc. Ph. D., Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

Gerhard Fischer • gfischer@unal.edu.co

Ingeniero Hortícola, M. Sc. Ph. D., Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

Citación: Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J., Fischer, G. (2022). Aspectos de la fisiología y el cultivo del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia: Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 131 – 148. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4641>

RESUMEN

131

Contextualización: el lulo es un fruto promisorio de alta demanda en los mercados, debido a sus excelentes propiedades organolépticas, además de ser fuente importante de vitaminas y minerales.

Vacío de conocimiento: en los últimos diez años se han desarrollado múltiples investigaciones sobre la ecofisiología de la planta de lulo, sin que exista una revisión de literatura de este.

Propósito del estudio: recopilar aspectos generales del cultivo, incluyendo los principales requerimientos agronómicos y aspectos ecofisiológicos para una producción sustentable.

Metodología: la investigación se basó en una revisión metódica y ordenada de los estudios más relevantes publicados en diferentes bases de datos.

Resultados y conclusiones: el cultivo de lulo se cultiva entre los 1.900 y 2.200 msnm en Colombia, con temperaturas de 15 a 24 °C. Requiere entre 1.500 a 2.500

mm de precipitación al año. Se asemeja a una planta de días cortos, que exhibe su mejor desarrollo en sitios sombreados con humedades relativas cercanas al 80 %. El método más eficiente de polinización es el realizado por abejorros (*Bombus terrestris* y *Bombus* sp.) por medio de vibraciones. La fotosíntesis neta del cultivo de lulo varía de 5,52 a 34,03 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a los 398 y 460 días después de trasplante; mientras que la eficiencia máxima del fotosistema II (F_v/F_m) en el cultivo oscila entre 0,55 y 0,65, para plantas sin y con aplicación de nitrógeno foliar.

Los valores de clorofila (a, b y total) para plantas de lulo son mayores en plantas en etapa de trasplante que en producción, debido a la reducida área fotosintética. Las concentraciones de nitrógeno mayores a 110 mg L^{-1} generan mejor rendimiento y mayor área foliar. La planta de lulo comienza la producción entre los ocho y 12 meses después de ser trasplantada y produce rendimientos promedio de 8,5 t ha^{-1} . El desarrollo y crecimiento de los frutos de lulo tiene un comportamiento que se ajusta a un modelo

logístico sigmoide simple. Los frutos de lulo en la cosecha pueden llegar a alcanzar hasta 209 g con una firmeza de 58 N y valores de 13.6 °Brix y 56,2, 10,8 y 46,8 para los parámetros de color luminosidad (L*), cromaticidad a* y cromaticidad b*, respectivamente. 

Palabras clave: crecimiento; calidad; fruto tropical; ecofisiología; solanácea; poda

ABSTRACT

Contextualization: lulo is a promising fruit of high demand in the markets due to its excellent organoleptic properties, as well as an important source of vitamins and minerals.

Knowledge gap: in the last ten years, multiple investigations have been carried out about the ecophysiology of the lulo plant, without a previous literature review of this.

Purpose: collect general aspects of the lulo crop, including the main agronomic requirements and ecophysiological aspects for sustainable production.

Methodology: the research was based on a methodical and orderly review of the most relevant studies published in different databases.

Results and conclusions: lulo plants grows between 1,900 and 2,200 m. a. s. l. in Colombia with temperatures of 15 to 24 °C. It requires between 1,500 to 2,500 mm of precipitation per year. It appears like a short-day plant, which exhibits its best development in shady places with relative humidity close to 80 %. The most efficient pollination method is carried out by bumblebees (*Bombus terrestris*

and *Bombus* sp.) through vibrations. The net photosynthesis of the lulo plants varies from 5.52 to 34.03 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at 398 and 460 days after transplanting, while the maximum efficiency of photosystem II (FV/Fm) in the lulo crop oscillates between 0.55 and 0.65 for plants without and with foliar nitrogen application.

The values of a, b, and total chlorophyll, for lulo plants, are higher in plants in the transplant stage than in production, due to the reduced photosynthetic area. High concentrations of nitrogen (N) (greater than 110 mg L⁻¹) lead to better yield and a larger leaf area. The lulo plant begins its production between eight and 12 months after being transplanted and average yields of 8.5 t ha⁻¹ have been reported. The development and growth of lulo fruits have a simple sigmoid logistic model. The lulo fruits in harvest time can reach up to 209 g, with firmness of 58 N and values of 13,6 °Brix and 56.2, 10.8 and 46.8 for the luminosity (L*), chroma a* and chroma b* color parameters, respectively. 

Keywords: growth; quality; tropical fruit; ecophysiology; solanaceous; pruning



RESUMEN GRÁFICO

Las plantas de lulo crecen entre los 1.900 y 2.200 msnm en Colombia y llegan a producción a los ocho o doce meses. Los frutos de lulo son una fuente importante de vitaminas y minerales; tienen un crecimiento sigmoide simple y maduros alcanzan hasta 209 g con una firmeza de 58 N y valores de 13,6 °Brix.



Dejar 4 o 5 tallos y 40 racimos de flores aumenta la producción de las plantas de lulo.

Foto: G. Fischer (original)



Los frutos de lulo tienen un crecimiento sigmoide simple y maduros alcanzan hasta 209 g.

Foto: G. Fischer (original)

1. INTRODUCCIÓN

El lulo pertenece a la familia *Solanaceae*, género *Solanum*, es un cultivo tropical que se puede sembrar como cultivo transitorio y además es considerado un cultivo promisorio, originario de los Andes, es ampliamente cultivado en Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica y Honduras (Andrade-Cuvi et al., 2016; Silva et al., 2016). Es un fruto que posee alta demanda tanto en los mercados nacionales como internacionales dadas sus características y propiedades nutricionales (Ramírez, 2021). Así mismo, tiene una gran importancia económica debido a que el cultivo genera alrededor de 2,94 empleos por hectárea en el sector rural (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2014).

En Colombia, el área sembrada para el año 2019 fue de 7751 ha, con un rendimiento de 9,92 t ha⁻¹ y una producción de 76 896 t. Los principales departamentos que concentran la mayor área cosechada son Huila, Valle del Cauca, Antioquia, Cauca, Nariño y Boyacá con una participación del 24 %, 13 %, 8,3 %, 8,2 %, 6,4 % y 6,2 %, respectivamente (Agronet, 2021).

En cuanto al departamento de Boyacá, este ha disminuido la producción de 6540 t en el 2017 a 5090 t para el 2019, así como también el rendimiento promedio, ya que para el 2017 fue de 12,05 t ha⁻¹ y para el 2019 de 10,51 t ha⁻¹ con una variación del 12,7 % (Agronet, 2021).

El cultivo de lulo ha mostrado una amplia adaptación a diferentes altitudes, y en Colombia se encuentra desde los 1600 y hasta los 3000 msnm, su desarrollo óptimo se da entre los 1900 y los 2200 msnm (Fischer et al., 2021). Hasta el momento se han identificado comercialmente entre 11 y 13 variedades diferentes de lulo, de las cuales ocho se encuentran en Colombia, y las más cultivadas son las llamadas regionales 'Lulo de Castilla' y en menor área el híbrido interespecífico 'La Selva' (Ligarreto, 2012).

Se pueden encontrar dos variedades botánicas del fruto: *Solanum quitoense* var. *septentrionale* (con espinas, adaptado a sotobosque) y *Solanum quitoense* var. *quitoense* (material sin espinas adaptado a mayor exposición solar) (Ardila et al., 2015). También se encuentra una variedad con

espinas de tamaño intermedio que se cultiva en Chipaque, Cundinamarca, Colombia (Ramírez, 2021). Los frutos del lulo se caracterizan por tener excelentes propiedades organolépticas y además son fuente importante de vitaminas y minerales (Gallo et al., 2018). Estos se pueden consumir de muchas formas, ya sea en fresco o en conservados como: jugos, jaleas, salsas, mermeladas, tortas, helados, yogur y como ingrediente de ensaladas de frutas (Ramírez & Davenport, 2020). También en bebidas carbonatadas (Gaona-Gonzaga et al., 2019).

El comportamiento fisiológico y la calidad de los frutos depende tanto de las condiciones ambientales como de la variedad (Ramírez, 2021). Por lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo recopilar aspectos generales del cultivo de lulo, incluyendo los principales requerimientos agronómicos para una producción sustentable, debido a que el lulo es uno de los frutos que actualmente Colombia está llevando al mercado internacional y se requiere actualizar el conocimiento sobre el cultivo, para que esté disponible a productores y académicos con el fin de que se puedan aumentar los volúmenes de exportación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se basó en una revisión metódica y ordenada de los estudios más relevantes sobre aspectos de la fisiología de las plantas de lulo, manejo del cultivo y poscosecha del fruto publicados en diferentes bases de datos. Esta revisión incluye bibliografía actualizada y pertinente sobre la fisiología del cultivo de lulo. Surge como una necesidad de actualización del conocimiento, pues en los últimos 10 años se han desarrollado múltiples investigaciones sobre la ecofisiología del cultivo y aspectos fisiológicos de la planta de lulo.

Son importantes para el desarrollo del país los estudios sobre este cultivo, pues las áreas sembradas han disminuido de forma considerable, así como su demanda debido a la excesiva aplicación de agroquímicos, lo que genera menores ingresos en los agricultores (Salazar-González & Betancourth-García, 2017). Del mismo modo, se necesitan estudios sobre el lulo, ya que las últimas revisiones sobre el cultivo no se encuentran plasmadas en artículos científicos que aborden el tema

de la presente revisión. Por eso se espera que este artículo sirva de referencia para las futuras investigaciones en los países de producción del cultivo, con el fin de que logre un alto factor de impacto científico y una repercusión amplia en la comunidad rural.

Fuentes de información

La búsqueda de artículos se realizó en diferentes bases de datos electrónicas (Dialnet, EBSCO, Scielo, Science Direct, Springer link, Redalyc, Web of Science), tomando como referencia la ventana de tiempo desde el año 2010 hasta el 2021. No obstante, de los temas sobre los que no se encontraron publicaciones en este periodo de tiempo, se tomaron las bibliografías más relevantes en estas bases de datos con fechas anteriores al año 2010. Se utilizaron, como descriptores de búsqueda, las siguientes palabras clave: *Solanum quitoense* y lulo, con los que aparecían los registros de productos relacionados con el cultivo. Asimismo, se consultaron bases de datos institucionales (Agronet, Agrosavia, Asohofrucol, Cámara de Comercio de Bogotá, Icontec, SIPSA) para obtener información relacionada con temas socioeconómicos de la producción del cultivo de lulo.

Criterios de inclusión

La búsqueda se delimitó a los temas específicos de fisiología de las plantas de lulo, manejo del cultivo y poscosecha del fruto. Se excluyó toda la literatura relacionada con genética, fitomejoramiento y extensión rural inherentes a la producción de lulo, debido a que son temas muy amplios que desbordarían la extensión del documento y afectarían la finalidad central del artículo. Además de otras búsquedas en la web, se descartó literatura con bajo nivel de impacto y no se tuvo en cuenta información de periódicos, boletines, páginas comerciales de internet y resúmenes de congresos. A pesar de que no se recomienda la inclusión de trabajos de grados, se consideró importante la inclusión de cinco tesis de pregrado, pues contenían información que no se encontraba en artículos científicos y trataban algunos temas actuales, pertinentes y novedosos.

De la búsqueda inicial (773 registros) se excluyó el 75 %, debido a la antigüedad de la información, baja calidad y temas abordados



superficialmente. Los artículos pre-elegibles fueron 194, de los cuales 106 se excluyeron por que se encontraban repetidos o con información repetida. De los 88 artículos restantes, 18 fueron excluidos por abordar temáticas relacionadas con lulo, pero que no hacían parte del tema de fisiología y poscosecha, para finalmente centrar la revisión con base en 70 documentos (Figura 1).

Variables estudiadas

Las variables utilizadas para extraer información de cada uno de los trabajos

seleccionados fueron: revista y año de publicación, número de citas (mínimo dos, excepto para artículos de 2021), metodología empleada (tratamientos utilizados y variables de respuesta, medidas acordes a los temas tratados), temática específica para incluir en la revisión (botánica, ecofisiología, nutrición, poda, propagación, fotosíntesis, transpiración, inducción floral, polinización, desarrollo, madurez y cosecha de los frutos) y tipo de publicación (artículos científicos, libros, capítulo de libro, tesis, con proceso de revisión por pares).

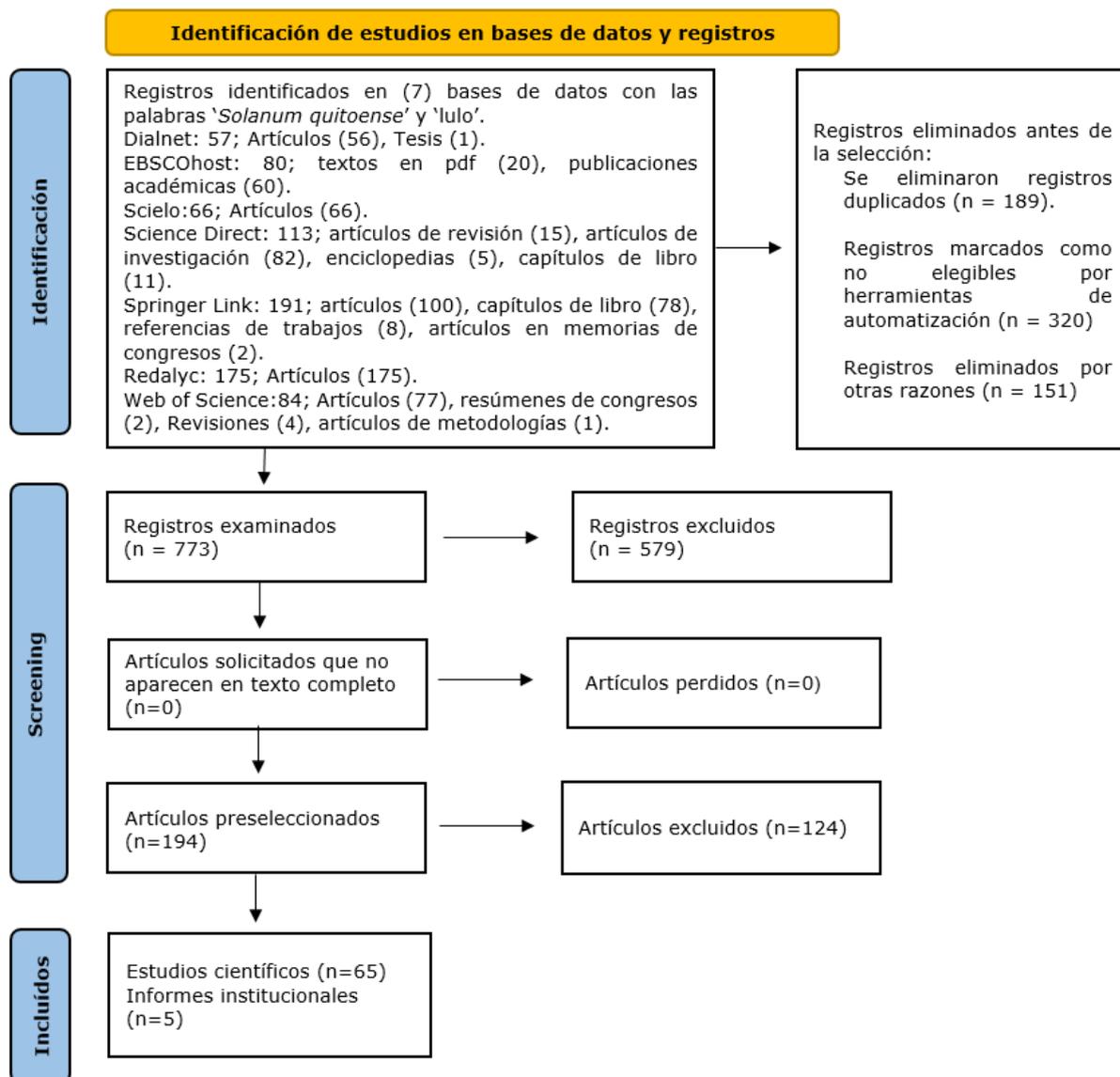


Figura 1. Análisis de la revisión de literatura realizada.

Fuente: autores

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Botánica

El lulo o naranjilla pertenece a la familia *Solanaceae*, genero *Solanum*, la cual se considera uno de los grupos más grandes de angiospermas (Ramírez et al., 2018). Se le conoce comúnmente como lulo, naranjilla, tomate chileno o toronja (Lim, 2013), y comprende entre 11 y 13 especies, de las cuales ocho se encuentran en Colombia (Ligarreto, 2012).

Las plantas de lulo alcanzan una altura de 2 m a 2,5 m (Ramírez et al., 2018), y presentan un sistema radicular pivotante, raíces secundarias laterales que pueden penetrar en el suelo hasta los 50 cm (Gómez-Merino et al., 2014). Además, presenta tallos robustos, semileñosos, con ramas laterales cilíndricas. Las hojas tienen una longitud de 0,45 m y un ancho de 0,35 m, son ovaladas de color verde oscuro con venas visibles de color morado o verde en el haz y tonalidades moradas en el envés (Ardila et al., 2015). Algunas variedades pueden desarrollar o no espinas, como la variante *quitoense*, la cual no tiene espinas y es sembrada en el Sur de Colombia, Ecuador y Perú (Bernal y Franco, 2017; Ramírez, 2021).

El lulo presenta numerosos tricomas en las hojas, tallos, yemas y cáliz de la flor. Las flores son blancas de 4 a 5 cm de ancho, agrupadas en corimbos (Bonnet & Cárdenas, 2012). Los corimbos se encuentran en inflorescencias, con flores estaminadas y hermafroditas las cuales se encuentran en diferentes posiciones dentro de las inflorescencias (Ramírez et al., 2018). Sus flores son de color blanco con cinco sépalos y cinco pétalos, y en una misma inflorescencia se pueden apreciar tres tipos de flores: pistilo corto, medio y largo (Ovalle, 2020).

El fruto es una baya globosa con diámetros aproximados de 5 a 8 cm, el color de la corteza varía según el estado de madurez de este, de amarillo a naranja, y presenta vellosidades. La pulpa es de color verde oscuro (Silva et al., 2016) y tiene entre 400 a 800 semillas (González-Loaiza et al., 2014). Existe una relación estrecha entre el peso, la masa del fruto y la masa de la semilla; por lo tanto, es importante una buena polinización para la

obtención de frutos de buen tamaño (Ovalle, 2020).

Según la escala *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie* (BBCH) para lulo, reportada por Ramírez & Davenport (2020), el cultivo de lulo puede dividirse en ocho estados fenológicos, los cuales son: germinación de semillas (0 a 5 semanas), desarrollo de hojas, formación de brotes laterales (6 a 26 semanas), emergencia de inflorescencias, floración (27 a 33 semanas), desarrollo de fruto, maduración de fruto (34 a 58 semanas) y senescencia de la planta (a los 2 años aproximadamente sin podas de renovación). Cabe resaltar que el cultivo de lulo, una vez alcanza el pico de producción de la primera cosecha, entra en un receso para luego reiniciar la fase reproductiva, la cual dura nuevamente entre 10 y 11 meses.

Ecofisiología

Las condiciones ecofisiológicas son uno de los principales factores para el éxito de cualquier cultivo, ya que pueden afectar procesos como la transpiración, fotosíntesis y la producción en general. La fenología del lulo está influenciada por factores ambientales como la temperatura, altitud y precipitación (Ramírez et al., 2018). El lulo se cultiva entre los 1600 y 2400 msnm con un óptimo de 1800 msnm (Paull & Duarte, 2012; Fischer et al., 2021), no obstante, en los Andes de Ecuador crece en regiones con buena humedad y zonas sombreadas entre los 800 y 1400 msnm (Andrade-Cuvi et al., 2016). En altitudes superiores a los 2.450 msnm la planta de lulo sintetiza más antocianinas en sus hojas, tallos y flores, y los pigmentos como el caroteno y el luteno se incrementan en los cloroplastos como sustancias protectoras contra la luz ultravioleta (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012).

La temperatura es uno de los factores más limitantes que influye en el crecimiento y rendimiento en árboles frutales. El lulo crece bien en climas fríos moderados, en un rango de temperatura que debe oscilar entre 15 y 24 °C (Paull & Duarte, 2012). Como temperatura base (mínima) para la aparición de nudos en los tallos del lulo se encontraron, según Pulido et al. (2008),



los 9,6 °C; mientras que Cruz et al. (2007) registraron la acumulación de unidades térmicas por encima de los 8 °C como el umbral de crecimiento para *S. quitoense* f. *septentrionale*. Debe tenerse en cuenta que la variedad *S. quitoense* var. *quitoense* prefiere altitudes entre 1600 y 2000 msnm, y la var. *septentrionale* entre 1900 y 2500 msnm (Bonnet & Cárdenas, 2012). Por lo que la primera variedad (sin espinas) está mejor adaptada a temperaturas más altas. Por otro lado, las plantas solanáceas de clima frío moderado y de clima frío (como el lulo y la uchuva, respectivamente) se desarrollan más rápido en un clima de mayor temperatura porque así la edad fisiológica de la planta aumenta, conllevando a cosechas más tempranas y mayores que en un clima más frío. Sin embargo, la longevidad del cultivo disminuye (Fischer et al., 2007).

El lulo se asemeja a una planta de días cortos, que exhibe su mejor desarrollo en sitios sombreados con humedades

encontrado un desarrollo del fruto más rápido en condiciones europeas de día largo (Messinger & Lauerer, 2015). Requiere suelos con una profundidad efectiva de 50 a 75 cm (Ardila, 2015), con alta retención de humedad y buen drenaje (Medina et al., 2009); además, estos deben tener tamaños de partícula dominantes franco-arenosa a arcillosa y pH de 5,5 a 6,5, con pendientes menores al 40 % (Morillo et al., 2019). El lulo, al comportarse mejor bajo sombrío, es una planta que puede presentar modificaciones en la capacidad fotosintética cuando se encuentra a libre exposición, ya que, si la intensidad lumínica aumenta, el exceso de radiación solar puede causar fotoinhibición (Sogamoso, 2020). Según Cruz et al. (2007), las tasas de crecimiento para hojas y tallos son en promedio de 6 y 54 mg por Grado Día Calor (GDC), respectivamente, y la tasa de producción de botones es de 0,037006 botones por cada GDC.

Una plantación de lulo tiene un requerimiento hídrico relativamente alto, entre 1800 y 3000 mm de lluvia bien distribuida durante el año, lo que corresponde a una lámina de agua de 4 a 6 mm día⁻¹ o a 4 a 6 L de agua, aproximadamente, por planta diariamente (Bonnet & Cárdenas, 2012). Esta cantidad de agua puede ser aportada por diferentes sistemas de riego, de los

cuales se recomienda emplear el sistema de riego por goteo (utilizando goteros de 4 L h⁻¹ y 2 goteros por planta), con el fin de evitar encharcamientos, facilitar la programación del riego y mantener los contenidos de humedad cercanos al punto de capacidad de campo. Al respecto, Sogamoso (2020) encontró que el potencial hídrico de las hojas es superior en las horas de la mañana y desciende hacia el medio día en todos los tratamientos evaluados, de tal forma que son las horas de medio día en las que hay máximo estrés y mayor transpiración de las hojas. Por otra parte, el viento es uno de los factores que más influye en los frutales, y para una óptima producción en el cultivo de lulo se deben tener vientos menores de 5 km hora⁻¹, debido a que cuando se superan estas velocidades se afectan procesos de carácter fisiológico y mecánico en la planta (Morillo et al., 2019).

Propagación

Se deben escoger plantas madre de óptima calidad y producción para tener buenas semillas y material vegetal. La propagación por semilla es ampliamente utilizada para la reproducción, ya que es el método más eficiente porque genera plantas con mayor desarrollo, anclaje y altura (Balaguera-López et al., 2020); no obstante, genera segregación genética, la cual causa bajas uniformidades fenotípicas. La desinfección de las semillas se puede realizar con productos orgánicos o productos químicos como el carboxin + captan 2 g kg⁻¹ de semilla (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Para la propagación por estacas o yemas, se deben tomar los brotes laterales que emergen en las axilas de las hojas de ramas de segundo año (chupones), y cortar los esquejes 1 o 2 cm por debajo o por encima de la yema para que tengan una longitud de 20 cm. En la siembra es recomendable la inmersión de los esquejes en hormonas que favorezcan el enraizamiento, como las auxinas; asimismo, los esquejes se deben mantener con sombra de 50 % a 75 % y riego frecuente (Bonnet & Cárdenas, 2012). Al respecto, Schneiders (2019) menciona que el uso de ácido indolbutírico (AIB) en dosis de 1 a 2 g L⁻¹ (durante 5 a 10 segundos) mejoró la tasa de supervivencia de las estacas y fomentó el enraizamiento.

Respecto a los sistemas de injerto, los sistemas más comunes son de púa terminal, de aproximación y de escudete (Ardila et al., 2015). Al respecto, Arizala et al. (2011) encontraron que los mejores injertos fueron los de púa de *Solanum hirtum* y *Solanum marginatum* con 92 % y 96 % de prendimiento. *S. hirtum* tuvo el mejor comportamiento en cuanto a las variables altura de planta, número de ramas, número promedio de frutos y rendimiento, en comparación con el testigo *S. quitoense* y *S. marginatum*. No obstante, Criollo-Escobar et al. (2020) señalan que el rendimiento no se vio afectado por la utilización de diferentes patrones de lulo. Además, Navarrete et al. (2018) demostraron que al utilizar *S. hirtum* como portainjerto, las plantas de lulo son resistentes a *Meloidogyne incognita*.

En la propagación *in vitro*, por su parte, se toman meristemos de los ápices de una planta para sembrarlos en un medio nutritivo que se requiere que las plantas obtenidas se encuentren libres de plagas y enfermedades (Bonnet & Cárdenas, 2012). Al respecto, Duarte-Hernández et al. (2014) observaron que la producción de biomasa fue más abundante a partir de explantes de tallo, en comparación con la de hojas y peciolo, cuando se aplicó una dosis 1 mg L⁻¹ de ácido naftalen acético (del mismo modo, afirman que la mayor proporción de compuestos volátiles se da en los primeros estados fisiológicos de los callos). Hay que anotar que los materiales híbridos, como el lulo 'La Selva', deben propagarse por estacas, hijuelos y cultivo de tejidos vegetales *in vitro* (Gómez-Merino, 2014).

Nutrición

La preparación del terreno se realiza dos meses antes de establecer el cultivo, aplicando cal en dosis de 250 a 300 g por planta (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015) y materia orgánica a 40 cm de profundidad en cantidades de 4000 a 5000 kg ha⁻¹, fraccionada en tres o cuatro aplicaciones durante el año. Cabe resaltar que la materia orgánica constituye un amortiguador de nutrientes en el suelo, mejora la estructura, incrementa la aireación y facilita el crecimiento de las raíces (Bonnet & Cárdenas, 2012). Así mismo, Bonnet & Cárdenas (2012) recomiendan la aplicación de 135, 86, 126, 9, 4, 4 y 5 g planta⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, Fe, Zn, B y S, respectivamente,

distribuidos a lo largo del año en seis aplicaciones cada dos meses. No obstante, Franco et al. (2002) manifiestan que se deben aplicar 50 g por planta de N, P y K (10, 30, 10, respectivamente), y 1 a 2 kg por planta al momento de la siembra, seguido de dos aplicaciones de 100 g por planta de N, P, K y Mg (13, 26, 10, 3, respectivamente), a los tres meses después del transplante (ddt) y previo a la floración.

Viera et al. (2021) reportan en cultivos sembrados en la amazonía ecuatoriana que la ausencia en la fertilización de N, P, K y Ca, disminuye la producción de frutos en las plantas de lulo en un 22 %, 21 %, 13,8 % y 7,9 %, respectivamente. Además, cuando se aplicaron todos los elementos nutritivos y también cal, los frutos de las plantas de lulo mostraron mayor contenido de azúcares y menor acidez (Vargas et al., 2020). Del mismo modo, Aguilera-Arango et al. (2019) indican que se debe aplicar boro en cantidades de 30 g por planta cada 6 meses, desde el inicio del cultivo. Medina et al. (2009) reportan que las concentraciones altas de N conducen a un rendimiento elevado y a una mayor área foliar en las plantas de lulo, mientras que el potasio está relacionado con el desarrollo del follaje. Así mismo, Vargas-Bolívar et al. (2009) encontraron que, al suprimir el Mg de la solución de nutritiva, la altura de las plantas de lulo presentó fuertes disminuciones.

Cabezas et al. (2002) y Angulo (2006) señalan que el lulo es muy susceptible a deficiencias en boro, magnesio y manganeso, y que el fósforo es el causante de retrasos en el crecimiento y maduración de los frutos ya que este elemento es considerado como responsable de malformaciones en las semillas. Por otro lado, Vargas-Bolívar et al. (2009) observaron que las plantas de lulo presentan una susceptibilidad importante a las carencias de Mn, Mo y Cu y sus síntomas de deficiencias son claramente visibles, del mismo modo, estos autores señalan que el azufre resulta importante en el lulo para la formación de la clorofila y para la generación de un sistema radicular vigoroso.

Gómez-Merino et al. (2014) encontraron que las compostas pueden ser usadas en la producción de plántulas de lulo, combinadas con turba, en proporciones no mayores a 60 % en el sustrato. Del mismo modo,



Ramírez-Builes y Naidu (2010) demostraron que la gallinaza fresca presentó mejores rendimientos que los abonos bocashi a partir de lombrinaza y pulpa de café, y que éstos últimos presentaron rendimientos similares a la fertilización química.

El cultivo de lulo responde muy bien a la fertilización foliar, en especial después del quinto mes de iniciar la plantación con aplicaciones cada 40 días. Las fertilizaciones se deben realizar por debajo de las hojas y se recomienda la adición de surfactante para permitir al fertilizante hacer contacto con la lámina foliar, ya que los tricomas de las hojas impiden la penetración del fertilizante (Medina et al., 2009). Al respecto, Flórez-Velasco et al. (2015) encontraron que las aplicaciones foliares de N en plantas de lulo sometidas a inundación disminuyen los efectos negativos del anegamiento, debido a que se incrementa la concentración de clorofila en las hojas, y también concluyeron que la aplicación de altos contenidos de nitrógeno (110 mg L⁻¹) se vio reflejada en un crecimiento más vigoroso de las plantas.

Poda

La poda consiste en la modificación de los ejes de crecimiento de la planta (Ardila, 2015), la cual se realiza con miras a mejorar la arquitectura y hacer más eficiente la captación de radiación solar y los procesos de fotosíntesis (Miranda, 2012). Casierra-Posada y Fischer (2012) mencionan que la poda se hace para orientar la actividad vegetativa de la planta hacia un fin, sea floración, fructificación, sombra, protección u ornamento. La ejecución de las podas implica el conocimiento, por parte de los operarios, del comportamiento fisiológico y la fenología de la planta para garantizar el éxito de la labor, evitando malformaciones en las plantas, el ingreso de patógenos y desórdenes fisiológicos (Ardila, 2015). Esta labor se debe realizar con frecuencia para obtener mayor penetración de aire y luz, y así evitar la propagación de plagas y enfermedades (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Tipos de podas

Poda de formación

Consiste en un despunte del tallo principal a una altura entre 15 y 20 cm de altura,

eliminando los rebrotes basales (Miranda, 2012). Se retiran todos los chupones hasta llegar a tener cuatro ramas de cada lado con una altura aproximada de 1,7 a 2,0 m (Bonnet & Cárdenas, 2012). Después de esta poda, el tallo principal debe quedar de 50 cm. La poda de formación se basa en la pérdida de la dominancia apical y es, quizás, una de las actividades más importantes para el cultivo de lulo, dado que determina el porte, tamaño y capacidad de producción (Ardila et al., 2015). De igual modo, al podar la planta y dejarla con 4 o 5 tallos y 40 racimos de flores se produce el rendimiento más alto de frutos: 53,8 y 53,9 t ha⁻¹, respectivamente. Lo que implica un mayor valor comercial de la producción, comparado con un menor número de tallos y racimos florales (Ardila et al., 2015).

Poda de renovación

Consiste en el corte de las ramas superiores carentes de frutos y que tengan más de 1,5 m. La planta solo queda con 2 a 4 ramas para que se desarrollen los nuevos brotes y así favorecer la producción en las ramas jóvenes. Esta poda se realiza principalmente al inicio del periodo de lluvias (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Poda de mantenimiento

Se podan las ramas excesivamente largas e improductivas, y las que están mal ubicadas en la planta (Miranda, 2012). Se eliminan todas las hojas que vayan en dirección al centro de la planta, las amarillas y las que tengan incidencia de ataques de insectos. Las hojas bajas se retiran cuando el fruto ya está formado e inicia el proceso de maduración. Así mismo, se deben retirar los pedúnculos que quedan en el racimo cuando este ya es cosechado (Bonnet & Cárdenas, 2012).

Poda sanitaria

Se realiza con el fin de eliminar las partes dañadas de la planta (flores, frutos y ramas). Los cortes deben realizarse por debajo de la zona de ataque y es recomendable utilizar un protectante (cicatrizante) cuando el corte tenga un diámetro mayor a 1 cm (Bonnet & Cárdenas, 2012). La poda sanitaria puede aumentar la producción en los frutales y es una práctica necesaria para mejorar la calidad

de los frutos, debido a la eliminación del exceso de yemas florales, lo cual incrementa el crecimiento de nuevos brotes con yemas y garantiza una mejor distribución de los fotoasimilados para el crecimiento de los frutos. Las plantas sin poda producen pocos frutos y de baja calidad (Ardila et al., 2015).

Fotosíntesis y Transpiración

La fotosíntesis es uno de los procesos más importantes para la fisiología de las plantas (Cardona et al., 2016). En este proceso, las hojas se consideran órganos especializados en interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA). Para el proceso de fotosíntesis es necesario el abastecimiento de agua por parte de los haces vasculares y la toma de CO₂ a través de las estomas (Ardila, 2015). La planta de lulo es considerada una planta con fotosíntesis tipo C₃, por lo cual suele presentar tasas de fotosíntesis bajas en comparación con otras plantas (como las C₄). Respecto a lo anterior, las hojas de muchas especies C₃ son incapaces de aprovechar luz adicional por encima de un flujo fotónico de 500 μmol m⁻² s⁻¹ (Ardila et al., 2015).

Cardona et al. (2016) encontraron diferencias significativas en la reducción de la biomasa seca total y de los órganos de la planta, cuando las plantas de lulo fueron sometidas a un sombrero del 65 %; lo que refleja la importancia de la luz en la producción de biomasa a través de la fotosíntesis y la posterior translocación de los fotoasimilados. Ardila (2015) observó que la fotosíntesis neta del cultivo de lulo varió de 5,52 a 34,03 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ a los 398 y 460 ddt, cuando se presentaron radiaciones fotosintéticamente activas alrededor de 350 y 900 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente. De igual forma, Medina et al. (2006) obtuvieron valores de fotosíntesis neta con promedios cercanos a los 8 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ durante los primeros 84 ddt. Al respecto, Flórez-Velasco et al. (2015) dicen que la eficiencia máxima del fotosistema II (Fv/Fm) en el cultivo de lulo oscila entre 0,55 y 0,65 para plantas sin y con aplicación de nitrógeno foliar, respectivamente; así mismo, afirman que (en condiciones de inundación) la eficiencia fotosintética del cultivo de lulo siempre estuvo por encima de 0,7. Por otro lado, Sánchez-Reinoso et al. (2019) encontraron que las plantas del lulo sufren más por estrés de

anegamiento que por el sombrero, registrando una reducción del contenido relativo de agua (CRA) en plantas anegadas de 6 y 9 días, con daños del fotosistema II a partir del tercer día de la aplicación de tratamientos. Además de la disminución del contenido de clorofilas.

Medina et al. (2006) encontraron que los valores de clorofila a, clorofila b y clorofila total para plantas de lulo son mayores en plantas en etapa de trasplante (4,24; 1,14 y 4,33 mg g⁻¹ de masa fresca, respectivamente) que en producción (1,66; 0,58 y 2,98 mg g⁻¹ de masa fresca, respectivamente), lo cual se atribuye a que las plantas en la fase de trasplante tienen una reducida área fotosintética con altas concentraciones de clorofila. Igualmente, Flórez-Velasco et al. (2015) obtuvieron valores de clorofila a, clorofila b y clorofila total de 2,2; 1,0 y 3,1 mg g⁻¹ de masa fresca, respectivamente, en plantas de lulo con aplicaciones de N foliar.

En cuanto a la transpiración, Medina et al. (2006) reportan que esta varió de 4,5 a 2 μmol de H₂O m⁻² s⁻¹, desde los 32 a los 252 ddt, y asocian este descenso a un cierre de estomas y a las variaciones climáticas presentadas en la etapa de producción. Además, afirman que esta alta transpiración está relacionada con altos valores de RFA y aumentos en la temperatura ambiental. Flórez-Velasco et al. (2015) reportan que la inundación redujo la transpiración en plantas de lulo en un 40 %, y las plantas que reciben altas cantidades de N foliar (110 mg L⁻¹ N) transpiran más que las plantas que reciben bajas aplicaciones (10 mg L⁻¹ N). También mencionan que la inundación redujo la conductancia estomática en un 27,3 % y encontraron que las plantas con alta aplicación de N foliar tuvieron mayor conductancia estomática (215 mmol m⁻² s⁻¹) que las que recibieron bajos niveles de N foliar (70 mmol m⁻² s⁻¹).

Floración

La inducción floral es un evento fisiológico que ocurre en las plantas y comienza con el desarrollo de brotes. La planta de lulo fructifica durante todo el año, lo que ocasiona la producción de brotes vegetativos, botones florales, flores y frutos de distintos tamaños al mismo tiempo (Gómez-Merino, 2014). De igual forma, puede generar más de 1.000 flores durante su vida y solo del 5% al 10%



llegan a producir frutos (Ramírez et al., 2018). La formación de botones florales se da a los 100 ddt, mientras que la duración del periodo de yema floral hasta antesis es de cinco semanas generalmente (Ramírez & Davenport, 2018). Así mismo, Messinger & Lauerer (2015) sostienen que el fotoperiodo afecta el desarrollo floral, ya que, en plantas cultivadas en días largos, el tiempo desde yema hasta cuajado fue menor.

Polinización

Ramírez et al. (2018) mencionan que los granos de polen varían en tamaño de 10 a 21 μm y que la polinización en el cultivo de lulo es realizada por el viento y algunos insectos como abejas (*Euglossa* spp. y *Eulaema* spp.) y abejorros (*Bombus* spp.) (Ramírez et al., 2018). La polinización cruzada es muy importante para la producción de frutos en plantas de lulo, ya que estos tendrán más semillas. Así mismo, en especies *Solanum*, la polinización se da por vibraciones (Almanza-Fandiño, 2007), ya que estas facilitan la liberación del grano de polen (Messinger et al., 2016).

Messinger et al. (2016) encontraron un impacto significativo en el cuajado del fruto de *S. quitoense*, aproximadamente del 85 %, con la polinización de abejorros (*Bombus terrestris*); en comparación con las flores polinizadas manualmente. Además, Messinger (2017) sugiere que se debe fomentar las visitas múltiples de *B. terrestris* con el fin de aumentar la eficiencia de la polinización. Del mismo modo, Guerrero (2019) observó que es mayor el número de flores que poseen estilo corto (71 %), en comparación a las flores de estilo largo (29 %), lo cual dificulta la polinización, ya que las flores de estilo largo poseen un porcentaje de cuajado que duplica a las flores de estilo corto (Ramírez et al., 2018).

Desarrollo, madurez y cosecha de los frutos

El desarrollo y crecimiento de los frutos de lulo sigue una tendencia de curva tipo sigmoide simple, determinado por tres importantes procesos: la división celular, el alargamiento celular y la maduración del fruto. Esta última fase caracterizada por un limitado aumento del tamaño (Fischer et

al., 2012). Respecto a lo anterior, Ochoa-Vargas et al. (2016) identificaron tres fases de crecimiento bien diferenciadas: primero, una de crecimiento lento, hasta 80 días después de antesis (dda); luego, una etapa de crecimiento rápido que termina a los 160 dda; y la fase de maduración, la cual finaliza con la cosecha, en la que ocurre un mínimo crecimiento. Esto es similar a lo reportado por Almanza-Merchán et al. (2016) con frutos de lulo de los ecotipos 'chonto grueso' y 'criollo'.

Con relación lo anterior, Mejía-Doria et al. (2014) reportan que la mayor actividad de la enzima polifenol oxidasa ocurre durante los estadios de maduración 1 y 5 del fruto, clasificados acorde a la NTC 1265 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2001). Esto puede estar originado por procesos de división celular, así como por el aumento de la intensidad respiratoria cuando el fruto se acerca al climaterio. El fruto en su madurez es característico por el color naranja (Guerrero, 2019) y un aroma dulce caracterizado por la concentración de ésteres de acetato y hexanoato, los cuales son compuestos volátiles que aumentan hasta seis veces durante el proceso de maduración (Corpas et al., 2018). Asimismo, se ha demostrado que el proceso de liofilización es el método que mejor conservó y retuvo los compuestos volátiles del lulo (Forero et al., 2015).

La planta de lulo comienza la producción entre los 8 y 12 meses después de ser trasplantada (Gómez-Merino et al., 2014). Se reportan rendimientos promedio de 8,5 t ha⁻¹ al aire libre (Ardila et al., 2015) y de hasta 14,3 t ha⁻¹ en materas bajo condiciones semicontroladas (Viera et al., 2021). El estado de madurez óptimo para la cosecha del fruto de lulo se alcanza en el momento en que la planta se encuentra en su estado reproductivo por completo, a las 34 semanas aproximadamente (Martínez-González et al., 2018). De forma similar, Criollo-Escobar et al. (2020) mencionan que las plantas de lulo alcanzan la apertura floral, antesis, llenado de fruto y madurez a los 561, 715, 801 y 2462 grados día, respectivamente. Del mismo modo, se recomienda realizar la cosecha de forma periódica para evitar la caída y pérdida de frutos, los cuales deben ser recolectados de acuerdo al color de la epidermis en estado

pintón (Bonnet & Cárdenas, 2012), cuando el fruto presente una coloración naranja de aproximadamente el 30 %, un diámetro que oscile entre 6 y 12 cm y una firmeza rígida, además de que el fruto no debe presentar daños por insectos o enfermedades (Ovalle, 2020).

Según Casierra-Posada et al. (2004), los factores que determinan una menor pérdida de masa en la poscosecha de frutos de lulo son: la relación área superficial/volumen, la naturaleza de la pared del fruto y el estado del fruto. En la variedad botánica *Quitoense*, la naturaleza y la composición de la pared del fruto inducen una mayor pérdida de agua por transpiración que en la variedad *Septentrionale*. Trujillo & Suárez (2010) observaron que el área superficial del fruto disminuyó de forma gradual, debido a la transpiración durante el almacenamiento, y varió de 37,21 a 16,80 cm². Al respecto, Forero et al. (2014) encontraron que el uso de la hoja de plátano, como empaque de los frutos de lulo, disminuyó la pérdida de masa en poscosecha y retrasó el cambio de coloración de verde a naranja.

Almanza-Merchán et al. (2016) determinaron la masa de los frutos de lulo en el momento de la cosecha, obteniendo valores de 80 y 73,3 g para los ecotipos 'chonto grueso' y 'criollo'; así mismo, estudios para la variedad 'Septentrionale' cultivada en San Antonio del Tequendama, encontraron valores de 209 g (Ochoa-Vargas et al., 2016), superiores a los 140 g para la variedad 'Lulo de Castilla' estudiada por Molano-Díaz et al. (2022). Del mismo modo, Lagos-Santander et al. (2019) registraron que los materiales de lulo B1 y B2 × B8 alcanzaron promedios de masa de frutos de 92,03 y 112,97 g, respectivamente, similar a los 114 y 111 g encontrados por Gonzalez-Loaiza et al. (2014). Así mismo, en Ecuador, Silva et al. (2016), al evaluar diferentes cruzamientos de lulo, encontraron masas promedio de frutos que oscilaron entre 108 y 134 g y una media de frutos cosechados por planta que varió de 22 a 36.

Por otra parte, la firmeza de los frutos de lulo presentó valores de 82,67 N a los 100 dda y al momento de la cosecha (110 dda), alcanzando así 58 N (Almanza-Merchán et al., 2016). Estos valores son similares a los

reportados por Ochoa-Vargas et al. (2016) de 114 N (80 dda) y 52 N en la cosecha, y a los 105 N observados por Molano-Díaz et al. (2022) para frutos recién recolectados. En cuanto al color, Acosta et al. (2009) midieron valores de 40, 7,8 y 40, mientras que Molano-Díaz et al. (2022) reportan 56,2 10,8 y 46,8 para los parámetros L*, a* y b*, respectivamente. Así mismo, Molano-Díaz et al. (2018) encontraron que al aplicar 1-MCP al momento de la cosecha, la intensidad respiratoria de los frutos de lulo disminuyó; por otra parte, Ochoa-Vargas et al. (2016) reportan valores promedio en la cosecha de 13,91 mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Morillo et al. (2019) evaluaron las propiedades fisicoquímicas del fruto de lulo y estimaron el contenido de sólidos solubles totales (SST), resultando en un promedio de 13,6 °Brix, superior a los 8,5 °Brix reportados por Igual et al. (2014). Al respecto, Ochoa-Vargas et al. (2016) mencionan que durante la maduración de los frutos aumentan los SST, mientras que la acidez total titulable (ATT) se incrementa solo al final de la maduración. Este aumento en los SST es atribuido a un incremento en la actividad de la sacarosa enzima fosfato sintasa (SPS), que es responsable de hidrolizar los gránulos de almidón (Martínez-González et al., 2018), así como también, del aumento en la actividad de la poligalacturonasa, pectinmetilesterasa y pectatoliasa (Rodríguez y Restrepo, 2011). Del mismo modo, Almanza-Merchán et al. (2016) encontraron que los frutos de lulo aumentaron los valores de ATT conforme el fruto iba madurando, al pasar de 1,04 % (70 dda) a 3,61 % (140 dda) para el ecotipo criollo, y de 0,4 % (70 dda) a 3,84 % (140 dda) para el ecotipo 'chonto grueso'; mientras que Ochoa-Vargas et al. (2016) y Arizala et al. (2011) midieron valores de ATT que alcanzaron 4,05 % y 3,2 % respectivamente, al momento de la cosecha en los frutos de lulo.

Morillo et al. (2019) determinaron los valores de pH para los lulos cultivados en Pachavita, los cuales oscilaron entre 2,4 y 3,5, con un promedio general de 3,3. Eso indica que los frutos colectados en el municipio de Pachavita (Boyacá-Colombia) en su gran mayoría son agridulces. Valores similares de pH han sido encontrados por González-Loaiza



et al. (2014) quienes reportan variaciones de 2,89 a 2,94 a medida que incrementa el grado de madurez. Además, Andrade-Cuvi et al. (2015) observaron que los frutos maduros tienen valores mayores de fenoles ($6,2 \text{ mg g}^{-1}$) que los frutos inmaduros, así como también mayor actividad antioxidante. El índice de madurez de los frutos de lulo pasó de $1,83 \pm 0,32$ (M1: verde entre 75 % y 100 %) a $2,26 \pm 0,26$ (M2: 50 % verde) y luego a $2,84 \pm 0,38$ (M3: entre 0 % y 15 % verde) para cada uno de los estados de madurez especificados. En estos estados ocurren los principales cambios en las características químicas que afectan algunas propiedades organolépticas (González-Loaiza et al., 2014).

Es necesario garantizar un buen manejo poscosecha que permita la conservación

de la calidad de los frutos obtenida en condiciones de campo, con el fin de disminuir las pérdidas durante el almacenamiento y comercialización, ya que estas son muy altas y llegan a alcanzar valores que oscilan entre 10 % y 30 % de la producción (Forero-Cabrera et al., 2017). Los frutos de lulo se clasifican como climatéricos, por lo tanto, una vez son separados de la planta continúan los procesos inherentes a la maduración en condiciones favorables durante la etapa posterior a la cosecha. Es por esto que las labores de recolección deben ser planeadas con anticipación y se deben tener en cuenta los requerimientos del mercado y los tiempos de transporte hacia los centros de mercadeo, distribución y comercialización (Martínez-González et al., 2018).

CONCLUSIONES

La propagación por semilla es la más utilizada en el cultivo de lulo, ya que presenta un mayor desarrollo, mayor anclaje y mayor altura de la planta, sin embargo, genera segregación genética, la cual origina una baja uniformidad fenotípica. La poda de plantas de lulo es una práctica necesaria para mejorar la calidad de los frutos en cultivos comerciales, en los cuales dejar 4 a 5 tallos y 40 racimos florales por planta genera las mejores cosechas. Es importante una buena polinización para la obtención de frutos de buen tamaño, por lo que se recomienda la polinización con abejorros por las vibraciones que éste produce.

El potencial hídrico en las plantas de lulo es superior en las horas de la mañana

y desciende al medio día. En altitudes por encima de los 2.450 msnm el cultivo de lulo sintetiza más antocianinas en sus hojas, tallos y flores. Las plantas requieren alta fertilización de nitrógeno y materia orgánica. El crecimiento de los frutos sigue una tendencia de curva tipo sigmoide simple. En la cosecha se pueden encontrar lulos que varían de 73 a 209 g de masa fresca, con firmezas promedio de 58 N y valores de 56,2, 10,8 y 46,8 para los parámetros de color L^* , a^* y b^* , respectivamente, valores que dependen de la variedad, las condiciones climáticas y del manejo del cultivo.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Marilcen Jaime-Guerrero: metodología, investigación, conceptualización, escritura borrador original.

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

Gerhard Fischer: investigación, conceptualización, escritura-revisión y edición.

LITERATURA CITADA

Acosta, O., Pérez, A. M. & Vaillant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 88-94.

Agronet (2021). Área cosechada, producción y rendimiento de lulo año 2017. https://www.agronet.gov.co/Documents/22-LULO_2017.pdf

- Aguilera-Arango, G. A., Bernal-Estrada, J. A., Franco, G., Tamayo-Vélez, A., Díaz-Montaño, J., Díaz-Díez, C. A., Saldarriaga-Cardona, A., Vásquez-Gallo, L. A. & Henao-Rojas, J. C. (2019). *Prácticas de manejo sostenible para el cultivo de lulo. Agrosavia*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35030>
- Almanza-Fandiño, M. T. (2007). *Management of Bombus atratus bumblebees to pollinate lulo (Solanum quitoense L.), a native fruit from the Andes of Colombia*. Cuvillier Verlag.
- Almanza-Merchán, P. J., Velandia, J. D. & Tovar, Y. P. (2016). Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo en dos variedades de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 222-231. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065>
- Andrade-Cuvi, M. J., Moreno-Guerrero, C., Guijarro-Fuertes, M. & Concellón, A. (2015). Caracterización de la naranjilla (*Solanum quitoense*) común en tres estados de madurez. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 215-221. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176010>
- Andrade-Cuvi, M. J., Moreno-Guerrero, C., Bravo-Vásquez, J., Guijarro-Fuertes, M., Monar-Bósquez, V., Cevallos-Navarrete, C. & Concellón, A. (2016). Efecto del estado de madurez sobre la calidad de tres variedades de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 217-230. <https://www.redalyc.org/journal/813/81349041008/html/>
- Angulo, R. (2006). *Lulo: el cultivo*. Biblioprinter Ltda.
- Ardila, G. (2015). *Efecto de la poda de formación y del número de tallos y racimos sobre la producción y calidad de frutos de lulo (Solanum quitoense var. septentrionale)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54818>
- Ardila, G., Fischer, G. & García, J. C. (2015). La poda de tallos y racimos florales afecta la producción de frutos de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 24-37. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3743>
- Arizala, M., Monsalvo, A., Betancourth, C., Salazar, C. & Lagos, T. (2011). Evaluación de solanáceas silvestres como patrones de lulo (*Solanum quitoense* Lam) y su reacción a *fusarium* sp. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 147-160.
- Balaguera-López, H. E., Fischer, G. & Magnitskiy, S. (2020). Seed-fruit relationships in fleshy fruit species: Role of hormones. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(1), 90-103. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10921>
- Bernal, J. & Franco, G. (Eds.). (2017). *El Cultivo de Lulo bajo la implementación de buenas prácticas agrícolas - BPA*. Secretaria de agricultura y desarrollo rural de Antioquia.
- Bonnet, J. & Cárdenas, J. (2012). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 600-626). Produmedios.
- Cabezas, M., Botía, T. & Medina, L.M. (2002). Determinación de síntomas de deficiencia inducida de nutrimentos en lulo (*Solanum quitoense* Lam.). En M. J. Giraldo y J. P. Higuera (Eds.), *IV Seminario Nacional de Frutales de Clima Frío Moderado*, (pp. 176-181). Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13648>
- Cámara de Comercio de Bogotá (2015). *Manual: lulo*. <https://docplayer.es/35498135-Lulo-programa-de-apoyo-agricola-y-agroindustrial-vicepresidencia-de-fortalecimiento-empresarial-camara-de-comercio-de-bogota.html>
- Cardona, W.A., Bautista-Montealegre L.G., Flórez-Velasco, N. & Fischer, G. (2016). Desarrollo de la biomasa y raíz en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) en respuesta al sombrío y anegamiento. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 53-65. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5124>
- Casierra-Posada, F. & Fischer, G. (2012). Poda de árboles frutales. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 169-185). Produmedios.



- Casierra-Posada, F. García, E. J. & Lüdders, P. (2004). Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. *quitoense* y *septentrionale*). *Agronomía Colombiana*, 22(1), 32-39. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17765/18591>
- Corpas, E. C., Taborda, G. & Tabasco, O. (2018). Identification of volatile compound markers during the ripening and senescent of lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 437-442. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2924-x>
- Criollo-Escobar, H., Moncayo-Palacios, M.F. & Lagos-Burbano, T.C. (2020). Phenology and growth of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) plants grafted onto *Solanum hirtum* Vahl. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(3), 291-300. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i3.11005>
- Cruz, P., Acosta, K., Cure, J. R. & Rodríguez, D. (2007). Desarrollo y fenología del cultivo de lulo *Solanum quitoense* var. *septentrionale* bajo polisombra desde siembra hasta primera fructificación. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 288-298.
- Duarte-Hernández, A. M., Núñez, K. M., Pacheco, J. C. & Martínez, J. J. (2014). Compuestos volátiles producidos in vitro por callos de *Solanum quitoense* Lam. (*Solanaceae*). *Revista Ciencia en Desarrollo*, 5(1), 49-54.
- Fischer, G., Balaguera-López, H. E. & Magnitskiy, S. (2021). Review on the ecophysiology of important andean fruits: Solanaceae. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1), 1-12. <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1701>
- Fischer, G., Ebert, G. & Lüdders, P. (2007). Production, seeds and carbohydrate contents of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81(1), 29-35.
- Fischer, G., Ramírez, F. & Almanza-Merchán, P.J. (2012). Inducción floral, floración y desarrollo del fruto. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp.120-140). Produmedios.
- Fischer, G. & Orduz-Rodríguez, J. O. (2012). Ecofisiología en frutales. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 54-72). Produmedios.
- Flórez-Velasco, N., Balaguera-López, H. E. & Restrepo-Díaz, H. (2015). Effects of foliar urea application on lulo (*Solanum quitoense* cv. *septentrionale*) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. *Scientia Horticulturae*, 186, 154-162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.021>
- Forero, D.P., Orrego, C.E., Peterson, D.G. & Osorio, C. (2015). Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. *Food Chemistry*, 169, 85-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.111>
- Forero, N. M., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J. H. & Meneses, M. (2014). Evaluación poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios*, 19(1), 73-85. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>
- Forero-Cabrera, N. M., Gutiérrez-Pacheco, S., Rivera-Acosta, J., Silva-Dimaté, A. F. & Sánchez-Sáenz, C. M. (2017). Banana leaf as packaging of lulo for different storage temperatures and the effects on postharvest characteristics. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 107-115. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n1.64135>
- Franco, G., Bernal, E. J., Giraldo, M. J., Tamayo, P. J., Castaño, O., Tamayo, A., Gallego, J. L., Botero, M. J., Rodríguez, J. E., Guevara, N. J., Morales, J. E., Londoño, M., Ríos, G., Rodríguez, J. L., Cardona, J. H., Zuleta, J., Castaño, J. & Ramírez, M. C. (2002). *El cultivo de lulo*. Corpoica.
- Gallo, Y., Toro, L. F., Jaramillo, H., Gutiérrez, P. A. & Marín, M. (2018). Identificación y caracterización molecular del genoma completo de tres virus en cultivos de lulo (*Solanum quitoense*) de Antioquia (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 281-292. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7692>

Gaona-Gonzaga, J., Montesdeoca-Espín, D., Brito-Grandes, B., Sotomayor-Correa, A. & Viera-Arroyo, W. (2019). Aprovechamiento de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) variedad INIAP Quitoense-2009 para la obtención de una bebida carbonatada. *Enfoque UTE*, 10(2), 107-114. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n2.425>

Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L., García-Albarado, J. C. & Cadeña-Íñiguez, J. (2014) Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (9), 1741-1753. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1061>

González, D. I., Ordóñez, L. E., Vanegas, P. & Vásquez, H. D. (2014). Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta Agronómica*, 63(1), 11-17.

Guerrero, O. R. (2019). *Establecimiento de un sistema productivo de lulo (Solanum quitoense Lam.) para la conservación de polinizadores en condiciones de Chámeza Casanare*. [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/158

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2001). *NTC 1265: Lulo*. <https://pdfcookie.com/documents/ntc-1265-lulo-nj26xx5mrw24>

Igual, M., Ramires, S., Mosquera, L. H. & Martínez-Navarrete, N. (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.003>

Lagos-Santander, L. K., Lagos-Burbano, T. C., Duarte-Alvarado, D. E., Criollo-Escobar, H. & Angulo-Ramos, N. F. (2019). Evaluación del rendimiento y calidad del fruto de parentales e híbridos de lulo de Castilla. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2), 1-9. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1344>

Ligarreto, G. A. (2012). Recursos

genéticos de especies frutícolas en Colombia. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 35-53). Produmedios.

Lim, T. K. (2013). *Edible medicinal and non-medicinal plants: Volume 6, fruits*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5628-1>

Martínez-González, A. P., Higuera-Mancipe, B. L. & Martínez-Peralta, S. T. (2018). The influence of lulo (*Solanum quitoense* Lam) fruit maturity stage on polygalacturonase and pectate lyase secretion by *Colletotrichum acutatum*. *Tropical Plant Pathology*, 43, 218-229. <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0209-6>

Medina, C. I., Lobo, M. & Martínez, E. (2009). Revisión del estado del conocimiento sobre la función productiva del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(2), 167-179. https://doi.org/10.21930/rcta.vol10_num2_art:139

Medina, C. I., Martínez, E., Lobo, M., López, J. C. & Riaño, N. M. (2006). Comportamiento bioquímico y del intercambio gaseoso del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente antioqueño colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, 59(1), 3123-3146.

Mejía-Doria, C. M., Gaviria-Arias, D., Bru-Martínez, R., Rengifo-Ramos, L., Alegría-Soto, A. H. & Aguilar-Fernández, E. (2014). Caracterización cinética de la enzima polifenol oxidasa en seis estadios de maduración en lulo (*Solanum quitoense* Lam.) var. Castilla. *Actualidades Biológicas*, 36(101), 107-117.

Messinger, J. (2017). *Potential of the lulo (Solanum quitoense) as new tropical fruit in Germany: Consumer acceptance and greenhouse cropping* [Tesis doctoral, Universidad de Bayreuth]. EPub Bayreuth. https://doi.org/10.15495/EPub_UBT_00004229

Messinger, J. & Lauerer, M. (2015). Solanum quitoense, a new greenhouse crop for Central Europe: Flowering and



- fruiting respond to photoperiod. *Scientia Horticulturae*, 183, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.015>
- Messinger, J., Martini, M. M. F., Rossi, G., Samuels, J. & Lauerer, M. (2016). Successful pollination of the Neotropical crop *Solanum quitoense* by *Bombus terrestris*: Behaviour, efficiency and yield. *Journal of Applied Entomology*, 140(1-2), 124-134. <https://doi.org/10.1111/jen.12237>
- Miranda, D. 2012. Establecimiento de huertos frutícolas. En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 99-119). Produmedios.
- Molano-Díaz, J. M., Reyes-Medina, A. J. & 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*, Artículo en evaluación.
- Morillo, A. C., Rodríguez, A. & Morillo, Y. (2019). Caracterización morfológica de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de Pachavita, Boyacá. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 291-298. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.75832>
- Navarrete, X., Ron, L., Viteri, P. & Viera, W. (2018). Parasitism of the root knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) chitwood in five wild Solanaceae species. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 71(1), 8367-8373. <http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v71n1.67122>
- Ochoa-Vargas, L. M., Balaguera-López, H. E., Ardila-Roa, G., Pinzón-Sandoval, E. H., & Álvarez-Herrera, J. G. (2016). Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 347-359. https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:512
- Ovalle, J. D. (2020). *El cultivo de lulo Solanum quitoense, como alternativa de producción agrícola en el municipio de La Belleza Santander* [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/184/
- Paull, R. E. & Duarte, O. (2012). *Tropical Fruits, Volume 2*. CAB International. <http://dx.doi.org/10.1079/9781845937898.0000>
- Pulido, S., Bojacá, C. R., Salazar-Gutiérrez, M. R. & Chaves, B. (2008). Node appearance model for Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the high altitude tropics. *Biosystems Engineering*, 101(4), 383-387. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.009>
- Ramírez, F. (2021). Notes about Lulo (*Solanum quitoense* Lam.): an important South American underutilized plant. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68, 93-100. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-01059-3>
- Ramírez-Builes, V. H. & Naidu, N. (2010). Respuesta del lulo La Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentados aeróbicos tipo bocashi y fertilizante químico. *Acta Agronómica*, 59(2), 155-161.
- Ramírez, F. & Davenport T. L. (2020). The development of lulo plants (*Solanum quitoense* Lam. var. *septentrionale*) characterized by BBCH and Landmark phenological scales. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 562-585. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1613470>
- Ramírez, F., Kallarackal, J. & Davenport, T. L. (2018). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 238, 163-176 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>
- Rodríguez, J. M. & Restrepo, L. P. (2011). Activity of pectic enzymes involved in the ripening process of lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Agronomía Colombiana*, 29(1), 63-71.
- Sánchez-Reinoso, A. D., Jiménez-Pulido, Y., Martínez-Pérez, J. P., Pinilla, C. S. & Fischer, G. (2019). Chlorophyll fluorescence and other physiological parameters as indicators of waterlogging and shadow stress in lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) seedlings. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(3), 325-335. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.10017>

Schneiders, H. B. (2019). *Enraizamiento e desenvolvimento de estacas e caracterização de frutos de Solanum quitoense Lam. (Solanaceae)* [Tesis de pregrado, Universidad Federal de la Frontera Sur]. Archivo digital. <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/3483/1/SCHNEIDERS.pdf>

Silva, W., Gómez, P., Viera, W., Sotomayor, A., Viteri, P. & Ron, L. (2016). Selección de líneas promisorias de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) para calidad de fruta. *Revista Científica Ecuatoriana*, 3(1). <https://doi.org/10.36331/revista.v3i1.21>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). *El cultivo del lulo (Solanum quitoense), una fruta agradable y de gran valor nutritivo*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_may_2014.pdf

Sogamoso, H. J. (2020). *Estudio preliminar de la respuesta fisiológica del lulo sin espinas (Solanum quitoense var. quitoense) expuesto*

a diferentes niveles de radiación durante la etapa vegetativa en la sabana de Bogotá [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <http://hdl.handle.net/10654/35950>

Trujillo, N. Y., Suárez A. J. (2010). Evaluation of the ripening process of the Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Castilla variety. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 8(1), 58-66.

Vargas-Bolívar, M. I., Calderón-Medellín, L. A. & Pérez-Trujillo, M. M. (2009). Efecto de las deficiencias de algunos nutrientes en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) en etapa de vivero. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1-2), 64-81. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2122>

Viera, W., Diaz, A., Caicedo, C., Suarez, A. & Vargas, Y. (2021). Key agronomic fertilization practices that influence yield of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) in the Ecuadorian amazon. *Agronomy*, 11,310. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020310>

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.



LAND-COVER CHANGE IN THE DEPARTMENT OF VICHADA, COLOMBIA, FROM 1985 TO 2017

CAMBIO DE USO DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL VICHADA,
COLOMBIA, DESDE 1985 A 2017

Juan J. Vitar-Mendoza • juan.vitar@unillanos.edu.co*

Biologist, SUSA investigation group, Department of Biology and Chemistry, Faculty of Basic Science and Engineering, University of the Llanos, Villavicencio, Colombia.

Karen X. Sandoval-Parra • Karen.sandoval@unillanos.edu.co,

MSc. Molecular, Cellular and Genetic Biology, SUSA investigation group, Department of Biology and Chemistry, Faculty of Basic Science and Engineering, University of the Llanos, Villavicencio, Colombia.

Martha L. Ortiz-Moreno • mlortiz@unillanos.edu.co

Doctor in Ecology and Natural Resources, Department of Biology and Chemistry, Faculty of Basic Science and Engineering, University of the Llanos, Villavicencio, Colombia.

*Corresponding author

Citación: Vitar-Mendoza, J., Sandoval-Parra, K., Ortiz-Moreno, M. (2022). Land-cover change in the department of Vichada, Colombia, from 1985 to 2017. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 149 - 174. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4630>

ABSTRACT

Contextualization: Colombia has experienced multiple land-cover changes derived from socio-economic policies that have reduced the high biodiversity of the country.

Knowledge gap: In the Orinoquía region, the pressure to expand the agricultural frontier is increasing, without considering the importance of its natural resources.

Purpose: This paper aimed to analyze the land-cover variations associated with agricultural practices, in the department of Vichada, with a special interest in vulnerable ecosystems, such as the Bitá's river basin, using Geographic Information System [GIS] analysis of historical images taken by a remote sensor from the United States Geological Service [USGS] Earth Explorer portal.

Methodology: Documental review and an analysis of satellite images from 1985 to 2017.

Results and conclusions: The results showed that in Vichada, during a 32-year period, there was a transition from forest to cropland and pastures, in which 60% of the forest cover got lost. Moreover, areas of natural savannas were also replaced with pastures for livestock production. These land-cover changes were associated with government policies that fomented illegal occupation of land, monocultures, and non-native plantation forests. Bitá's river basin also lost a significant part of forest cover because of agribusiness development in the municipality of Puerto Carreño (Vichada). These land-cover changes have an impact on the ecological integrity of significant ecosystems and in their functionality in the region, that is why, conservation measures must be implemented.

Keywords: Agribusiness; Agricultural frontier; Biodiversity; Deforestation; Satellite imagery analysis

RESUMEN

Contextualización: Colombia ha experimentado múltiples cambios en la cobertura de los suelos como consecuencia de políticas socioeconómicas, reduciendo, de esta forma, la alta biodiversidad del país.

Vacío de investigación: En la región de la Orinoquía se han intensificado las presiones para ampliar la frontera agrícola, sin considerar la importancia de sus recursos naturales.

Propósito del estudio: Este trabajo tuvo como objetivo analizar el cambio de cobertura asociado a las prácticas agrícolas en el departamento de Vichada, con especial interés en ecosistemas vulnerables, como la cuenca del río Bitá, mediante un análisis SIG de imágenes históricas tomadas por sensores remotos del portal Earth Explorer del USGS.

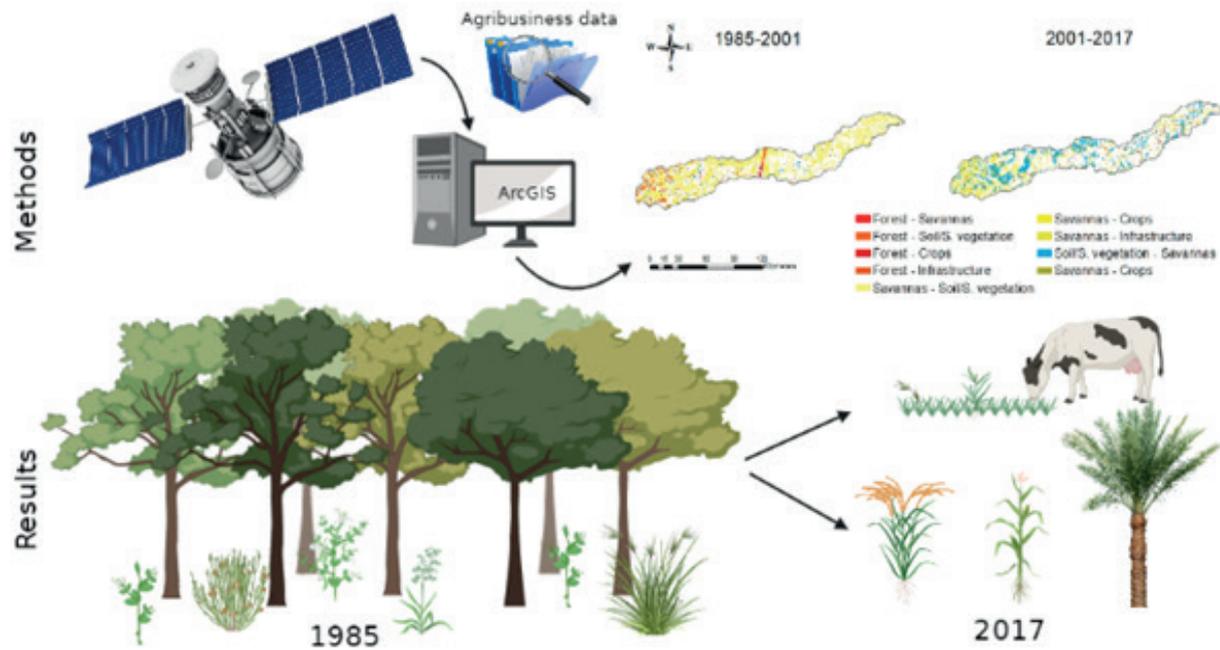
Metodología: Se realizó una revisión documental y un análisis de imágenes satelitales desde 1985 a 2017.

Resultados y conclusiones: Los resultados mostraron que en Vichada, durante un período de 32 años, hubo una transición de bosques a cultivos y pastizales en el que se perdió el 60% de la cobertura forestal. Además, las áreas de sabanas naturales también fueron reemplazadas por pastizales para la producción ganadera. Estos cambios en la cobertura del suelo se asociaron con políticas gubernamentales que fomentaron la ocupación ilegal de tierras, los monocultivos y las plantaciones forestales de especies no nativas. La cuenca del río Bitá también perdió una parte significativa de su cubierta forestal, como consecuencia de los agronegocios.

Palabras clave: Agronegocios; frontera agrícola; Biodiversidad; Deforestación; Análisis de imágenes satelitales



GRAPHIC SUMMARY



1. INTRODUCTION

Biodiversity is one of the most important components of the planet. It comprises the entire variety of living organisms from all environments and their ecological complexes, including genetic, structural, and functional components (Newbold et al., 2015). In the last decades, biodiversity has been negatively impacted by anthropogenic activities, causing the alteration of ecosystems and the services that they provide (Caviedes and Ibarra, 2017).

Over the last fifty years, the main causes of the damages to ecosystems integrity are variations in land-cover and in land-use (Allan et al., 2015; Jantz et al., 2015; Newbold et al., 2015). Land-use changes have suffered a transition, from natural vegetation to clearings, so land can be used for small-scale agriculture, croplands, livestock production, infrastructure and urban development, mining, and others (Boserup, 2017; Rausch, 2017). The deforestation and forest fragmentation resulting from these transitions have important effects on the landscape, such as the reduction of forest quality, isolated patches, edge effect and connectivity loss. All together lead to disruptions in the functional structure of biological communities (Brodie et al., 2015; Hurd et al., 2016; Thompson et al., 2017).

In Latin America, socio-economic factors and biophysical parameters of landscape represent the main causes of land-use changes (Borras et al., 2012; Rausch, 2017). Two highly used approach to study these changes are: satellite-derived data, and monitoring strategies, such as the Normalized Difference Vegetation Index [NDVI] (Addabbo et al., 2016; Chakraborty et al., 2018). The NDVI allows creating an image that quantifies the photosynthetic capacity of different plant canopies (Chakraborty et al., 2018). In Colombia, this strategy has been used for research, using multitemporal analysis and monitoring river basins (Álvarez & Agredo, 2013; Vargas-Gonzalez, 2013; Grande-Medina, 2015; Mejía-Ramírez, 2016; Monroy & Armenteras, 2017; Barragan-Vera, 2018; Sanabria-Lombana, 2018; Hernández-Calderón & Salamanca-Carvajal, 2019; Salamanca-Córdoba, 2020). An example of using NDVI comes from the work of Muñoz et al., (2009). Their results showed that in Las Minas micro-basin, municipality of Pasto (Department of Nariño), 58.51 ha were deforested between 1989 and 2008 (Muñoz et al., 2009). Another related research comes from Monroy and Armenteras, (2017), that showed the quantification of the land cover changes, and the expansion of mining

dynamics in the Nechí river from 2009-2014 (Monroy & Armenteras, 2017).

On the other hand, the Orinoquia region of Colombia is considered the future core of agricultural practices, creating a great deal of pressure towards resources exploitation, without contemplating the impact on biodiversity (Caicedo, 2016; Peña-Levano et al., 2018). The National Planning Department [DANE] of Colombia stated, in 2017, that agro-industrial projects and large-scale forestry are the only options to accelerate the region development. So, the development strategy for this region includes the transformation of forest into cropland, pastures for livestock, logging for energy purposes, and the construction of roads. These anthropogenic activities represent the main causes of the loss of forest worldwide (Dudley & Alexander, 2017). Additionally, these processes are associated with social, political, and economical changes that have led to a disorganized growth of urban areas (Caicedo, 2016).

In regions such as the Orinoquia, where the loss of integral ecosystems in favor to agro-industrial expansion is expected, complete knowledge of the biodiversity represents a concern among academics, as it is necessary to develop conservation strategies that reduce the impacts on the ecosystem services, especially when essential ecosystems like river basins are compromised (Williams et al., 2020). Therefore, the aim of this study was to analyse the transformation of land-cover in the department of Vichada, between 1985-2017 period, and the expansion of agribusiness, with special attention to the Bitá's river basin, utilizing simple GIS analysis and data from the USGS Earth Explorer portal.

2. MATERIALS AND METHODS

STUDY AREAS

Department of Vichada

The Orinoquia region constitutes 30.4 % of the national territory and is located in the southeast of Colombia. This region has 32 % of the country fresh water and 38 % of all micro-basins (Yepes-Mayorga, 2012). Hence, it is one of the most important reservoirs of

biodiversity in the neotropics (Gassón, 2002) with 156 different types of ecosystems and a high number of gramine, amphibians, reptiles and mammals (Yepes-Mayorga, 2012), fishes (Maldonado-Ocampo et al., 2008; Romero et al., 2009), and bird species (Trujillo & Lasso, 2017).

The Altillanura is the subregion of Orinoquia where the economic interest is concentrated, and 57 % of 13.5 million ha are considered suitable for agriculture. The remaining area (43 %) is classified as natural forests, morichales (lotic systems dominated by *Mauritia flexuosa*), savannas, and semi-natural areas (Trujillo & Lasso, 2017). The department of Vichada is located within the Altillanura, with 10024200 ha and four municipalities: La Primavera, Cumaribo, Puerto Carreño and Santa Rosalía. The potential for agriculture in Vichada is approximately of 4.5 million ha (Gómez, 2015). In Vichada, extensive and continuous savannas shape the landscape, along with gallery forests and morichales (Yepes-Mayorga, 2012). In 1970, El Tuparro National Natural Park was created to protect the ecosystems that regulate the hydrological cycle and control floods (Caviedes & Ibarra, 2017; Duarte, 2016).

Vichada is the second department that has the greatest extension in Colombia (Fig. 1). The total population is 73700 inhabitants of which 56 % live in rural areas, and almost 65 % of them depend on agriculture and livestock production (DANE, 2005). The economy was initially inconspicuous with small scale extractions of rubber and wood. In 1980, an economic model based on illicit crops and extensive livestock farming was implemented (Trillos, 2010). Since then, the expansion of the agricultural frontier has been the purpose of several agrarian laws and policies (Gómez, 2015). In 2002, the project "The rebirth of the high Orinoquia of Colombia" identified productive, agricultural and agroforestry alternatives that did not include native species (MADR, 2004; Vilorio, 2009).

Later, the "Action Plan on Biodiversity" policy prepared the department for a new



strategy known as agribusiness (CGR, 2014). First, the Government stimulated the agrarian colonization in Vichada by giving land titles to newcomers. Then, the land passed to foreign and national investors, leaving the local communities evicted from their territories. As a result, large areas were accumulated for agro-industrial projects (CGR, 2014). The main foreign buyers of land in the region were companies from China, Japan, Malaysia, Indonesia, and Brazil (Niето, 2015). Lastly, in 2014, the “National Council for Economic and Social Policy 3797” was implemented, this policy invested COP 10767 million in 780000 ha of the Altillanura to develop agroindustrial

projects and promote land transformation in Vichada (CONPES, 2014; DNP, 2017).

The “Master Plan for the Orinoquía”, in 2016, continued the 3797 policy, again, involving the private sector and international cooperation, without considering the local communities. Moreover, in recent years, the Colombia’s government peace agreement and other political and economic drivers, have brought a significant increase to agro-industrial crops and forest plantations in Vichada (Oficina del Alto Comisionado para la Paz Colombia, 2016).

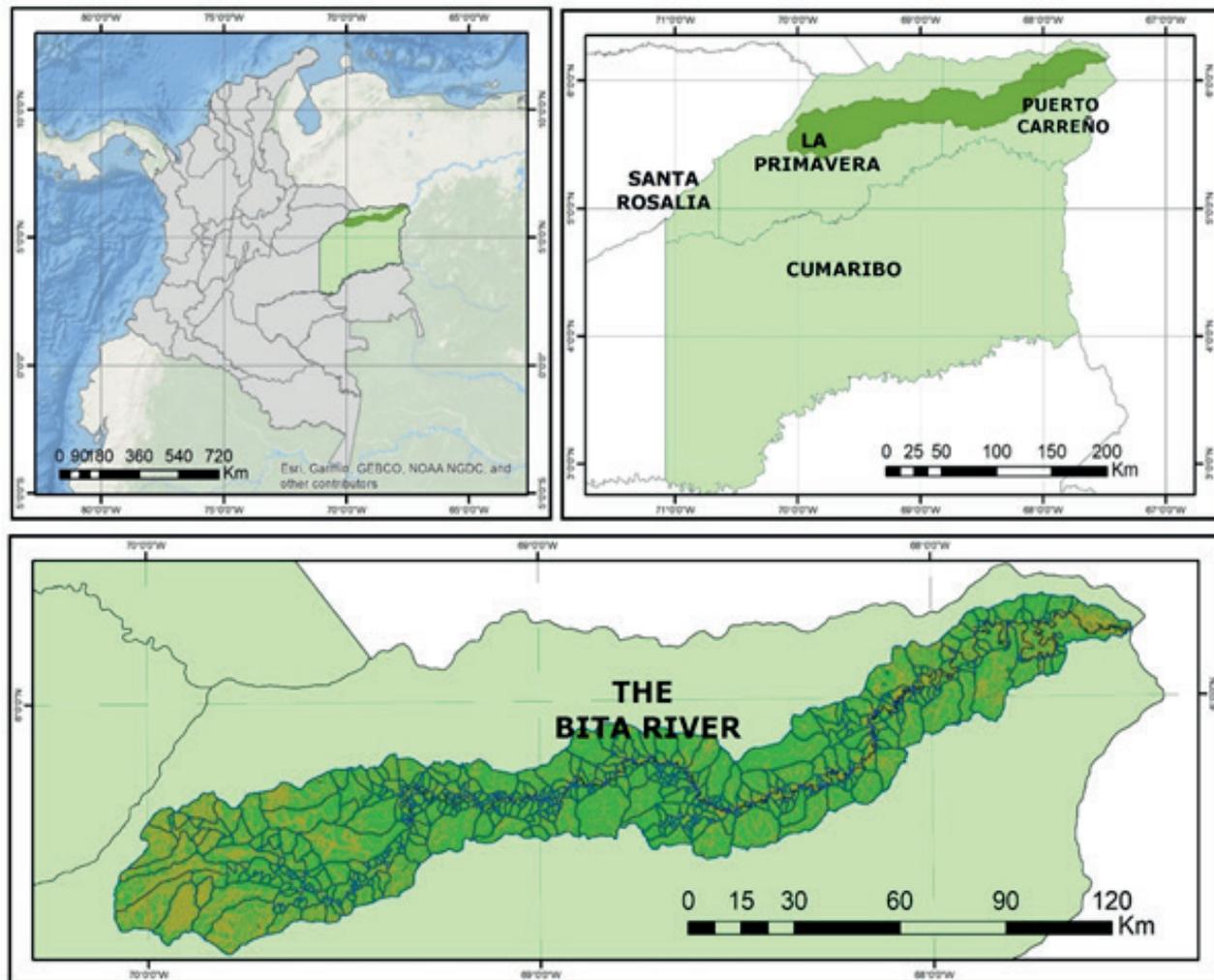


Figure 1. Location of the Vichada department and the Bitá’s river basin within Colombia.

Source: authors.

Bitá river Basin

The Bitá river is located in Vichada, within the municipalities of La Primavera and Puerto Carreño (Fig. 1). It has a linear extension of 700 Km, an area of 812312 ha, an altitudinal gradient of 50-300 masl, an average temperature of 27-28°C, and a monomodal precipitation regime (Peñuela & Rodríguez, 2014; Romero et al., 2017). Gallery forests are alternated with savannas, floodplain savannas, and rocky outcrops from the Guiana Shield. There are numerous high-value ecosystems with unique biodiversity in the basin, that include at least 16 wetlands, mainly estuaries, madre viejas (a type of permanent freshwater lagoon), zurales (a lentic and temporary water system), and morichales (Lasso et al., 2014; Romero et al., 2017).

Currently, the ecosystems in the basin have a high degree of conservation. Almost 95 % of the areas are natural ecosystems, 2.5 % are agricultural or forestry territories, and 3 % are semi-urban areas (Trujillo & Lasso, 2017; Suárez et al., 2021). However, the Bitá river basin is currently threatened by mining, logging, deforestation, livestock production and agricultural mega-projects in the region. These economic, social, and political interests alarmed to the scientific community. As a result, in 2018, the basin became a Ramsar's wetland, for its international importance (DNP, 2018).

Despite its importance, until today there is only one research about the biodiversity in the area. Hence, there is not enough information for the formulation of efficient conservation plans (Trujillo & Lasso, 2017). The mentioned study was carried out in 2016, in two sections of the Bitá basin (municipalities of La Primavera and Puerto Carreño) (Trujillo & Lasso, 2017). It found 424 plant species, two species of freshwater sponges, 34 species of coprophagous beetles, 26 families of aquatic macroinvertebrates, 11 species of crustaceans, 254 species of fish, 38 species of reptiles, 18 species of amphibians, 201 species of birds and 63 species of mammals. It was concluded that the Bitá river basin is important for the maintenance of migratory birds and acts as a biological corridor between the Altillanura and the Guiana Shield (Trujillo & Lasso, 2017).

Since large scale agricultural activities in Vichada have become lucrative in the past decades, due to government incentives (Vargas et al., 2015) and, according to Castiblanco et al., (2013), these industries will expand even more, there is a need to evaluate the territory in order to determinate the land-cover use and recognize the deterioration of natural areas, so resource exploitation and conservation policies can be formulated. Additionally, the impact in biodiversity have been poorly investigated in the area due to the armed conflicts that have occurred over the last 50 years in Colombia (Hoffmann et al., 2018; Romero et al., 2017). The diagram in Fig. 2 shows the overall methodology used in this study.

DOCUMENTAL ANALYSIS OF AGRIBUSINESS IN VICHADA

Several documents, regarding the development of agribusiness and the expansion of the agricultural frontier in Vichada during the period 1985-2017, were consulted as reference and comparison. Legal and administrative documents (Table 1), academic literature and press, were included as well.

SATELLITE IMAGE PRE-PROCESSING

In this study was used images acquired from the US Geological Survey Center for Earth Resources Observation and Science (USGS) (<https://glovis.usgs.gov/>). The dataset comprised cloud-free (<5 %) satellite images of the dry season (October to February), taken in the following years: 1985 and 1998, collected from the Landsat 5 satellite (TM) with a resolution of 30 m (USGS, 1985; USGS, 1998); 2001, 2005, 2009 and 2013, collected from Landsat 7 (ETM) with a resolution of 30m (USGS, 2001; USGS, 2005; USGS, 2009; USGS, 2013); and 2017, collected from Sentinel2 with a resolution of 10m (USGS, 2017). The spatial resolution of these images made possible to identify and map agricultural fields, deforested areas, vegetated zones, and inhabited places within the landscape that were transformed during the 32 years, a methodology used in different studies that also cover large periods of time (Mendoza et al., 2011; Keshtkar et al., 2017; Avalos et al., 2018; Souza-Filho et al., 2018). All images were georeferenced using a polynomial geometric model (order 3).

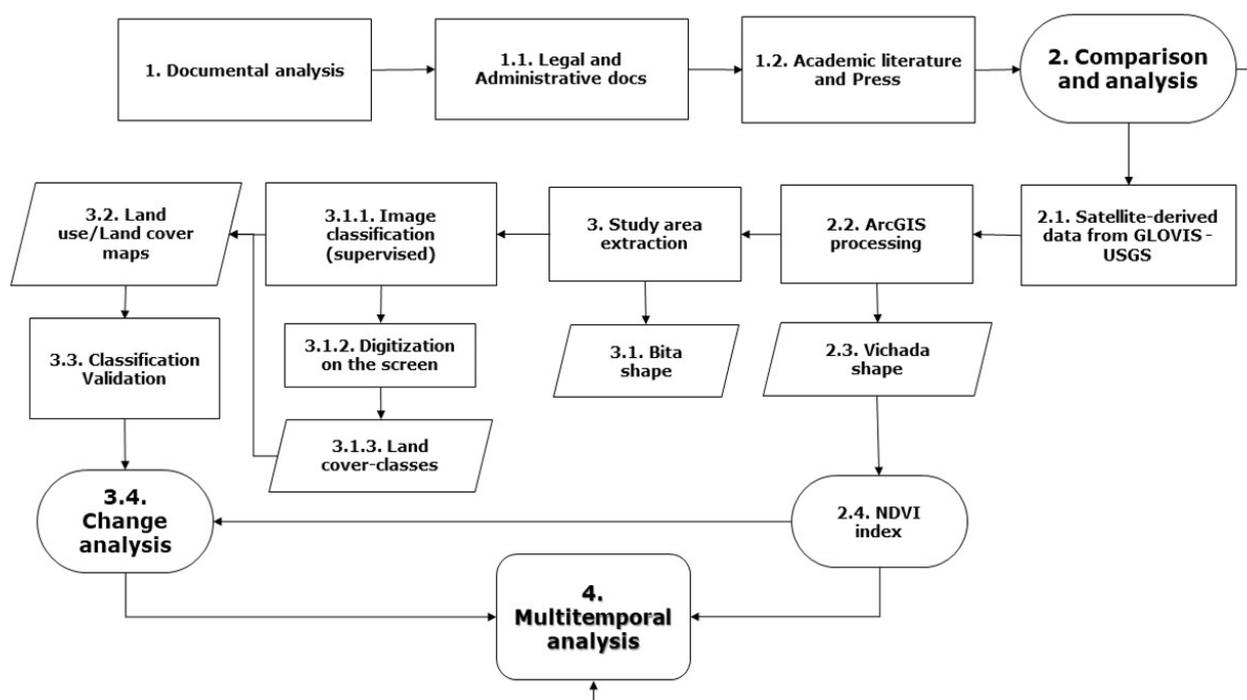


Figure 2. Schematic representation of the methodology used in the present study.

Source: Authors.

DEFINITION OF THE DIFFERENT LAND-COVER CLASSES

The satellite images were classified into seven land-cover classes (Table 2), using a pixel-based, supervised classification method, the Maximum Likelihood Classification (MLC) algorithm. MLC is one of the most widely used methods due to its quickness, user-friendly and a clear interpretation of the results (Bolstad & Lillesand, 1991; Ávalos et al., 2018). MLC can obtain a spectral image of

each land-cover class through variance and covariance statistics of the set of training sites identified in the image, and then calculates the probability of belonging to each class according to the spectral signature (Fig. 3), with accurate results (Bolstad & Lillesand, 1991; Ávalos et al., 2018). Subsequently, a more detailed review was done digitizing the screen, especially on the land-cover near the water round.

Table 1. Administrative and legal documents consulted for the purposes of the present study.

Type and source of document	Revised documents	References
Administrative Ramsar-Convention on Wetlands	2	Ramsar, 2015 Ramsar, 2016
Administrative Office of the High Commissioner for Peace Colombia	1	Oficina del Alto Comisionado para la Paz Colombia, 2016
Administrative Office of Ministry of Justice and Law	1	Minjusticia, 2014
Administrative Office of Ministry of Agriculture and Rural Development	2	MADR, 2004 MADR, 2011
Administrative Office of Comptroller General of the Republic	2	CGR, 2012 CGR, 2014

Type and source of document	Revised documents	References
Administrative Colombian Federation of cattle ranchers	1	Fedegan, 2021
Administrative Office of National Department of Planning	2	DNP, 2017 DNP, 2018
Administrative National Administrative Department of Statistics	3	DANE, 1985 DANE, 1993 DANE, 2005
Administrative National Council for Economic and Social Policy	7	CONPES 3192, 2002 CONPES 3218, 2003 CONPES 3467, 2007 CONPES 3558, 2008 CONPES 3669, 2010 CONPES 3797, 2014 CONPES 3827, 2015
Administrative CIAT- Corporation for the Sustainable Development of La Macarena Special Management Area	1	CIAT and CORMACARENA, 2017
Administrative Orinoquía Regional Autonomous Corporation	1	CORPORINOQUIA, 2009 CORPORINOQUIA, 2013a CORPORINOQUIA, 2013b
Legal Presidency of the Republic	2	Decree 2858, 1981 Decree 1729, 2002
Legal Congress of the republic	5	Law 135, 1961 Law 30, 1988 Law 160, 1994 Law 1337, 2010 Law 1776, 2016
Legal Office of Ministry of Agriculture	1	Decree 1541, 1978
Legal Office of Ministry of Environment and Sustainable Development	6	Decree 3100, 2003; Decree 1640, 2012; Decree 1235, 2018; Resolution 157, 2004; Resolution 196, 2006 Resolution 1128, 2006
Legal Orinoquía Regional Autonomous Corporation	3	Resolution 200.41-09-1592, 2009 Resolution 200.41-11-1130, 2011 Resolution 500.41-13-1571, 2013

Source: authors.



The land-cover classes were adapted from the book: Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100000 (IDEAM, 2010). The classes were chosen because the spatial resolution for all the images allowed their identification. The details of the seven land-cover classes are described in Table 2. The satellite-image matrices were easily classified using visual interpretation,

considering the seven predefined classes, then using used manual vectorization via ArcGIS 10.6 software. This methodology ensured that the lines of polygons, without land-use changes, remained unaffected. The visual interpretation is a reliable method for studying small (Bita river) and large areas (Vichada) (Munsi et al., 2010; Zuo et al., 2014).

Table 2. Descriptions of seven land-cover classes identify for this study adapted from the Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adapted for Colombia, scale 1:100.000.

Land-cover class	Description
Forest	Natural land constituted mainly by arboreal elements of native species.
Gallery forest	All land constituted by arboreal vegetation that forms as corridors along rivers or wetlands.
Cropland	Land dedicated to permanent crops, transitory, grazing land, and heterogeneous agricultural land.
Savannas	Areas constituted by a vegetal community dominated by herbaceous elements.
Soil / Scattered vegetation	Areas where the ground surface consists of layers of exposed rocks and/or a slight development of vegetation such as pastures for livestock farming.
Water	Natural streams of freshwater flowing continuously and water surface reservoirs, open or closed, which may or may not be connected with a river.
Infrastructure	Cities, towns, areas covered by roads, highways, bridges, and airports.

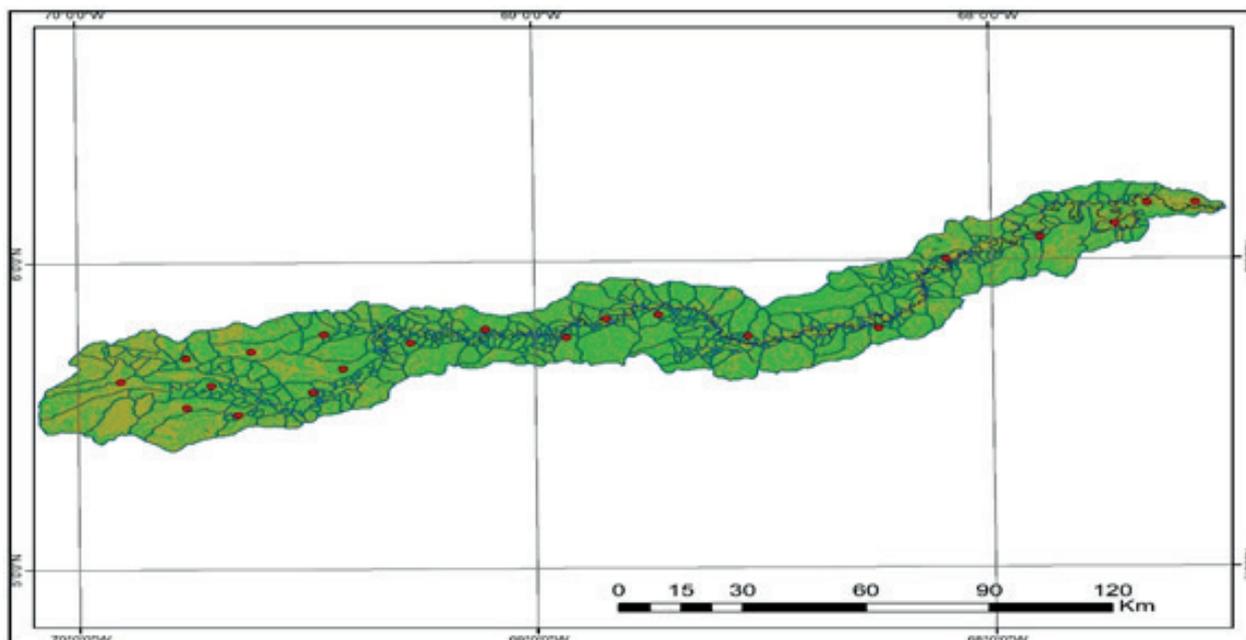


Figure 3. Location to the control fields within the Rio Bitá basin.

Source: Authors.

NDVI INDEX

The NDVI index is one of the most used vegetation indices and it provides the best results regarding variations in vegetation canopies (Khan et al., 2014; Addabbo et al., 2016; Beisel et al., 2018; Sun et al., 2018). The values of the index were generated using ArcGIS by combining near-infrared bands and visible bands according to the satellite from which the images were obtained. The used formula was:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (\text{Formula 1})$$

Where NIR = Near Infrared Channel; R = Red Channel

The NDVI index of 10000 pixels belonging to the same land-cover class were averaged to obtain one single value. This was done for each land-cover class. Layer stack images from 1985, 1998, 2001, 2005, 2009, 2013, and 2017, were created and evaluated to detect the land-use change.

MULTI-TEMPORAL ANALYSIS OF LAND-COVER CHANGE

Land-cover maps were designed in the methodological framework of a multi-

temporal analysis to evaluate the land-cover changes in a 32-year period. ArcGIS and satellite images of the Bitá river basin of the years 1985, 2001 and 2017 were used. The different bands from the satellite imagery were combined in the traditional RGB (Red, Green, and Blue) channels (Fröhlich et al., 2013; Sheng et al., 2020). The combination 742 was used for the images obtained from Landsat 5 and 7; and 843 for those obtained from Sentinel-2; those band composites correspond to false colour and false IR colour respectively (Nawar et al., 2014; Príncipe & Willems, 2018; Modica et al., 2019). This combination is suitable for studies involving natural vegetation and cropland (Addabbo et al., 2016; Chakraborty et al., 2018). Based on the obtained images, polygons for each land cover class were created and the area in hectares was calculated using ArcGIS tools in the two evaluated periods: 1985 to 2001, and 2001 to 2017. Deforestation rates were not estimated in this study.

Based on the land-cover maps obtained, two processes were carried out: a majority filtering procedure (6x6 pixels) and a method of generalization of polygons of less than one hectare, thus, reducing image noise and isolated polygons. After these, the final land-cover maps were obtained, one for the period 1985-2001 and one for 2001-2017



(Fig. 6-Annex). Polygons for each land-cover class were created and their area calculated in hectares using MLC. To standardize and confirm the land-cover areas of the Bitá river basin, a visual inspection using secondary information and historical data from the IGAC web portal (<https://geoportal.igac.gov.co/>) and geoviewers was performed for the same analyzed periods. To obtain percentages of each land-cover class in the evaluated year (1985, 2001 and 2017), the total area of the Bitá river basin, 812310 ha, was considered; each land-cover class area (in ha) was multiplied by 100% and then divided by 812310 ha.

To validate the obtained results, the classified land-cover maps were compared against control fields through a cross-tabulation matrix. The kappa index (which indicates the degree of similarity between control fields and the maps), the general accuracy (which shows the percentage of pixels correctly classified), the user's accuracy (that provides the percentage of each land-cover class that corresponds with the field information) and the producer's accuracy (that establishes the percentage of each land-cover change properly classified in the image) were evaluated (Ávalos et al., 2018; Wu et al., 2018).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Land change is the result of a complex interaction between multiple factors, such as economy, demography and environment, at different spatial-temporal scales. Since land-cover change can be a rapid process, understanding its relationship with driving factors is vital to evaluate the effect of land transitions in ecosystems (Santacruz-Delgado, 2019). In the particular case of the department of Vichada, these processes are related to the socioeconomic status of the Altillanura region, an isolated region with high levels of poverty, institutional absence, and grave human rights violations (OXFAM, 2013).

DOCUMENTAL ANALYSIS OF AGRIBUSINESS IN VICHADA

Three main processes acted as driving factors of land change in Vichada: first, a large number of land transactions; second,

the arrival of investors and multinationals and third, the current agro-industrial dynamics (CONPES, 2014). As a result, the land was occupied by foreign and national investors, who accumulated large areas of land without the proper regulation of any local or regional authorities and taking advantage of the abolition of the Law 160 (Agrarian Reform) that limited the area that could be purchased, in favor of the Law 1776 of 2016 that created the ZIDRES (Areas of Interest for Rural, Economic and Social Development), which supported only great agro-industrial projects (Aide et al., 2013; Etter et al., 2008; Ortega, 2016).

Considering those facts, this paper presents the first regional land-cover change description of the department of Vichada and the Bitá's river basin. The constructed maps represent a 32-year period with intense land-use transformations.

The information regarding agribusiness in the department, during the 1985-2001 period, was non-existent, mainly because agricultural development was incipient. Oppositely, the period between 2001-2017 was characterized by agrarian and resource management policies (described in the introduction) that resulted in agricultural megaprojects occupying more than 50% of the territory in Vichada (Table 3). That included oil palm and other crops such as cashew nuts, which are perennial plants that require a wide range of time to reach productive size and be industrialized. Moreover, Colombia has recently ended a 50 years armed conflict, by signing the Peace Agreement with the militia group FARC in 2016. That agreement included policies that stimulated the economy of Vichada, having as a result a significant increase of agro-industrial crops and forest plantations (Oficina del Alto Comisionado para la Paz Colombia, 2016).

Some of the biggest agribusiness in Vichada are (CGR, 2014; Gómez, 2015; Gómez & Soto, 2012):

Table 3. Area and percentages of agribusiness found from 1985 until 2001, and from 2001 until 2017 in the Vichada department.

Agribusiness	1985-2001		2001-2017	
	ha	%	ha	%
Cereals	NIA	NIA	96384	11.86%
Rubber	NIA	NIA	25000	3.08%
Oil palm	NIA	NIA	21205	2.61%
Illicit crops	9200	1.13%	2264	0.28%
Forest plantations	8000	0.98%	69762	8.59%
Other crops	3816	0.47%	38000	4.70%
Extensive livestock production	107000	13.23%	180000	22.25%

NIA: No Information Available.

Sources: CGR (2014); Gómez & Soto (2012); Fedegan (2021); Gómez (2015); Vilorio (2009).

- *Cargill-Colombia Agro*: started operations in Vichada in 2010, is the country's largest grain farm with over 60000 ha of wheat, soybean, rice, sorghum, and corn crops.

- *Riopaila-Castilla*: started operations in 2010 with 10000 ha of oil palm, 5000 ha of timber, 20000 ha of grains, and 5000 ha of technified extensive livestock production.

- *Forest First*: started operations in 2006 with 20000 ha of different tree species. This initiative could represent a threat to ecosystem stability considering that non-native arboreal species were introduced.

- *Indupalma*: started operations in 2012 with 25000 ha for rubber extraction.

Lastly, there is an extensive livestock production, which represents about 45% of Vichada's economic activity and occupies almost a quarter of the territory (CORPORINOQUIA, 2013a; Fedegan, 2021; Vilorio, 2009).

VICHADA'S NDVI PROFILES AND THE INCIDENCE OF AGRIBUSINESS

The profiles obtained in this study with the NDVI index, showed variations of the different land-cover classes during the evaluated time. The NDVI index (Fig. 4) indicates a drastic reduction of the forest cover during the 1985-2001 period, with a short stabilization period from 2001-2009, and then a continuous reduction until 2017. These changes are compatible with the periods of colonization

and early exploitation in the territory, together with the implementation of several agrarian policies (CGR, 2014).

The index also showed that savannas and croplands remained without major variation until 2009, when they began to increase notably (Fig. 4). The savanna class includes both natural species and improved pastures introduced for livestock production. Initially, in Vichada, livestock farming was performed under the extensive system with traditional practices, which can produce a series of negative effects on the biophysical characteristics of ecosystems, such as biodiversity lost, soil compaction and erosion (Vilorio, 2009). Moreover, these activities were intensified with government policies, creating monocultures of African pastures, which coincides with the increase of savannas according to the NDVI index (Table 3).

The review of agribusiness in Vichada showed a significant number of hectares dedicated to forest plantations (Table 3). These plantations of non-native species can alter natural ecosystems (Chakraborty et al., 2018). Although the NDVI values could be confusing about the forest plantations, and even some crops, with the natural forest cover, the forest plantation and crops can be easily distinguished in the maps by detailed observation since the plot edges are visible (Fig. 5).

Forest plantations have emerged since 2005 when government incentives were

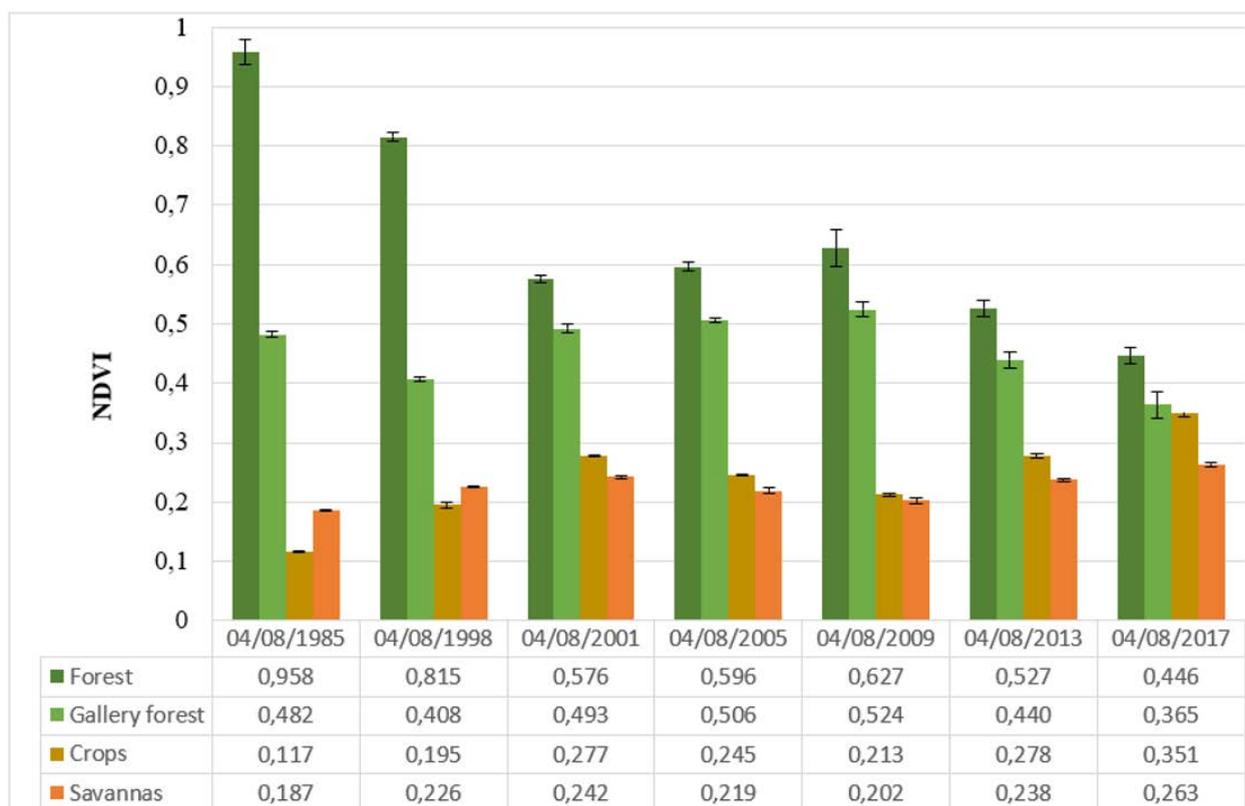


Figure 4. NDVI temporal profiles for the plant-covers in the Vichada department.

Source: authors.

implemented to promote non-native species, such as teak, tropical Caribbean pine, eucalyptus, and acacia, for timber purposes (Duarte, 2016). In 2016, almost 70000 ha of these trees were planted and about 24% of them are on the Bitá's river basin (Gómez, 2015; MADR, 2004). In fact, in the present study, the transformation of natural forest into croplands and forest plantations can be observed near the basin (Fig. 5).

LAND-COVER CHANGE ON A MULTI-TEMPORAL SCALE (1985-2017) IN THE BITA RIVER BASIN AND ITS RELATION WITH AGRIBUSINESS

Table 4 lists the estimated areas for each land-cover class in the Bitá's river basin, based on the analysis of satellite imagery of this study. The results showed that the forest areas decreased in the first period (from 1985 to 2001), changing from 42.84 % of the total territory to 11.86%, and increased in the second period (from 2001 to 2017) to 16.7%. Overall, considering the first forest area in 1985 (347994 ha), and the last forest area in 2017 (135656 ha), there was a loss of 212338

ha, hence, 61% of the forest was lost. As a result, pastures (scattered vegetation) and croplands were increased in the first period and decreased in the second period. In both periods, savannas (natural and introduced) were increased. The savannas expanded at a higher rate in the first period and then slowed down in the second.

Regarding to that situation, Perz et al. (2005) stated that, in the 90s, the Orinoquía region suffered a deforestation rate almost three times higher than the Colombian Amazon. The destruction of native forests can be directly related to agricultural progress in the department, and to the implementation of policies that boosted economic development. This is also consistent with the results of Santacruz-Delgado, (2019), who found that annual crops and pastures increased at the expense of forests, between 2000-2015, in the high plains of the department of Vichada. Moreover, change in the forest cover caused by the increase of pastures for livestock was also found in the Amazon deforestation processes (Dávalos et al., 2014).

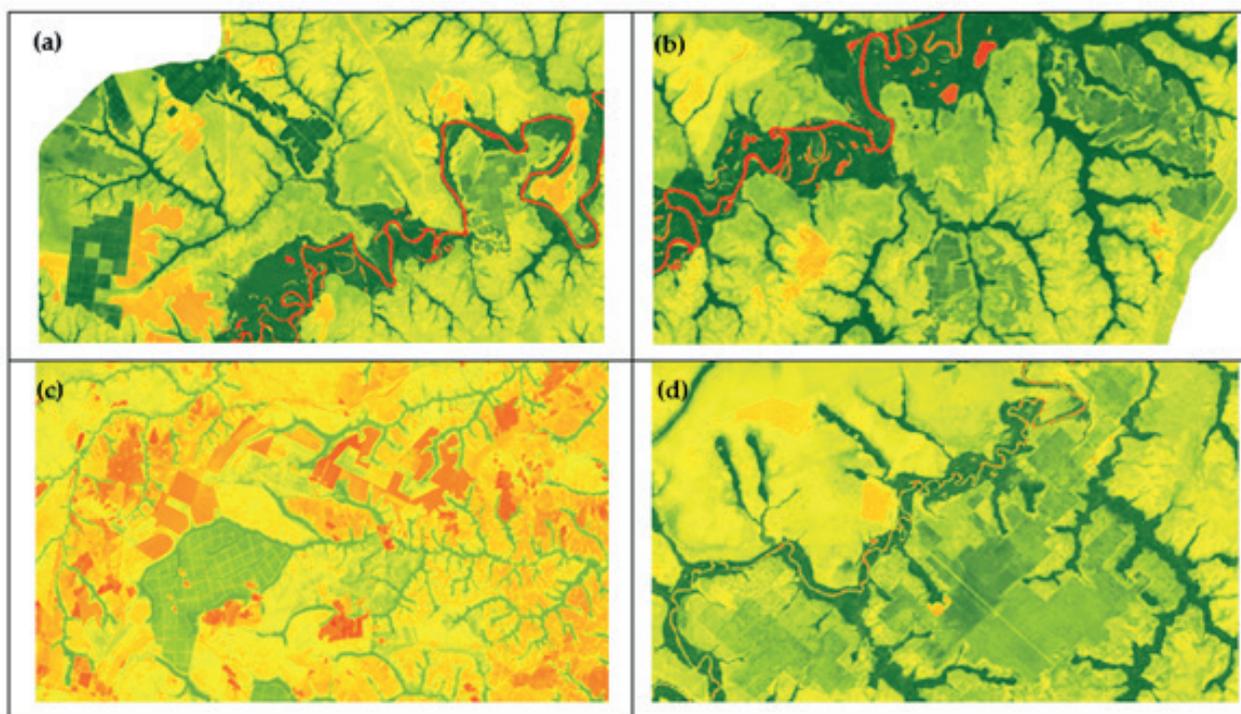


Figure 5. Zoom in NDVI layer stack images from the Bitá river basin with forest plantations and monocrops (2017): (a) East area of the basin; (b) Middle part of the basin; (c) West area of the basin; (d) South area of the basin. Despite the intense green colour of forest plantations, which could be confused with natural forest, they can be easily distinguished by the plot edges.

Native tropical forest areas are being rapidly transformed into mosaics dominated by pastures and agricultural matrices (Etter et al., 2005). This habitat loss has affected more ecosystems than the climate change scenarios (Newbold et al., 2015). The alteration of ecological processes due to forest lost can generate coextinctions, and hence, affect the balance and functionality of ecosystems, and the services they provide for human beings benefit (Bradshaw et al., 2008). For example, Robinson, (2018) identified in the Tumbes-Chocó-Magdalena bioregion of Ecuador, a 30 % reduction of local biodiversity richness as a result of human activities and land-use changes since the 16th century. In this context, it is worth mentioning that in the Bitá's river basin there are several endemic species, currently under some threat of extinction and of great biological importance, such as the plant *Pepinia heliophila*, the fish *Pseudoplatystoma metaense*, and the mammals *Inia geoffrensis*, *Pteronura brasiliensis*, *Lontra longicaudis*, *Panthera onca*, *Puma condor* and *Tapirus terrestris* (Trujillo & Lasso, 2017).

Furthermore, some of the effects related to the implementation of large-scale agro-industrial projects are soil degradation, disappearance of water streams, contamination by agro-toxins and biodiversity lost (Dayrell, 2012). Specifically for river basins, land-use changes result in organic matter losses, erosion, decrease in the water flow and in the availability of resources (Benstead & Pringle, 2004; Dominati et al., 2010). Those changes have already been reported by the environmental corporation in charge of the Vichada territory, CORPORINOQUIA (Gómez, 2015). Agro-industrial processes in places with similar biophysics characteristics and land occupation dynamics as Vichada and the Bitá river, such as the Cerrado region in Brazil, have resulted in drying of wetlands and selective effect in the wildlife survival (Dayrell, 2012; Ferraz et al., 2010). Therefore, the present study recommends special attention to the currently threatened ecosystems in the Bitá's river basin.

Analysis of present data also showed that the forest cover had a recovery from



88704 ha (almost 12 % of the territory) to 135656 ha (almost 17 % of the territory) between 2001 and 2017. However, the same consideration from the previous section should be noted, this presumed forest recovery could be due to forest plantations of non-native species with extraction purposes. It is estimated that Vichada has 569653 ha suitable for commercial forest plantations, located mainly in the municipalities of Cumaribo, La Primavera and Puerto Carreño (near the Bitá's river basin). In these places, plantations started in 2006 through carbon credits commercialization. These plantations were prioritized after the creation of these programs: the Forest Incentive Certificate (CIF) (implemented by the law 1337), the "Action Plan for Commercial Reforestation" in 2011 (MADR, 2011), and the "CONPES 3797" strategy (CONPES, 2014). Altogether, these policies supported more than 70% of the investments made in forest plantations in Vichada (Gómez, 2015).

Another factor that contributes to the deforestation in the Bitá's river basin is the livestock production. The economy of La Primavera municipality (where part of the Bitá's river is located) is based on extensive livestock farming, with a disproportionate land-use for this activity that covers 90% of the territory (Álvarez, 2016). After major technological advances, and the Laws 135 of 1961 and 30 of 1988, the livestock farming frontier was enlarged covering the forested areas of Vichada (Gómez, 2015). During the evaluated period in this study (1985-2017), an increase of more than 100 % in the

pasture cover was proposed in the "Strategic Plan of Colombian Livestock Farming". The purpose of this policy was the introduction of improved African pastures, mainly of the genus *Brachiaria*, and burn natural savannas (Arias, 2004; Andrade-Pérez et al., 2013; Fedegan, 2021). This is shown in Table 4, noticing the increase in savannas, because it is not possible to distinguish endemic savannas from introduced pastures. In addition to deforestation, pastures without proper management can increase soil degradation, destroying native fauna and flora (Trillos, 2010).

On the other hand, population growth in poorly occupied territories, as is the case of Vichada, produces drastic land-use changes, not only due to agricultural expansion, but also because of communication and trade routes construction (Perz et al., 2005). Since the dynamics of landscape transformation can be accelerated by rapid population growth, the increase of urban area (infrastructure) in the Bitá's river basin is noteworthy (Table 4). Also, an increase of 34 % in the population between 1980 and 2000, and 70 % between 2001-2017, is directly related to the social and economic opportunities provided by agribusiness (DANE, 2015). Moreover, roadway constructions such as the highway between the municipalities of Puerto Carreño and Puerto Gaitán (department of Meta), that promotes the economic development of the Altillanura, and the mega-road project that will connect Colombia and Venezuela with a total length of 2 661 km, represent additional threats for the Bitá river basin (DNP, 2018).

Table 4. Area and percentages of land-covers from 1985 to 2017 in the Bitá river basin.

Land-cover class	1985		2001		2017	
	ha	%	ha	%	ha	%
Forest	347994	42.84%	88704	11.86%	135656	16.70%
Savannas	315339	38.82%	376327	3.08%	477639	58.80%
Soil/Scattered vegetation	38097	4.69%	162608	2.61%	28349	3.49%
Cropland	93497	11.51%	165350	0.28%	151090	18.60%
Water	16327	2.01%	16327	8.59%	16327	2.01%
Infrastructure	1056	0.13%	2994	4.70%	3249	0.40%

Source: Authors.

Table 5. Classified images validation and percentages of user's accuracy and producer's accuracy. Where g.a. means general accuracy and k.i. means Kappa index.

Land-cover class	1985-2001		2001-2017	
	g.a. 86.1%	k.i. 0.81	g.a. 96.4%	k.i. 0.95
	User's Accuracy (%)	Producer's Accuracy (%)	User's Accuracy (%)	Producer's Accuracy (%)
Forest	99	99	98	96
Savannas	100	100	99	98
Soil/Scattered vegetation	89	87	90	88
Cropland	44	100	97	96
Water	100	100	100	100
Infrastructure	100	100	100	100

Source: Authors.

Table 5 shows validation of the image classification process for the evaluated periods, through a cross-tabulation matrix containing the Kappa index, general accuracy, user's accuracy and producer's accuracy, finally, indicating a statistical validation above 85% for the MLC both periods. Considering this, the maps in Fig. 6 (see Annex) were constructed. These maps provide a comparison of the land-cover classes distribution in the selected periods (1985-2001 and 2001-2017). A transition from forests to savannas, pastures (scattered vegetation) and croplands, especially during the 1985-2001 period, as well as a replacement of natural savannas for pastures (scattered vegetation), croplands and bare soil during the same period is shown. In the 2001-2017 period, a change from bare soil/scattered vegetation to savannas and pastures was observed too.

The management of basins should tend to maintain mature and productive forest areas, as well as to decrease tensors (Sánchez et al., 2015). Therefore, maintaining the forest cover is important to preserve the current state of conservation in the Bitá's river basin. This is especially relevant since the wetland can provide ecological balance to endure the high pressure of climate change in the region, where the dry season is particularly strong, due to the high evaporation rates and the runoff, and to avoid future problems due to water demand (CIAT & Cormacarena, 2017; Yepes-Mayorga, 2012).

Although the Bitá's river currently has a protection figure, since it was included in

the Ramsar list of wetlands of international importance (Decree 1235, 2018), this type of protection does not have a management plan with defined zones. Thus, environmental authorities cannot exercise control over the territory. The promptness of the land-use transformations makes current environmental regulations and laws useless. Hence, the biodiversity at the river basin is exposed to the effects of the agricultural frontier expansion (CIAT & Cormacarena, 2017). Moreover, the Ramsar convention is mainly based on migratory bird activities, which leaves out a great part of the biodiversity that this basin encompasses (Ramsar, 2015). Therefore, despite the existence of a protection figure in the Bitá river, a greater knowledge of the ecosystems and a well-designed management plan oriented towards environmental recovery is needed for this area.

Finally, the inadequate use of land is partially caused by the lack of environmental awareness in the local communities. Another important aspect is that environmental government entities have not made enough efforts to investigate the territory. Currently, there is little to non-existent information regarding the biodiversity of this area, since there is only one real scientific research available (Trujillo & Lasso, 2017). This is why the present research seeks to provide information that encourages others to do investigations in the area, so they can contribute to the conservation and sustainability of important ecosystems of Vichada.



CONCLUSIONS

The present study monitored the land-cover changes in Vichada (Colombia) within a 32-year period. As a result, were obtained classified maps of the years 1985-2017, using satellite images and information regarding agribusiness. It was identified that the land-cover change, and land-use change in Vichada reflects several processes at different scales, such as an initial use of land for subsistence farming, a population growth that responded to national development policies, changes in the regional economy mainly due to extensive livestock farming, and finally, large-scale agro-industrial projects that resulted from national stimulus. Therefore, both, policies and economic practices, promote changes in the forest cover. The results showed a transition from forests to other land-cover classes, such as croplands and pastures. A great loss of forest cover was noted, about 60 % during the last 32 years. Hence, the effects of deforestation on these natural ecosystems should be from now on a matter of research.

The Bitá's river basin should become a priority area for conservation since it is currently affected by anthropogenic stressors (that reduced its forested area to one-third) and is vital for water availability. Moreover, it was found that a great part of the intervention in this area is located nearby Puerto Carreño municipality, which raises a challenge for ecological conservation because it is there where a great part of the biodiversity is concentrated. In addition to the need for more research, is fundamental more attention to the development of policies for resources management. The lack of regulation from environmental authorities is a relevant issue as well. Also, in this context, it should be mentioned that to resolve conflicts of land-use in Vichada, land ownership of local communities must be clarified, considering their needs and the preservation of natural resources. Lastly, despite its limitations, this study provides useful findings for territory planning and decision-making. 

AUTOR CONTRIBUTIONS

Juan J. Vitar-Mendoza and **Karen X. Sandoval-Parra** mapped the land cover for both study areas, consulted agribusiness data, performed all the analysis for the land cover change, wrote the preliminary manuscript, and executed further edition and revision. **Martha L. Ortiz-Moreno** was responsible for the conceptual design of the study and contributed significantly to improve the manuscript. All authors jointly contributed to the submitted version of the manuscript.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the University of the Llanos for providing the ArcGIS 10.6 software, and the United States Geological Survey (USGS) for the satellite images. We would also like to express our gratitude to Yulieth Navarro-Herrera for her assistance in the initial phase of this study.

REFERENCES

Addabbo, P., Focareta, M., Marcuccio, S., Votto, C. & Ullo, S. L. (2016). Contribution of Sentinel-2 data for applications in vegetation

monitoring. *Acta IMEKO*, 5(2), 44-54, http://dx.doi.org/10.21014/acta_imeko.v5i2.352

Aide, M., Clarck, M., Grau, R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., Bonilla-Moheno, M., George, M., Andrade-Núñez, M. M. (2013). Deforestation and reforestation of Latin America and the Caribbean (2001 – 2010). *Biotropica*. 45(2), 262-271, <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x>

Allan, E., Manning, P., Alt, F., Binkenstein, J., Blaser, S., Blüthgen, N., Böhm, S., Grassein, F., Hölzel, N., Klaus, V. H., Kleinebecker, T., Morris, E. K., Oelmann, Y., Prati, D., Renner, S. C., Rillig, M. C., Schaefer, M., Schloter, M., Schmitt, B... Fischer (2015). Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition. *Ecology Letters*, 18(8), 834-843, <https://doi.org/10.1111/ele.12469>

Álvarez, S. (2016). *Mecanismo para la gestión de la difusión de sistemas silvopastoriles en el municipio de La Primavera Vichada* [Tesis de Especialización

en Administración de Agronegocios]. [Bogotá D.C.]: Universidad de la Salle.

Álvarez, J. & Agredo, G. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana San Luis (Manizales). *Luna Azul*, (37), 30-48. ISSN: 1909-2474.

Andrade-Pérez, G.I., Romero, M. & Delgado, J. (2013). Diseño adaptativo de un paisaje agroindustrial. Una propuesta para la transformación agrícola de la altillanura colombiana. *Ambiente y Desarrollo*, 17(33), 29-41.

Arias, J. (2004). *Ganadería, paisaje, territorio y región: una historia ecológica y social de la Orinoquia colombiana*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Ávalos, A., Flores, F., Nájera, O. & Marcelleño, S. M. L. (2018). Analysis of the land use and cover changes in the metropolitan area of Tepic-Xalisco (1973–2015) through landsat images. *Sustainability*, 10(6), 1860. <https://doi.org/10.3390/su10061860>

Barragán, I. D. (2018) *Análisis multitemporal del cauce del río Magdalena en el periodo 2016-2018 en el sector de Puerto Salgar - La Dorada a través de análisis de imágenes radar*. [Tesis de Especialización en Geomática]. [Bogotá D.C.]: Universidad Militar Nueva Granada.

Beisel, N. S., Callahan, J. B., Sng, N. J., Taylor, D. J., Paul, A. L. & Ferl, R. J. (2018). Utilization of single-image normalized difference vegetation index (SI-NDVI) for early plant stress detection. *Applications in plant sciences*, 6(10), <https://doi.org/10.1002/aps3.1186>

Benstead, J.P. & Pringle, C.M. (2004). Deforestation alters the resource base and biomass of endemic stream insects in eastern Madagascar. *Freshwater Biology*, 49, 490–501. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01203.x>

Bolstad, P. & Lillesand, T.M. (1991) Rapid maximum likelihood classification. *Photogrammetric Engineering & Remote*

Sensing, 571, 67–74.

Borras Jr, S.M., Kay, C., Gómez, S. & Wilkinson, J. (2012). Land grabbing and global capitalist accumulation: key features in Latin America. *Canadian Journal of Development Studies*, 33(4), 402-416. <https://doi.org/10.1080/02255189.2012.745394>

Boserup, E. (2017). The conditions of agricultural growth: The economics of agrarian change under population pressure. New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315070360>

Bradshaw, C., Sodhi, N. & Brook, B. (2008). Tropical turmoil: a biodiversity tragedy in progress. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, 79–87. <https://doi.org/10.1890/070193>

Brodie, J. F., Giordano, A. J., Dickson, B., Hebblewhite, M., Bernard, H., Mohd-Azlan, J., Andersson, J., Ambu, L. (2015). Evaluating multispecies landscape connectivity in a threatened tropical mammal community. *Conservation Biology*, 29(1), 122-132. <https://doi.org/10.1111/cobi.12337>

Caicedo, G. (2016). Perspectivas del desarrollo regional local para la Orinoquia. *Orinoquia*, 20(1), 7-9, ISSN 0121-3709.

Castiblanco, C., Etter, A. & Aide, T. M. (2013) Oil palm plantations in Colombia: a model of future expansion. *Environmental Science & Policy*, 27(1), 72–83, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.01.003>

Caviedes, J. & Ibarra, J. T. (2017). Influence of anthropogenic disturbances on stand structural complexity in Andean temperate forests: implications for managing key habitat for biodiversity. *PloS one*, 12 (1., <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169450>

CGR-Office of Comptroller General of the Republic. (2012). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Plan Agro 2003-2015 para la Agricultura y la Vida Rural de las Americas (periodo 2003 - 2011). October 2012, Bogotá D.C., Colombia. [Retrieved from: https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/463150/8311317402_



Informe_Auditoria_Plan_2003-2015_MADR.pdf/df1a66f4-d30b-4dfb-a44c-e79c54a4e1f3?version=1.0]

CGR-Office of Comptroller General of the Republic. (2014) Informe de actuación especial (ACES) Instituto Colombiano de Desarrollo Rural-Incoder "Actuación especial sobre la acumulación irregular de predios baldíos en la Altillanura Colombiana". Bogotá D.C., Colombia. [Retrieved from: <http://www.observatoriode tierras.org/wp-content/uploads/2014/04/Contralor%C3%ADa-General-de-la-Rep%C3%ABlica.-INCODER-Acumulacion-Irregular-de-Baldios-Informe-ACES.pdf>]

Chakraborty, A., Seshasai, M. V. R., Reddy, C. S. & Dadhwal, V. K. (2018). Persistent negative changes in seasonal greenness over different forest types of India using MODIS time series NDVI data (2001–2014). *Ecological Indicators*, 85, 887–903. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.032>

CIAT (International Center for Tropical Agriculture) & CORMACARENA (Corporation for the Sustainable Development of La Macarena Special Management Area). (2017) Plan Regional Integral de Cambio Climático para la Orinoquia. CIAT: publication No. 438, Libre Expresión Creativos SAS: Cali, Colombia, pp. 51-133.

CONPES 3192. (2002). Plan Colombia: Alternativas energéticas en el Pacífico, la Orinoquia y la Amazonía. Bogotá DC, Colombia: Office of National Department of Planning.

CONPES 3218. (2003). Programa de desarrollo alternativo 2003 – 2006. Bogotá DC, Colombia: Office of National Department of Planning.

CONPES 3467. (2007). Concepto favorable a la nación para contratar un empréstito externo con la banca multilateral por un valor de hasta US \$30 millones o su equivalente en otras monedas, para financiar parcialmente el proyecto "Apoyo a alianzas productivas fase II". Bogotá DC, Colombia: Office of National Department of Planning.

CONPES 3558. (2008). Estrategias para

fortalecer las convocatorias para el desarrollo rural. Bogotá DC, Colombia: Office of National Department of Planning.

CONPES 3669. (2010). Política nacional de erradicación manual de cultivos ilícitos y desarrollo alternativo para la consolidación territorial. Bogotá DC, Colombia: Office of National Department of Planning.

CONPES 3797. (2014). Política para el desarrollo integral de la Orinoquia: Altillanura-Fase I. Bogotá DC, Colombia: Office of National Department of Planning.

CONPES 3827. (2015). Distribución de recursos para el certificado de incentivo forestal con fines comerciales (CIF de reforestación), vigencia 2015. Bogotá DC, Colombia: Office of National Department of Planning.

CORPORINOQUIA (Orinoquia Regional Autonomous Corporation). (2009). Resolution 200.41-09-1592. Tramite tendiente a otorgar licencias ambientales, concesiones, permisos y autorizaciones requeridas por la ley para el uso, aprovechamiento o movilización de los recursos naturales renovables o para el desarrollo de actividades que afecten o puedan afectar el medio ambiente en la jurisdicción de CORPORINOQUÍA. [Retrieved from: http://www.corporinoquia.gov.co/files/Gestion_tramites_y_servicios_ambientales/Resolucin_200_41_09-1592_LICENCIAS_AMBIENTALES_CONSESIONES_PERMISOS_AUTORIZACIONES.pdf]

CORPORINOQUIA (Orinoquia Regional Autonomous Corporation). (2013a). Plan de Gestión Ambiental Regional 2013-2025. [Retrieved from: https://www.corporinoquia.gov.co/files/pgar/doc_final_%20PGAR_2013_2025.pdf]

CORPORINOQUIA (Orinoquia Regional Autonomous Corporation). (2013b). Resolution 500.41-13-1571. Criterios regionales para el desarrollo de proyectos forestales, agrícolas y agroindustriales en la jurisdicción de CORPORINOQUÍA. [Retrieved from: http://www.corporinoquia.gov.co/files/Gestion_tramites_y_servicios_ambientales/Resolucin_50041131571.pdf]

DANE (National Administrative Department of Statistics). (1985). Censo General 1985- Estimaciones de población 1985-1992 [Retrieved from: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/muestras-censales>].

DANE (National Administrative Department of Statistics). (1993). Censo General 1993- Estimaciones de población 1993-2004 [Retrieved from: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/muestras-censales>].

DANE (National Administrative Department of Statistics). (2005). Censo General 2005- Estimaciones de población 2005-2020 [Retrieved from: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/muestras-censales>].

Dávalos, L.M., Holmes, J.S., Rodríguez, N., & Armenteras, D. (2014). Demand for beef is unrelated to pasture expansion in Northwestern Amazonia. *Biological Conservation*, 170, 64–73 <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.018>

Dayrell, C. (2012). El Cerrado brasileiro: Sabanas bajo presión. De la euforia al desastre. El caso de los Cerrados en el Norte de Minas Gerais. <https://www.semillas.org.co/es/de-la-euforia-al-desastre>

Decree 1235. Office of Ministry of Environment and Sustainable Development, Bogotá DC, Colombia, July 18th, 2018.

Decree 1541. Office of Ministry of Agriculture, Bogotá DC, Colombia, July 26th, 1978.

Decree 1640. Office of Ministry of Environment and Sustainable Development, Bogotá DC, Colombia, August 2nd, 2012.

Decree 1729. Presidency of the Republic, Bogotá DC, Colombia, August 6th, 2002.

Decree 2858. Presidency of the Republic, Bogotá DC, Colombia, October 13rd, 1981.

Decree 3100. Office of Ministry of Environment and Sustainable Development, Bogotá DC, Colombia, October 30th, 2003.

DNP-Office of National Department of

Planning. (2017) Regionalización: Presupuesto de inversión vigencia 2017, versión preliminar e indicativa. Bogotá DC, Colombia. [Retrieved from: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones%20y%20finanzas%20pblicas/LibroRegPreInd-POAI2017.pdf>]

DNP-Office of National Department of Planning. (2018). Perspectivas del Plan Nacional de Desarrollo frente a los procesos de ordenamiento territorial. Regional PND 2018-2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad. Bogotá DC, Colombia.

Dominati, E., Patterson, M. & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858-1868. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>

Duarte, C. (2016). Desencuentros territoriales. Tomo II. el caso de la Altillanura. Caracterización de los conflictos en las regiones de la Altillanura, Putumayo y Montes de María. Bogotá D.C., Colombia: *Instituto Colombiano de Antropología e Historia*.

Dudley, N. & Alexander, S. (2017). Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity*, 18, 45–9. <https://doi.org/10.1080/14888386.2017.1351892>

Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D. & Possingham, H. (2005). Modeling the age of tropical moist forest fragments in heavily-cleared lowland landscapes of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 208, 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.12.008>

Etter, A., McAlpine, C. & Possingham, H. (2008). Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: a regionalized spatial approach. *Annals of the American Association of Geographers*, 98(1), 2–23.

Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegan. (2021). Inventario Nacional Bovino a Nivel Municipal. Bogotá D.C., Colombia: *Federación Colombiana de Ganaderos* [Retrieved from: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-ganadero>]



- Ferraz, K. M. P. M. B., Siqueira, M. F., Martin, P.S., Esteves, C. F. & Couto, H. T. Z. (2010). Assessment of *Cercopithecus* thomasi distribution in an agricultural mosaic, southeastern Brazil. *Mammalia*, 74, 275-280. <http://dx.doi.org/10.1515/MAMM.2010.036>
- Fröhlich, B., Bach, E., Walde, I., Hese, S., Schumliuss, C. & Denzler, J. (2013). Land cover classification of satellite images using contextual information. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-3/W1. VCM 2013 - The ISPRS Workshop on 3D Virtual City Modeling, 28 May 2013, Regina, Canada.
- Gassón, R. A. (2002). Orinoquia: The archaeology of the Orinoco River Basin. *Journal of World Prehistory*, 16(3), 237-311, <https://doi.org/10.1023/A:1020978518142>
- Gómez, P. (2015) Vichada: Acaparamiento de tierras en la última frontera agraria. [Tesis de Maestría en Geografía]. [Bogotá D.C., Colombia]: Universidad de los Andes
- Gómez, S. & Soto, F. (2012). Dinámicas del mercado de tierra en América Latina. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), ISBN 978-92-5-3071117.
- Grande, J.D. (2015) Modelamiento morfométrico y análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la subcuenca del río Molino ubicada en el municipio de Popayán, departamento del Cauca, Utilizando la metodología Corine Land Cover con imágenes de sensores remotos. [Tesis de Especialización en Sistemas de Información Geográfica]. [Manizales]: Universidad de Manizales.
- Hernández, L.N. & Salamanca, J.A. (2019) Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca Sardinata, del departamento de Norte de Santander-Colombia. [Tesis de Especialización en Recursos Hídricos]. [Bogotá D.C.]: Universidad Católica de Colombia.
- Hoffmann, C. García, J. R. & Krueger, T. (2018). A local perspective on drivers and measures to slow deforestation in the Andean-Amazonian foothills of Colombia. *Land use policy*, 77, 379-391. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.043>
- Hurd, L. E., Sousa, R. G., Siqueira-Souza, F. K., Cooper, G. J., Kahn, J. R. & Freitas, C. E. (2016). Amazon floodplain fish communities: habitat connectivity and conservation in a rapidly deteriorating environment. *Biological Conservation*, 195, 118-127, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.01.005>
- Institute of Hidrology, Metereology and Environmental Studies- IDEAM. (2010) Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. IDEAM: Bogotá DC, Colombia, pp. 9-67.
- Jantz, S. M., Barker, B., Brooks, T. M., Chini, L. P., Huang, Q., Moore, R. M., Noel, J., Hurtt, G. (2015). Future habitat loss and extinctions driven by land-use change in biodiversity hotspots under four scenarios of climate-change mitigation. *Conservation Biology*, 29(4), 1122-1131, <https://doi.org/10.1111/cobi.12549>
- Khan, M. M. H., Bryceson, I., Korine N., Kolivras, K. N., Faruque, F., Rahman, M. M. & Haque, U. (2014). Natural disasters and land-use/land-cover change in the southwest coastal areas of Bangladesh. *Regional Environmental Change*, 15, 241-250. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0642-8>
- Keshtkar, H., Voigt, W. & Alizadeh, E. (2017). Land-cover classification and analysis of change using machine-learning classifiers and multi-temporal remote sensing imagery. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(154). <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2899-y>
- Lasso, C. A., Rial, A., Colonnello, G., Machado-Allison, A. & Trujillo, F. (2014). XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia-Venezuela). Bogotá DC, Colombia: Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Law 30. Congreso de la República. Bogotá D.C., Colombia, March 18th 1988, [Retrieved

from: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1787345>

Law 135. Congreso de la República. Bogotá D.C., Colombia, December 15th 1961, [Retrieved from: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=74153>]

Law 160. Congreso de la República. Bogotá D.C., Colombia, August 3rd 1994, [Retrieved from: <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Leyes/Ley%20160%20de%201994.pdf>]

Law 1337. Congreso de la República. Bogotá D.C., Colombia, January 8th 2010, [Retrieved from: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1677696>]

Law 1776. Congreso de la República. Bogotá D.C., Colombia, January 29th 2016, [Retrieved from: <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201776%20DEL%2029%20DE%20ENERO%20DE%202016.pdf>]

MADR – Office of Ministry of Agriculture and Rural Development. (2004) El renacimiento de la Orinoquia alta de Colombia. Bogotá DC, Colombia [Retrieved from: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18893>]

MADR – Office of Ministry of Agriculture and Rural Development. (2011) Plan de Acción para la Reforestación Comercial. Bogotá DC, Colombia. [Retrieved from: <https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5.%20Estadisticas%20Sector%20Forestal/Plan%20de%20Accion%20Reforestacion%20Comercial.pdf>]

Maldonado-Ocampo, J. A., Vari, R. P. & Usma, J. S. (2008). Checklist of the freshwater fishes of Colombia. *Biota colombiana*, 9(2), 143-237. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49120960001>

Mejía-Ramírez, J.A. (2016) Análisis multitemporal utilizando técnicas de Teledetección de la pérdida de cobertura vegetal por causa de la minería ilegal en el Bajo Cauca Antioqueño. [Tesis de Especialización en Geomática]. [Bogotá D.C.]: Universidad Militar Nueva Granada.

Mendoza, M. E., Granados, E. L., Geneletti, D., Pérez-Salicrup, D. R. & Salinas, V. (2011). Analysing land cover and land use change processes at watershed level: a multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). *Applied Geography*, 31(1), 237-250, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.010>

Minjusticia – Office of Ministry of Justice and Law. (2014) Caracterización Regional de la problemática asociada a las drogas ilícitas en el departamento de Vichada, Bogotá DC, Colombia, pp. 32-48, [Retrieved from: <http://www.odc.gov.co>].

Modica, G., Pollino, M. & Solano, F. (2019) Sentinel-2 imagery for mapping mork oak (*Quercus suber* L.) distribution in Calabria (Italy): Capabilities and quantitative estimation. In *New Metropolitan Perspectives*, eds. Calabrò, F., Della Spina, L., Bevilacqua, C. ISHT 2018, Smart Innovation, Systems and Technologies, vol. 100. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-92099-3_8

Monroy, D.M. & Armenteras, D. (2017). Land cover change caused by alluvial mining on the Nechí river, Antioquia (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 20(1), 50-61. <http://dx.doi.org/10.15446/ga.v20n1.61513>

Munsi, M., Malaviya, S., Oinam, G. & Joshi, PK. (2010). A landscape approach for quantifying land-use and land-cover change (1976–2006) in middle Himalaya. *Regional Environmental Change*, 10(2), 145-155. <https://doi.org/10.1007/s10113-009-0101-0>

Muñoz, D., Rodríguez, M. & Romero, M. (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca Las Minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(1), 11-24.

Nawar, S., Buddenbaum, H., Hill, J. & Kozak, J. (2014). Modeling and mapping of soil salinity with reflectance spectroscopy and Landsat data using two quantitative methods (PLSR and MARS). *Remote Sensing*, 6(11), 10813-10834. <https://doi.org/10.3390/rs61110813>



- Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., Börger, L., Bennet, D. J., Choimes, A., Collen, B., Day, J., De Palma, A., Díaz, S., Echeverría-Londoño, S., Edgar, M. J., Feldman, A., Garon, M., Harrison, M. L. K., Alhousseine, T.. Purvis, A. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45-50. <https://doi.org/10.1038/nature14324>
- Nieto, L. E. (2015). Chapter 4: La Orinoquia Colombiana y el Biodiesel. In *Biotecnología, Agrocombustibles y cambio climático*. In *Biotecnología, Agrocombustibles y cambio climático. Perspectiva crítica*, ed. L. E. Nieto (Universidad Nacional Abierta y a Distancia), 77-89
- Ortega, L.M. (2016). Extranjerización de la tierra en la Altillanura Colombiana, durante el periodo 2002-2015. [Tesis del pregrado en Ciencias Políticas]. [Bogotá D.C.]: Pontificia Universidad Javeriana.
- Oxfam. (2013). *Divide y comprarás. Una nueva forma de concentrar tierras baldías en Colombia*. Oxfam GB, Oxfam House, Jhon Smith Drive, Cowley, Oxford, UK: OXFAM International, 40 p.
- Peña-Levano, L.M., Lowenberg-Deboer, J., Sanders, J., Preckel, P., Jerez, K. & Fontanilla, C. (2018). Complementarity between production activities and resource use: Partial Budget Analysis vs. Linear Programming [poster]. [Washington DC]: Agricultural and Applied Economics Association Annual Meeting
- Peñuela, L. & Rodríguez, J.J. (2014). Chapter 1: Contexto forestal en la cuenca del río Bitá, Vichada, in *Manejo Forestal Sostenible en plantaciones en la cuenca del río Bitá, Vichada, Colombia*, eds. Pacheco, M., Peñuela, L., Solano, C., and Galán, S. [Bogotá D.C., Colombia: Asociación Red Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RESNATUR), Fundación Natura (FN), World Wildlife Fund (WWF), The Nature Conservancy (TNC), and Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN)] 25-67
- Perz, S.G., Aramburú, C. & Bremner, J. (2005). Population, land use and deforestation in the pan amazon basin: a comparison of Brazil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru and Venezuela. *Environment, Development and Sustainability*, 7, 23-49. <https://doi.org/10.1007/s10668-003-6977-9>
- Oficina del Alto Comisionado para la Paz Colombia (Office of the High Commissioner for Peace Colombia). (2016). Colombia: El Acuerdo Final de Paz. La oportunidad para construir paz (Cartilla completa del Acuerdo). June 2016. [Retrieved from: <https://www.refworld.org/es/docid/5a874f254.html>]
- Príncipe, R. E. & Willems, B. (2018). Aplicación del algoritmo de redes elásticas en imágenes satelitales. *Revista de Investigación de Física*, 21(1), 182101401.
- Ramsar. (2015). Cuarto Plan Estratégico para 2016 – 2024. Punta del Este, Uruguay: Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas – la “Convención de Ramsar”.
- Ramsar. (2016). Introducción a la convención sobre los humedales. Manual de la Convención de Ramsar, Subserie I: Manual 1 Cooperación internacional sobre los humedales, 5th edition.
- Rausch, J.M. (2017). Globalization and changing conceptions of Colombia’s Llanos frontier since 1980. In *Transnational frontiers of Asia and Latin America since 1800*, eds. J. Moreno Tejada and B. Tatar. New York, USA: Routledge, Taylor and Francis group. 17-30 p.
- Office of Ministry of Environment and Sustainable Development. (2004). Resolution 157. Uso sostenible, conservación y manejo de los humedales, y se desarrollan aspectos referidos a los mismos en aplicación de la Convención Ramsar. [Retrieved from: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion%200196%20de%202006-Feb-01.pdf]
- Office of Ministry of Environment and Sustainable Development. (2006). Resolution 196. Guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia. [Retrieved from: <https://www.>

cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion%200196%20de%202006-Feb-01.pdf]

Office of Ministry of Environment and Sustainable Development. (2006). Resolution 1128. Guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia. [Retrieved from: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion%201128%20de%202006-Jun-15.pdf]

Robinson, K. (2018). Araneae biodiversity in the Ecuadorian Chocó: Impact of altitude and land use on spider diversity. [Bachelor's dissertation in Comparative Ecology and Conservation]. [Minnesota]: University of Minnesota

Romero, M., Maldonado-Ocampo, J. A., Bogotá, J. D., Usama, S., Umaña, A. M., Murillo, J., Restrepo, S., Álvarez, M., Palacios, M. T., Valbuena, S., Mejía, S. L., Aldana, J. Payán, E. (2009). Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007-2008: piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).

Romero, M., Trujillo, F., Lasso, C.A. & Campo, O. (2017). Chapter 1: Área de estudio. In IV. Biodiversidad en el río Bitá, Vichada, Colombia, eds. F. Trujillo and C. A. Lasso (Editorial fauna Silvestre Neotropical). Bogotá DC: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 29-45 p.

Salamanca-Córdoba, N.L. (2020) Análisis multitemporal de las coberturas del uso del suelo en la microcuenca río Blanco de San José, municipio de Mogotes, Santander. [Tesis de Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas]. [Bogotá D.C.]: Universidad Santo Tomás.

Sanabria-Lombana, B.J. (2018) Análisis multitemporal de la cobertura vegetal, zonas de erosión y dirección del cauce, en la

cuenca del río Cravo Sur, comprendido desde el municipio de Soacha en el departamento de Boyacá hasta el municipio de Yopal en el departamento de Casanare. [Tesis de pregrado en Ingeniería Geológica]. [Tunja]: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Sánchez, D., Pinilla, G.A. & Mancera, J.E. (2015). Effects of land use on soil properties and run-off in a Colombian Orinoco water basin. *Colombia Forestal*, 18(2), 255-272. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a06>

Santacruz-Delgado, A.M. (2019). Recent and future anthropogenic transformation of the colombian llanos. [Doctorate's dissertation in Philosophy]. [Worcester, Massachusetts, USA]: Clark University

Sheng, H., Chen, X., Su, J., Rajagopal, R. & Ng, A. (2020). Effective data fusion with Generalized Vegetation Index: Evidence from land cover segmentation in agriculture. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*, 2020, pp. 60-61.

Souza-Filho, P. W. M., Nascimento, W. R., Santos, D. C., Weber, E. J., Silva, R. O., & Siqueira, J. O. (2018). A GEOBIA approach for multitemporal land-cover and land-use change analysis in a tropical watershed in the south-eastern Amazon. *Remote Sensing*, 10(11), 1683. <https://doi.org/10.3390/rs10111683>

Suárez, C.F., Paez-Vasquez, M., Trujillo, F., Usma, J.S., Thieme, M., Bassi, A.M., Naranjo, L.G., Costanzo, S., Manrique, O., Pallaske, G. & Flechas, J. (2021). How to protect free flowing rivers: The Bitá river Ramsar Site as an example of science and management tools working together. *Sustainability*, 13, 1775. <https://doi.org/10.3390/su13041775>

Sun, Y., Ren, H., Zhang, T., Zhang, C. & Qin, Q. (2018). Crop leaf area index retrieval based on inverted difference vegetation index and NDVI. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(11), 1662-1666. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2856765>

Thompson, P. L., Rayfield, B. & Gonzalez,



- A. (2017). Loss of habitat and connectivity erodes species diversity, ecosystem functioning, and stability in metacommunity networks. *Ecography*, 40(1), 98-108. <https://doi.org/10.1111/ecog.02558>
- Trillos G., D. (2010). Alternativas para aumentar la productividad en el sistema de explotación bovina extensiva de cría en el municipio de La Primavera, departamento del Vichada. [Tesis de Maestría en Desarrollo Rural]. [Bogotá D.C., Colombia]: Pontificia Universidad Javeriana
- Trujillo, F. & Lasso, C.A. (2017). IV. Biodiversidad en el río Bitá, Vichada, Colombia. Bogotá D.C., Colombia: Editorial fauna Silvestre Neotropical, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- USGS. (1985a). LT05_L1TP_004056_19850310_20170219_01_T1, [satelital image], cited: 18 jun 2021 <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (1985b). LT05_L1GS_005056_19850301_20170219_01_T2, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (1998a). LT05_L1TP_005056_1981202_20161220_01_T1, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (1998b). LT05_L1TP_004056_1981125_20161220_01_T2, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2001a). LE07_L1TP_004056_20011125_20170202_01_T1, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2001b). LE07_L1GT_005056_20011031_20170202_01_T2, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2005a). LE07_L1TP_004056_20050120_20170116_01_T1, [satelital image]. [Retrieved from: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, cited: 18 jun 2021.
- USGS. (2005b). LE07_L1TP_005056_20050127_20170117_01_T1, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2009a). LE07_L1TP_004056_20091201_20161216_01_T1, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2009b). LE07_L1TP_005056_20091122_20161217_01_T1, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2013a). LE07_L1TP_004056_20131126_20161119_01_T1, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2013b). LE07_L1TP_005056_20131117_20161119_01_T1, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2017a). L1C_T19NFG_A008616_20170214T145719, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2017b). L1C_T19NEG_A008616_20170214T145719, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2017c). L1C_T19NDG_A008659_20170217T150714, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- USGS. (2017d). L1C_T19NCG_A008659_20170217T150714, [satelital image], cited: 18 jun 2021. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vargas-González, J.A. (2013). Análisis multitemporal de la cobertura del suelo en el departamento del Huila (Alto Magdalena, Colombia). [Tesis de Pregrado en Ingeniería Geógrafa y Ambiental]. [Bogotá D.C.]: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.
- Vargas, L. E. P., Laurance, W. F., Clements,

G. R. & Edwards, W. (2015). The impacts of oil palm agriculture on Colombia's biodiversity: what we know and still need to know. *Tropical Conservation Science*, 8(8), 28-45, <https://doi.org/10.1177/194008291500800317>

Viloria, J. (2009). Geografía económica de la Orinoquia. Cartagena, Colombia: Banco de la República, Documentos de Trabajo sobre Economía Regional y Urbana, n° 113

Williams, B. A., Grantham, H. S., Watson, J., Alvarez, S. J., Simmonds, J., Rogéliz, C. et al. (2020) Minimizing the loss of biodiversity and ecosystem services in an intact landscape

under risk of rapid agricultural development. *Environmental Research Letters*, 15, 014001, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5ff7>

Yepes-Mayorga, A. (2012) *Cambio Climático: estrategias de gestión con el tiempo en contra... Orinoquia*, 16(1), 77-92.

Zuo, L., Zhang, Z., Zhao, X., Wang, X., Wu, W., Yi L. & Liu, F. (2014). Multitemporal analysis of cropland transition in a climate sensitive area: a case of study of the arid and semiarid region of northwest China. *Regional Environmental Change*, 14, 75-89. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0435-5>

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.



ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES DESDE UN ENFOQUE SISTÉMICO: UNA REVISIÓN

ALTERNATIVES FOR THE STABILIZATION OF SLUDGE GENERATED IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS FROM A SYSTEMIC APPROACH: A REVIEW

Rossember Saldaña-Escorcía • rsaldanae@unicesar.edu.co

Ingeniero Ambiental y Sanitario, Grupo de Investigación en Gestión Ambiental y Territorios Sostenible (GE&TES), Universidad Popular del Cesar seccional Aguachica, Colombia.

Jeansy Karina Castillo Gámez • jkcastillo@unicesar.edu.co

Estudiante de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad Popular del Cesar seccional Aguachica, Colombia.

Citación: Saldaña-Escorcía, R., Castillo Gámez, J. (2022). Alternativas de estabilización de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales, desde un enfoque sistémico: Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 175- 194. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4504>

RESUMEN

175

Contextualización: el crecimiento demográfico y los problemas ambientales en el ámbito local, nacional e internacional, relacionados con la contaminación de los lodos sin tratar, debido a los volúmenes en aumento de dichos residuos generados por las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), aumenta la degradación del medio ambiente.

Vacío de conocimiento: hay deficiencias en los manejos de los lodos residuales por desconocimiento de las alternativas convencionales y sostenibles de estabilización, lo que causa que estos no sean aprovechados, debido a sus características, y terminen siendo desechados en puntos de disposición final, lo cual puede generar severos problemas de contaminación.

Propósito: evaluar la literatura científica sobre las alternativas implementadas en la estabilización de lodos residuales generados en las EDAR, mediante una revisión documental y un análisis bibliométrico basado en la construcción de diagramas estratégicos y mapa de co-ocurrencia, con el fin de

identificar las tendencias de investigación en la temática.

Metodología: se indagó la literatura científica mediante un algoritmo de búsqueda con conectores booleanos en la base de datos especializada Scopus®, la cual se analizó mediante redes bibliométricas y diagramas estratégicos y se ordenó una base de datos con la información relevante para el análisis conceptual sobre la temática.

Resultados y conclusiones: se obtuvieron 1693 documentos enmarcados en las alternativas de estabilización de biosólidos provenientes de las EDAR, lo que permitió identificar que países como Estados Unidos, China, Brasil y España poseen la mayor producción científica sobre la temática. La generación de biosólidos es una problemática que ha fundamentado investigaciones para la gestión adecuada de estos residuos, para así evitar generar problemas de contaminación, dado que las alternativas convencionales más empleadas para el tratamiento de biosólidos son la digestión anaerobia, el espesamiento, la deshidratación y la incineración, que son

eficientes en la gestión, pero desaprovechan el potencial de dichos residuos. Las alternativas como el compostaje y la lombricultura generan subproductos que se pueden aprovechar y de esta forma lograr una disposición final de manera adecuada,

que reduzca los costos operacionales y genere beneficios económicos.

Palabras clave: contaminación; estabilización; gestión ambiental; lodos residuales; tecnologías; tratamiento del agua

ABSTRACT

Contextualization: Population growth and environmental problems at the local, national and international levels related to pollution from untreated sludge, due to the increasing volumes of such waste generated by wastewater treatment plants (WWTPs), increase environmental degradation.

Knowledge gap: There are deficiencies in the management of sewage sludge, attributable to a lack of knowledge of conventional and sustainable stabilization alternatives, which means that the sludge is not used, because of its characteristics, and is placed at final disposal points, which can generate severe contamination problems.

Purpose: Evaluate the scientific literature on the alternatives implemented in the stabilization of sewage sludge generated in WWTPs, through a documentary review and a bibliometric analysis based on the construction of strategic diagrams and a co-occurrence map, to identify research trends in the subject.

Methodology: Searching of scientific literature was carried out using a searching algorithm with Boolean connectors, in the

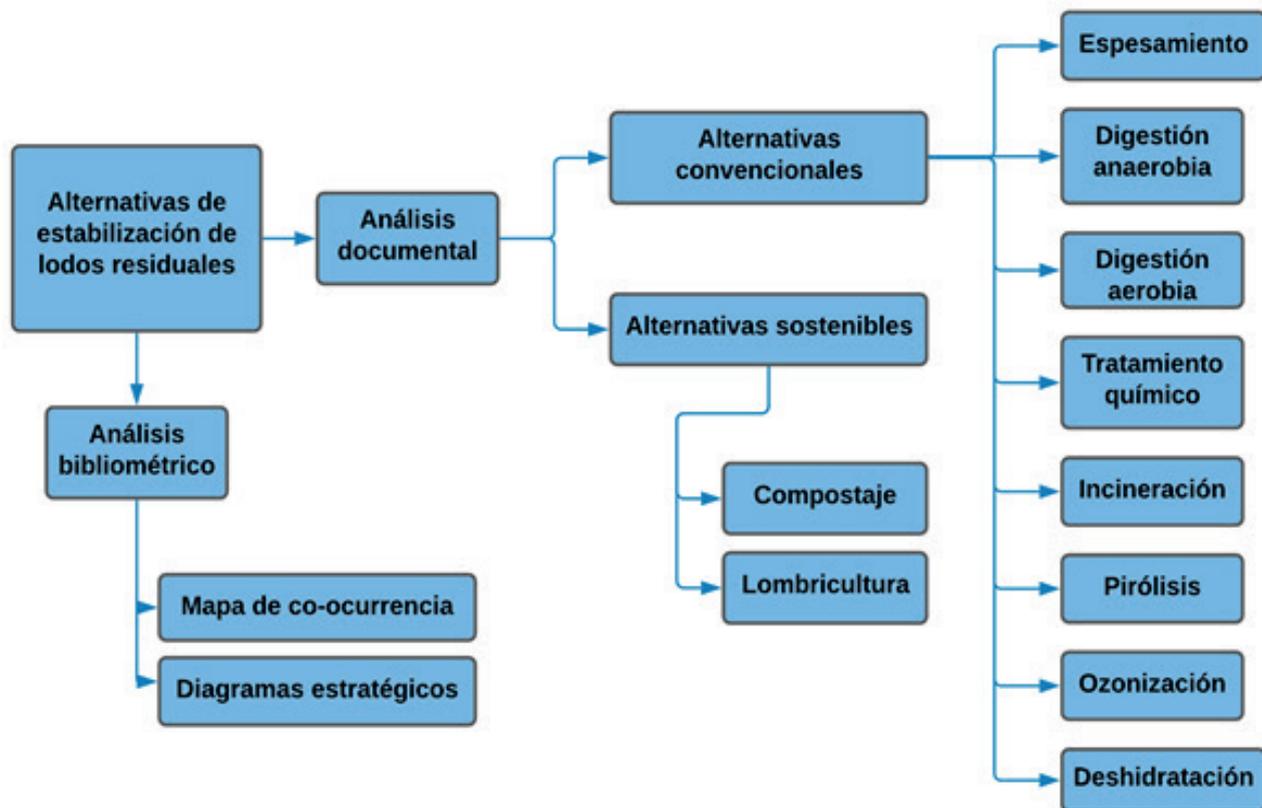
specialized database Scopus®. Then, it was analysed making use of bibliometric networks and strategic diagrams. Later, a data base with the relevant information for the conceptual analysis of the subject was organized.

Results and conclusions: A total of 1,693 documents about biosolids stabilization alternatives from WWTPs were found, pointing out that countries such as the United States, China, Brazil, and Spain, have the highest scientific production on the subject. The generation of biosolids is a problem that has originated researches about the proper management of this waste to avoid pollution problems, since the most used alternatives are anaerobic digestion, thickening, dehydration and incineration, which are efficient in management, but do not take advantage of the potential exploitation of these wastes. Alternatives such as composting and vermiculture generate by-products that could be used to achieve an adequate final disposal, reducing operational costs and obtaining economic benefits.

Keywords: pollution; stabilization; environmental management; sewage sludge; technologies; water treatment



RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales es un asunto que debido al paso de los años, al crecimiento demográfico y a los avances tecnológicos y científicos, ha tomado gran importancia, en especial si de contribuir al medio ambiente se trata. Este proceso busca evitar que las aguas servidas, las cuales cuentan con altas concentraciones de microorganismos patógenos, materia orgánica, nutrientes e incluso metales pesados (Donado, 2013; Parra, 2015), sean dispuestas directamente en afluentes, los cuales superan su capacidad natural de depuración, lo que afecta a las poblaciones que se benefician de los servicios ecosistémicos y también las especies de fauna y flora que en ellos habitan.

Ahora bien, es importante destacar que de los 32 países de América Latina, 9 disponen de información completa referente a la generación, tratamiento y reutilización de aguas residuales, 10 de ellos presentan

información parcial y los 13 restantes no reportan (Utria-Borges et al., 2008). Colombia hace parte de los países con información parcial, reportando una producción de 274 toneladas de lodos/día que proviene de las diferentes EDAR. Sin embargo, no se tiene en cuenta aquellas plantas municipales que no reportan información (Castellanos-Rozo et al., 2018).

En la actualidad, uno de los principales retos que enfrentan las empresas que prestan servicios como los de acueducto y alcantarillado, es el método que deben usar para realizar la adecuada disposición de los lodos que se generan como subproducto, pues estos representan una importante fuente de contaminación (Magee et al., 2018; Utria-Borges et al., 2008). Sin embargo, la disposición final de los lodos genera ciertos gastos económicos, puesto que requieren de la instalación de reactores o de sistemas de estabilización para el tratamiento. Es por ello que, en ciertas ocasiones, son vertidos sin

tratamiento alguno a los cuerpos de agua, al igual que a los rellenos sanitarios, lo que aumenta la contaminación ambiental (Castillo Sánchez et al., 2020).

Hasta el momento, alrededor del mundo se han realizado diversas investigaciones respecto a este tema. Con base en ellas, se han podido identificar las principales técnicas para el tratamiento de lodos: físicas, químicas y biológicas. Se han implementado, además, algunos métodos de estabilización: el tratamiento químico (Husillos Rodríguez et al., 2012), la incineración (Silva-Leal et al., 2013), la deshidratación (Santos et al., 2016), el compostaje (Awasthi et al., 2018) y el vermicompostaje (Chávez Porras et al., 2017).

Asimismo, autores como Torres Lozada et al. (2009) emplearon tratamientos químicos para tratar los lodos, que tuvieron como resultado la disminución de la carga de microorganismos patógenos, mediante la cal viva o hidratada. Por otra parte, se han empleado alternativas sostenibles como el compostaje. Ramírez-Coutiño et al. (2013) determinó la viabilidad que tiene el compostaje para estabilizar los lodos residuales y obtener como subproducto un abono orgánico que puede emplearse en la regeneración de los suelos degradados (Grajales et al., 2006).

De igual manera se han utilizado métodos sostenibles que emplean lombrices, alimentadas con diferentes sustratos. Este es el caso de Xing et al. (2012) y Nguyen et al. (2021) quienes determinaron los cambios químicos en el subproducto obtenido, así como las concentraciones de micro y macronutrientes, mientras que Hait y Tare (2011a, 2011b) lograron obtener, a través de la lombricultura como proceso integral, un material de relleno y/o una fuente de cultivo microbiano. A nivel económico, estas técnicas han sido consolidadas como estrategia crucial para el desarrollo de la economía circular en el mundo, lo que disminuye el impacto ambiental que los lodos pueden generar (Lim et al., 2016; Rorat & Vandenbulcke, 2019).

En algunos estudios se ha mostrado que los lodos residuales pueden emplearse para la elaboración de ladrillos. La introducción de lodos en este proceso resulta de especial

interés, debido a que determinados materiales cerámicos disponen de gran capacidad para inactivar metales pesados (Fuentes Molina et al., 2019). Además, para la fabricación de cemento pueden utilizarse lodos previamente tratados con cal, empleándolos como materia prima alternativa, ya que aportan calcio en el crudo, en sustitución de la caliza (Rodríguez Fernández, 2019; Valderrama, 2013).

formas. Sin embargo, el desconocimiento en relación con las alternativas de estabilización, impide el aprovechamiento del subproducto, lo que supondría la obtención de beneficios económicos y ambientales. Por consiguiente, el presente artículo tiene como propósito evaluar la literatura científica sobre las alternativas implementadas en la estabilización de lodos residuales generados en las EDAR, por medio de una revisión documental, un análisis bibliométrico basado en la construcción de diagramas estratégicos y un mapa de coocurrencia, con el fin de identificar las tendencias de investigación en la temática.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración del artículo comprende un tipo de investigación cualitativo-documental, que permite identificar las principales tendencias de las investigaciones mundiales en un área de conocimiento específica, mediante la revisión documental (Gómez et al., 2015), a partir del proceso de selección de la documentación científica (Figura 1). Para lograr esto se realizó una búsqueda sistemática de información científica, utilizando la base de datos especializada Scopus (Scopus, 2020).

En la primera etapa se identificaron las palabras clave, mediante la gestión de una matriz, para seleccionar el siguiente algoritmo de búsqueda: "sewage sludge" OR "biosolids" AND "stabilization". Mediante este algoritmo fue posible recopilar los documentos para realizar el análisis bibliométrico en el software SciMAT 1.1.04. La literatura obtenida fue segregada en 7 periodos: (2000-2002), (2003-2005), (2006-2008), (2009-2011), (2012-2014), (2015-2017) y (2018-2021) y fue utilizada para la construcción los diagramas estratégicos mediante las



medidas de centralidad y densidad, utilizando la metodología propuesta por Cobo et al. (2012). Además, se estableció en el software la siguiente configuración para la obtención de dichos diagramas: la elección de palabras claves como unidad de investigación, coocurrencia para la construcción de los diagramas, el índice de equivalencia como medida de similitud y algoritmos de centros simples para la agrupación de los ejes temáticos.

El diagrama estratégico posee dos ejes divididos en cuatro categorías o cuadrantes: en el cuadrante superior derecho se encuentran los temas motores que están bien desarrollados y son fundamentales para la construcción del campo científico; en el cuadrante superior izquierdo, temas periféricos caracterizados por un desarrollo especializado interno, pero aislados de los temas externos teniendo una escasa relevancia.

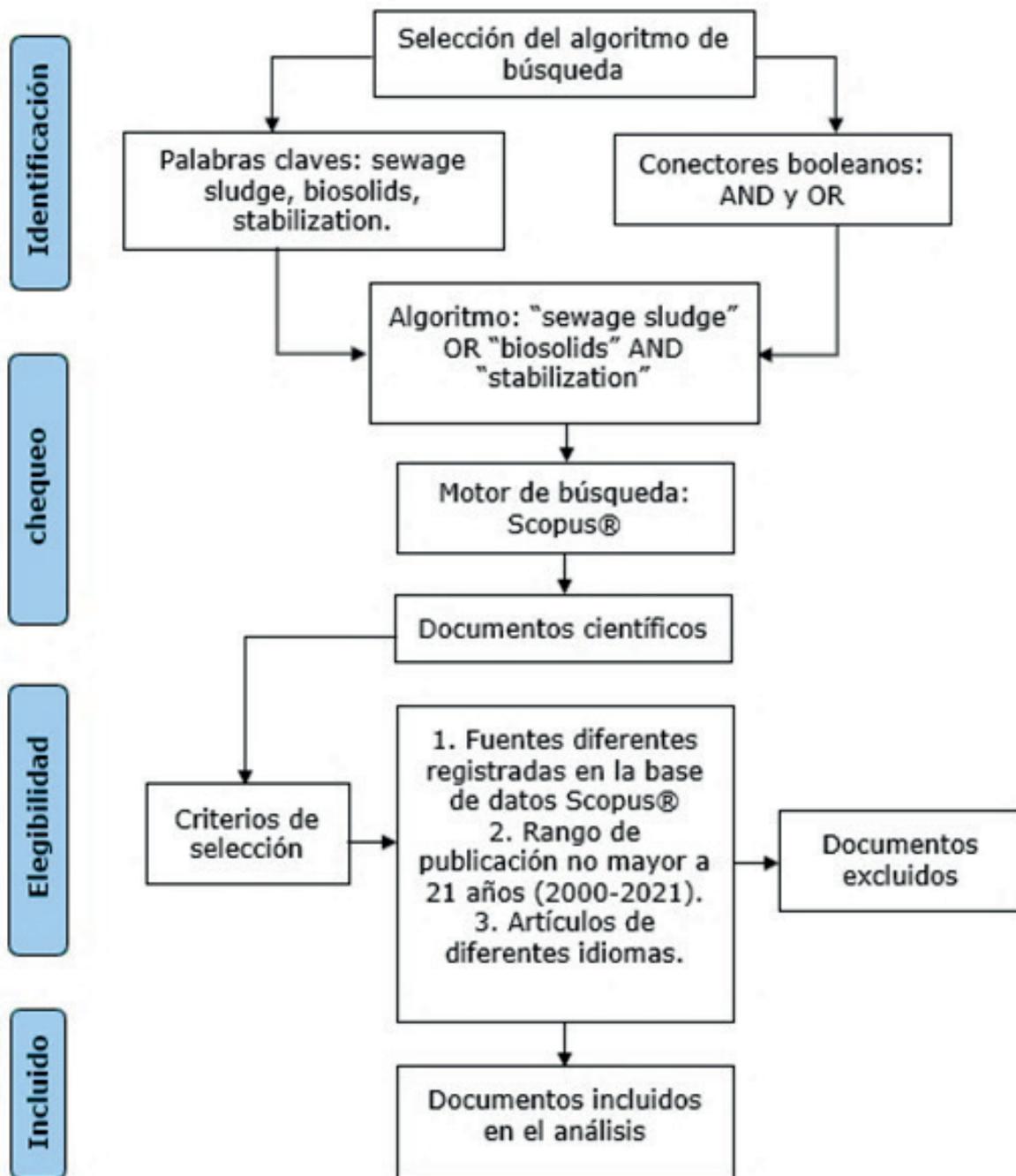


Figura 1. Diagrama metodológico de selección. Fuente: autores.

En el cuadrante inferior izquierdo se incluyen los temas emergentes o en desaparición ya que tienen una centralidad y densidad baja por ser temas de escaso desarrollo en el campo científico. Por último, el cuadrante inferior derecho muestra los temas importantes pero básicos, y los transversales con desarrollo precario (Álvarez-Marin et al., 2017; Montero-Díaz et al., 2018).

Por otra parte, se utilizó el software VOSviewer para la construcción del mapa basado en la matriz de co-ocurrencia adoptando la técnica VOS propuesta por (Van Eck y Waltman, 2010), la cual implementa la medida de similitud conocida como índice de proximidad (Van Eck et al., 2006). El mapa muestra colores que indican el grupo asignado, mientras las líneas entre elementos señalan la relación de los ejes temáticos.

Posteriormente, los resultados obtenidos en SciMAT se clasificaron de la siguiente manera: países, instituciones y revistas más productivas; autores que predominan con mayor productividad y artículos con más citas en la temática. Con estas clasificaciones se realizó un análisis descriptivo del tema en cuestión. Asimismo, con los registros obtenidos por medio del algoritmo de búsqueda, se realizó la evaluación de títulos y resúmenes y, seguidamente, del texto completo de los artículos seleccionados por su relevancia. La extracción y análisis crítico de los datos se llevó a cabo mediante una matriz, teniendo en cuenta los hallazgos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis bibliométrico

El desarrollo del análisis bibliométrico inició con la ejecución del algoritmo obtenido en la matriz de búsqueda, en el que se seleccionó un lapso de 21 años. El resultado final incluyó 1693 publicaciones, las cuales se dividieron en 1404 (82.93 %) artículos originales, 171 (10.10 %) comunicaciones breves, 59 (3.48 %) revisiones, 35 (2.07 %) capítulos de libros y 12 (0.71 %) documento de conferencia.

El manejo inadecuado de los lodos residuales se ha generado principalmente por el desconocimiento de las alternativas de estabilización, lo que conlleva a focos de contaminación debido a las características que estos poseen. En consecuencia, se ha generado una mayor producción en el campo de la investigación por autores tales como

Halden, R. U., que con 25 documentos es el autor con más publicaciones; seguido por Smith, S. R., y Zhu, N., los cuales tienen 18 artículos publicados; así como por Yang, J., con 17; y Wang, H., con 15 documentos sobre la temática. Como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Autores con mayor número de artículos acerca del tratamiento de lodos.

SCR	Autores	TP
1	Halden, R. U.	25
2	Smith, S. R.	18
3	Zhu, N.	18
4	Yang, J.	17
5	Wang, H.	15
6	Wang, Y.	14
7	Grobelak, A.	13
8	Dentel, S.K.	13
9	Venkatesan, A.K.	12
10	Sampaio, R.A.	12

SCR: Standard Competition Ranking, TP: número total de documentos.

Fuente: Autores a partir de datos recopilados en Scopus®.

En la Tabla 2 se puede observar la participación de los diferentes países en la producción científica sobre manejo de lodos residuales, estableciendo que Estados Unidos con el 19 % (369 documentos) tiene el mayor porcentaje de publicaciones relacionadas con el tema, seguido por China con 14 % (268), Brasil con 10 % (198), España con 9 % (171) y Polonia con 8 % (150).

Tabla 2. Países con mayor número de artículos sobre la temática.

SCR	País	TP
1	Estados Unidos	369
2	China	268
3	Brasil	198
4	España	171
5	Polonia	150
6	Reino Unido	104
7	Canadá	100
8	Australia	86
9	Italia	75
10	Francia	73

SCR: Standard Competition Ranking, TP: Número total de documentos.

Fuente: Autores a partir de datos recopilados en Scopus®.



Adicional a esto, en la Tabla 3 se muestra la clasificación de instituciones más productivas por cantidad de publicaciones sobre el tema. La lista está encabezada por la Universidad Tecnológica de Częstochowa (Polonia), seguida de la Universidad de São Paulo (Brasil); lo que indica correlación con los países con mayor número de publicaciones, como se puede observar en la Tabla 2.

Por otra parte, la Tabla 4 muestra las diez (10) principales revistas que poseen mayor número de artículos científicos sobre la temática de tratamiento de lodos. De acuerdo con esto, 127 documentos se publicaron en la revista *Water Science and Technology*, 82 en *Bioresource Technology* y 59 en el *Science of the Total Environment*.

Tabla 3. Instituciones con mayor número de publicaciones respecto al manejo de lodos.

SCR	Institución	TP
1	Universidad Tecnológica de Częstochowa	48
2	Universidade de São Paulo - USP	43
3	Universidad de Tongji	43
4	Academia china de ciencias	36
5	UNESP-Universidade Estadual Paulista	33
6	Universidad del estado de Arizona	31
7	Colegio Imperial de Londres	27
8	Universidade Federal de Minas Gerais	26
9	Ministerio de Educación de China	25
10	Universidad de Florida	24

SCR: Standard Competition Ranking, TP: Número total de documentos.

Fuente: Autores a partir de datos recopilados en Scopus®.



Tabla 4. Revistas más productivas sobre el tema.

SCR	Revista	TP	SRJ2020	Q	H	País
1	Water Science and Technology	127	0.41	3	137	Reino Unido
2	Bioresource Technology	82	2.49	1	294	Holanda
3	Science of the Total Environment	59	1.8	1	244	Holanda
4	Chemosphere	56	1.63	1	248	Reino Unido
5	Journal of Hazardous Materials	54	2.03	1	284	Holanda
6	Waste Management	52	1.81	1	161	Reino Unido
7	Water Research	50	3.1	1	303	Holanda
8	Journal of Environmental Management	31	1.44	1	179	Estados Unidos
9	Environmental Science and Pollution Research	31	0.85	2	113	Alemania
10	Environmental Science and Technology	29	2.32	1	107	Reino Unido

SRJ: Scientific Journal Ranking, TP: número total de documentos, Q: Cuartil, H: H-Index.

Fuente: Autores a partir de datos recopilados de Scimago y SciMAT.

De acuerdo con el Scientific Journal Ranking (SJR), las diez revistas tienen un índice $h > 100$ y ocho se encuentran en el cuartil 1 (Q1), mientras que las dos restantes están en cuartil 2 y 3 (Q2, Q3). El Índice H y los cuartiles muestran el nivel de impacto, relevancia y calidad científica que poseen dichas revistas. Al mismo tiempo, Holanda y Reino Unido son los países con mayor

publicación de revistas sobre la temática analizada; seguidos por Alemania y Estados Unidos, que poseen una revista cada uno como se muestra en la Tabla 4.

Por otra parte, se encontraron cuatro artículos con más de 500 citas. Hasta ahora, el artículo más citado ha sido "*Potential benefits and risks of land application of*

sewage sludge" con 702 citas, publicado en el 2008 en la revista Waste Management, cómo se puede visualizar en la tabla 5. Asimismo, siete de los diez artículos más citados se publicaron en las revistas *Waste Management*, *Bioresource Technology*, *Science of the Total Environment*, *Water Research* y *Journal of Hazardous Materials*, las cuales se encuentran dentro de las diez revistas con mayor número de publicaciones de la tabla 4.

Los diagramas estratégicos muestran cómo los temas relevantes para el desarrollo de la temática analizada en el campo científico,

tales como los suelos agrícolas, residuos, actividades enzimáticas y las lombrices de tierra, están asociados con la evaluación de los impactos ambientales generados por los lodos residuales (Figura 2a). También los temas transversales dejan ver como los lodos están relacionados con las aguas residuales, las propiedades del suelo y el riesgo ambiental que generan. De igual manera, los lodos se relacionan estrechamente con el tratamiento de las aguas residuales, la materia orgánica, las concentraciones de sustancias inorgánicas y la estabilización de estos (Figura 2b).

Tabla 5. Artículos más citados acerca del tratamiento de lodos.

SCR	Título	Autores-Año	Revista	Citas
1	Potential benefits and risks of land application of sewage sludge	(Singh y Agrawal, 2008)	Waste Management	702
2	A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge	(Smith, 2009)	Environment International	626
3	Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils	(Ma et al., 2011)	Biotechnology Advances	902
4	Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries	(Kelessidis y Stasinakis, 2012)	Waste Management	610
5	Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids	(Clarke y Smith, 2011)	Environment International	494
6	The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend	(Liang et al., 2003)	Bioresource Technology	424
7	Organic chemicals in sewage sludges	(Harrison et al., 2006)	Science of the Total Environment	359
8	Pharmaceuticals and personal care products in archived U.S. biosolids from the 2001 EPA national sewage sludge survey	(McClellan y Halden, 2010)	Water Research	352
9	Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature	(Gavala et al., 2003)	Water Research	315
10	Heavy metal speciation and leaching behaviors in cement based solidified/stabilized waste materials	(Li et al., 2001)	Journal of Hazardous Materials	295

Fuente: Autores a partir de datos recopilados en SciMAT.

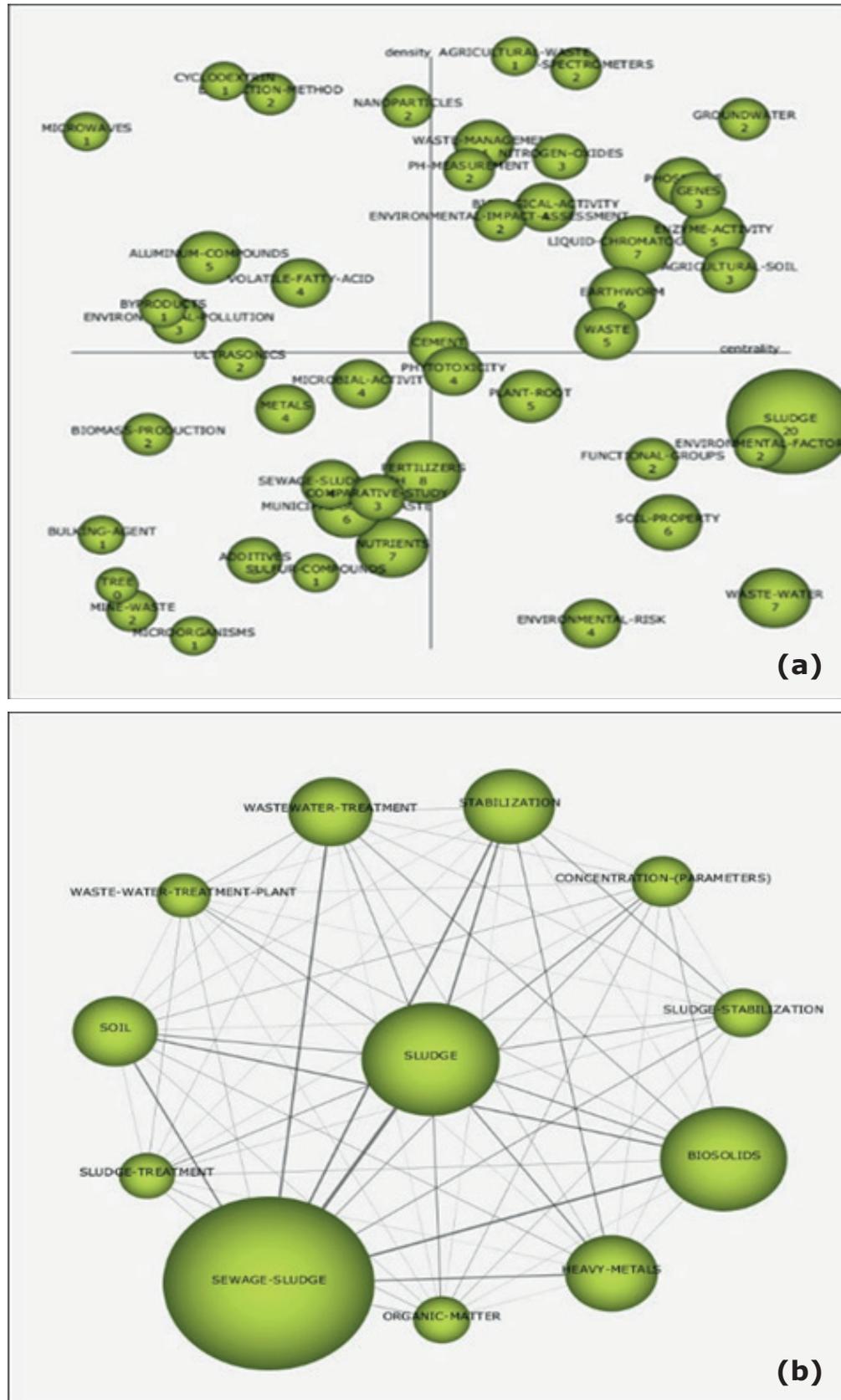


Figura 2. Diagramas estratégicos.

Fuente: Autores a partir de datos recopilados en SciMAT.

Por otra parte, en la Figura 2a se observa que temas centrados en las nanopartículas, los compuestos de aluminio, la contaminación ambiental, los bioproductos y las sustancias volátiles se han estudiado. Sin embargo, no están entrelazados con la temática en general. A su vez, temas como fertilizantes, nutrientes, actividad microbiana y producción de biomasa han quedado marginados en el campo investigativo.

En el mapa de coocurrencia (Figura 3) se pueden apreciar cinco ejes temáticos o clústers (wastewater treatment, biosolids, sewage,

sludge and stabilization) representados por distintos colores (Rojo, amarillo, verde, azul y morado). Esto permite apreciar los nexos de unos conceptos con otros, puesto que estas son las temáticas con mayor estudio u ocurrencia. De igual manera, se puede notar que el primer eje temático se centró en el tratamiento de las aguas residuales, particularmente en la actividad microbiana, así como en las partes del proceso y los residuos generados durante el tratamiento. Este eje incluyó palabras como biorreactores, sólidos, patógenos, bacterias.

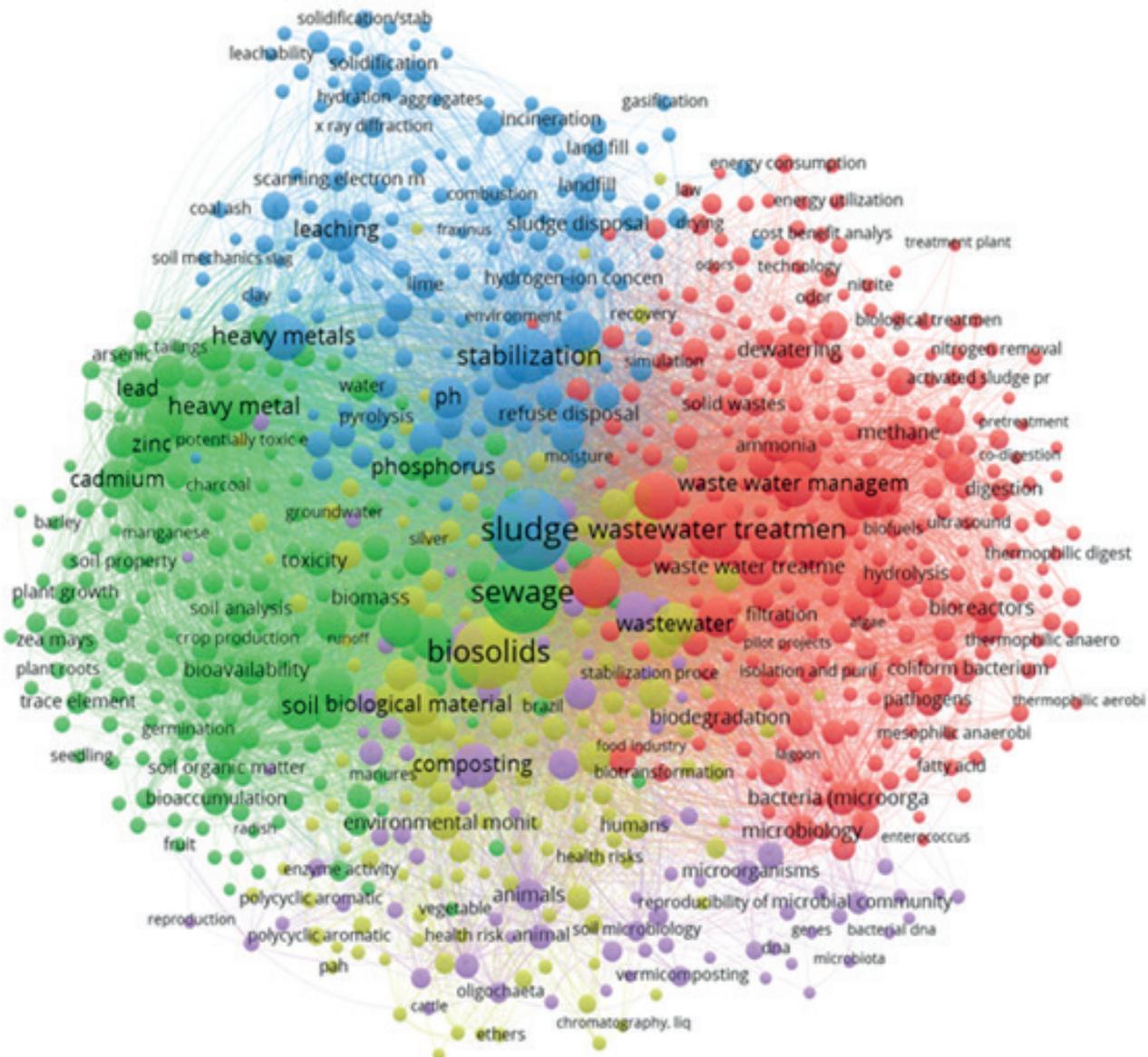


Figura 3. Mapa de co-ocurrencia.

Fuente: Autores a partir de VOSviewer.



El segundo eje temático se relaciona con la generación de biosólidos y sus beneficios. Este grupo reunió palabras claves como las siguientes: crecimiento de plantas, enmienda del suelo, compostaje, entre otras. El tercer eje temático aglutina diferentes aspectos relacionados con el tratamiento de aguas, características fisicoquímicas, actividad microbiana, al igual que la generación de lodos. Asimismo, el conjunto de temas del cuarto eje temático se vinculó con trabajos sobre la toxicidad, la generación de lodos, los metales pasados y características físicas como el pH. Por último, el quinto eje temático se centró principalmente con los métodos para la estabilización de los lodos residuales como estos: digestión anaerobia y aerobia, incineración, compostaje, vermicompostaje y solidificación (deshidratación). Además, hace mención de descriptores claves como aguas residuales, tratamientos, metales pesados y actividad microbiana.

3.2 Generación de lodos residuales, desde una perspectiva general

A nivel mundial, el crecimiento demográfico y la demanda del agua hacen que los volúmenes de aguas residuales se eleven cada día más (Bora et al., 2020; Patel et al., 2019; Potisek-Talavera et al., 2010). Las diferentes actividades productivas y domésticas producen grandes cantidades de aguas residuales y por ende de lodos. Estas aguas residuales contienen una diversidad amplia de contaminantes y hace que presenten, cada una, alguna característica particular que va a determinar cuál será el tratamiento más adecuado a aplicar (Díaz-Cuenca et al., 2012; Choudri y Charabi, 2019).

Los lodos residuales poseen diversas características, ya que depende del grado de tratamiento en que se produzcan y según el tipo de agua residual que manejan las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) (Chu y He, 2020; Patel et al., 2019). En consecuencia, las EDAR generan diferentes tipos de lodos: lodos de precipitación primaria, lodos secundarios, lodos de precipitación química, lodos de estratos bacterianos y lodos digeridos (Hey y Simms, 2021; Serpa, 2017).

Asimismo, los lodos residuales pueden contener diversos tipos de materiales inorgánicos como metales pesados,

químicos, patógenos, bacterias, protozoarios, helmintos, entre otros. Esto causa que sea de gran preocupación la gestión que se le da a dichos residuos, ya que ponen en riesgo la salud y el medio ambiente (Castillo et al., 2020; Magee et al., 2018; Meng et al., 2016). No obstante, estos tienen un gran contenido de materia orgánica que generan frecuentemente, brindando así múltiples oportunidades de implementar modelos o estrategias de reutilización (Bora et al., 2020).

Por esta razón, los lodos residuales son objeto de procesos investigativos con el fin de implementar gestiones adecuadas para crear nuevos productos finales, sin tener la necesidad de disponerlos en vertederos (Chu y He, 2020). La reutilización de los biosólidos estabilizados en el suelo aporta material orgánico y nutrientes suficientes. Este aporte es ventajoso para la relación suelo-planta, lo que contribuye a la preservación de los recursos naturales y reduce al mínimo los efectos para la salud pública (Quinchía y Carmona, 2004; Vélez, 2007).

3.3 Alternativas convencionales

La necesidad de la estabilización o del tratamiento de los lodos depende de la disposición o reutilización que se pretenda darles, con tres propósitos fundamentales: la eliminación de olores, la disminución del potencial de putrefacción y la reducción de la carga patógena. Estos son procesos cuyo estudio se ha desarrollado escasamente (Figura 2a), debido a que implican un reto económico y de ingeniería, ya que la cantidad de lodos generada en las EDAR es tal, que se requiere de inversión en infraestructura y tecnologías para reducir su volumen y el contenido contaminante (Holguín et al., 2014; Huang et al., 2020).

En consecuencia, para la realización adecuada de los procesos de estabilización y eliminación de los lodos residuales es importante identificar características como la calidad, la cantidad, las condiciones físicas del lugar y los costos que se requieren para su manejo (García et al., 2006). Por otra parte, también se han contemplado diferentes tipos de alternativas de estabilización para lodos residuales generados en las EDAR, como las siguientes:

Espesamiento: proceso de reducción volumétrica y de concentración mediante procedimientos físicos relacionados con la flotación, el espesado por gravedad y la centrifugación (Amador-Díaz et al., 2015; Marín, 2019). El espesamiento por flotación consiste en saturar con aire la solución, con presiones entre las 2 a 4 atmósferas (atm). El aire es liberado mediante burbujas y eso conlleva que el lodo precipite de forma ascendente para removerse.

El espesamiento por gravedad se ha empleado para el tratamiento de lodos primarios con buenos resultados. Este tratamiento se realiza en un reactor o tanque de sedimentación, en el cual el mecanismo rotatorio hace que las partículas de sedimentos se compacten y aumenten su tamaño, lo cual hace que dichas partículas caigan al fondo para extraerse. Por último, el espesamiento por centrifugado es un proceso en el que se aplica fuerza centrífuga, empujando el material hacia las paredes del reactor, lo que facilita su remoción (Gualoto, 2017).

Digestión anaerobia: proceso que se lleva a cabo dentro de un reactor en ausencia de oxígeno en el que se degrada la materia orgánica, teniendo como resultado la formación de ácidos volátiles y gas metano (Appels et al., 2008; Nguyen et al., 2021; Tulun y Bilgin, 2019; Yu et al., 2014). La digestión anaerobia se considera adecuada para los lodos primarios y los mixtos cuyo contenido de sólidos volátiles supera el 50% y no poseen sustancias inhibitorias (Gualoto, 2017).

Digestión aerobia: este proceso de estabilización de los lodos ocurre en aireación prolongada para conseguir la producción de microorganismos aerobios, hasta exceder el periodo de síntesis de las células, logrando así la autooxidación (Pérez, 2016). Por otra parte, métodos como la digestión aerobia psicrófila y mesófila son los menos usados, debido a los tiempos empleados que van desde los 10 a los 30 días (Mahamud et al., 1996).

Tratamiento químico: proceso bactericida que bloquea temporalmente la fermentación ácida en los lodos residuales. Consiste en

eleva el pH en un rango mayor a 12, en un periodo de tiempo mínimo de 2 horas, con el fin de establecer un ambiente desfavorable para los microorganismos. Esto impide la descomposición de la materia, evitando así riesgos para la salud pública (Gualoto, 2017). En dicho proceso, la cal es el reactivo que más se utiliza debido a la alcalinidad y a los costos reducidos (Marín, 2019).

Incineración: proceso de combustión (800 °C aproximadamente) de lodos cuya producción de masa residual es menor, la cual es constituida por materiales minerales inoocuos (Chu y He, 2020; Oliva et al., 2019; Patel et al., 2020). Este proceso está diseñado para reducción de los lodos en un 75 % de su volumen y emplea sistemas para secar o incinerar como secadores tipo Flash, pulverizadores o evaporadores de efectos múltiples (Gualoto, 2017; Pérez, 2016).

Pirólisis: reducción de los lodos en ausencia o baja presencia de oxígeno. Esta reducción ocurre en dos velocidades, rápida y lenta. En la primera, hay una fase de calentamiento rápido en un periodo corto de tiempo, mientras que en la segunda hay una velocidad de calentamiento lenta en un tiempo prolongado (Álvarez et al., 2015; Li et al., 2021; Patel et al., 2019).

Ozonización: proceso de oxidación en el cual se emplea como agente oxidante al ozono. Este gas es efectivo para la eliminación de las características de color y olor, reduce el 90% del volumen de los lodos en cortos periodos de tiempo, y además permite que la actividad bacteriana sea inactivada con facilidad (Amador-Díaz et al., 2015).

Deshidratación: es un proceso natural en el que los lodos son puestos en compartimientos con fondos porosos, lo cual permite la incidencia de la luz solar y el viento, logrando así que estos se deshidraten (Castellanos-Rozo et al., 2018). Pueden emplearse métodos estáticos, entre ellos el lecho de secado, el cual consiste en la remoción de agua mediante un filtro de área y grava. También puede emplearse la evaporación, la cual es empleada también en los sistemas de lagunaje. El filtro al vacío, por su parte, remueve el agua gracias a filtros que posee en su tambor rotatorio. El filtro



prensa, a su vez, aplica presión por medio de bandejas hasta obtener lodo compactado, removiendo el agua completamente (Gualoto, 2017).

Las alternativas convencionales poseen diversas ventajas y desventajas que limitan su aplicación en las EDAR. Por ejemplo, el espesamiento y la deshidratación son alternativas que reducen los costos operacionales. Sin embargo, el espesamiento por flotación y el centrifugado aumentan los costos de mantenimiento (Castellanos-Rozo et al., 2018; Gualoto, 2017). Por otra parte, algunas alternativas presentan procesos lentos de degradación, producen olores y no destruyen la materia orgánica. Es decir, ciertas alternativas requieren de la aplicación de otro método complementario para lograr estabilizar los lodos y cumplir así con la normativa establecida, lo que aumenta los costos.

3.4 Alternativas sostenibles

La gestión de los sólidos y el tratamiento de los lodos residuales es uno de los procesos con mayores costos económicos en términos del tratamiento de las aguas residuales. Por eso, el perfeccionamiento de alternativas de estabilización o tratamientos rentables y sostenibles es fundamental en el área de la gestión de desechos (Nguyen et al., 2021; Neumann et al., 2016). Es por ello que algunas de las alternativas empleadas muestran relación con las tendencias actuales observadas en el quinto eje temático (Figura 3), siendo estas:

Compostaje: proceso rentable que consiste en la descomposición aeróbica, termófila y regulada de los microorganismos que estabilizan la materia orgánica del lodo, formando así un nuevo producto estable e inocuo, de color marrón y con olor a humus (Gao et al., 2019; Huevo, 2011; Li et al., 2020; Mahamud et al., 1996; Pan et al., 2018).

Lombricultura: es una biotecnología que emplea únicamente lombrices, las cuales pueden ser de las especies roja californiana (*Eisenia Foetida*) o roja africana (*Fudrillus* sp.). Dichas especies, con ayuda de los microorganismos, alteran las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los lodos, mediante su digestión y excreción. De esta forma, pueden transformarlos en productos libres de contaminantes y con mayor contenido de nutrientes (Albornoz y Ortega, 2017; Rimassa, 2019).

Las alternativas sostenibles, al igual que las convencionales, presentan sus ventajas y desventajas. El compostaje requiere de grandes áreas y el suministro de aire. Así mismo, presenta procesos de degradación lenta y costos de operación moderados, pero el producto obtenido resulta de alta calidad para fines agrícolas. Por otra parte, la lombricultura es económicamente viable y con operación sencilla. Sin embargo, requiere de monitoreos constantes y de tratamiento previo, cuando los lodos presentan contenidos de metales pesados y productos farmacéuticos (Gualoto, 2017).

En general, las líneas de estabilización de lodos residuales se encuentran enfocadas en dos propósitos fundamentales: reducción de volumen y de poder fermentativo. El primer propósito puede obtenerse por un simple espesamiento, deshidratación, incineración o escurrido mecánico. El segundo, por otra parte, pretende reducir la actividad y contenido bacteriano causantes de diversas enfermedades y se consigue mediante la digestión anaeróbica o aeróbica, así como por la estabilización química de los lodos (Patel, Kundu, Halder, Ratnayake, et al., 2020; Trejos y Agudelo, 2012). De cualquier forma, lo que se busca es manejar de forma adecuada los lodos residuales, y de esta forma minimizar el impacto ambiental generado, así como proporcionar una actividad económica con la cual se puedan obtener nuevos beneficios. 

CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico permitió conocer que los países con mayor producción y publicación sobre la temática del tratamiento de lodos fueron Estados Unidos (con 369 documentos) y China (con 268 documentos), seguidos Brasil y España (con más de 150 escritos cada uno). Asimismo, las revistas científicas Water Science and Technology y Bioresource Technology son las que cuentan con mayor producción de publicaciones sobre este tema. De igual manera, las instituciones como la Universidad Tecnológica de Częstochowa, Universidade de Sao Paulo y la Universidad de Tongji se encuentran entre los primeros tres lugares de la clasificación, con más de 40 documentos publicados sobre la temática.

La generación de lodos residuales está directamente relacionada con la producción de aguas residuales en el mundo. Debido a esto, las alternativas para el manejo de los lodos han evolucionado en las últimas décadas con el fin de disminuir la contaminación que puedan generar; así como la búsqueda de estrategias rentables para la disposición final de estos, ya que poseen diferentes nutrientes que brindan oportunidades para la reutilización en otros sectores. Por esa razón, la selección del método de estabilización es fundamental para el aprovechamiento de los lodos residuales, teniendo en cuenta las características que estos poseen.

Las alternativas más empleadas en la actualidad para el manejo de los lodos son

la digestión anaerobia, el espesamiento, la deshidratación, la incineración y el compostaje, las cuales logran estabilizar la actividad bacteriana y reducir la materia orgánica. Sin embargo, cada alternativa genera costos adicionales a los gastos operacionales del tratamiento de las aguas residuales, haciendo (en la mayoría de los casos) inviable económicamente su implementación, lo que conlleva a la disposición de los lodos en los rellenos sanitarios.

No obstante, las alternativas sostenibles (como el compostaje y la lombricultura) generan subproductos que se pueden aprovechar, ya que tienen diversas ventajas como mejoradores de suelos degradados o para su uso en la agricultura, pues aportan nutrientes y materia orgánica, las cuales mejoran las condiciones químicas y físicas del suelo. Adicionalmente, las alternativas sostenibles logran dar una disposición final de manera adecuada a los lodos, reducen los costos operacionales y generan beneficios económicos por la comercialización de los biosólidos. Es por esto que, frente a la problemática de los lodos residuales generados por el saneamiento de aguas residuales domésticas e industriales, es pertinente agilizar las investigaciones cuyo fin sea generar nuevas alternativas que permitan el aprovechamiento del 100 % de estos residuos.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Rossember Saldaña-Escorcía: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura (borrador original), revisión y edición.

Jeansy Karina Castillo Gámez: metodología, investigación, análisis de datos y escritura (borrador original).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la candidata doctoral, Lorena Sánchez Donado, por la revisión y comentarios efectuados en el Documento.

LITERATURA CITADA

Albornoz, A. M. y Ortega, E. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de la lombriz roja Californiana E. foetida para estabilización de lodos residuales de la PTAR Salitre* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas de Aquino]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2864>

Álvarez-Marin, A., Castillo-Vergara, M. y Geldes-González, C. (2017). Análisis Bibliométrico de la Realidad Aumentada y su Relación con la Administración de Negocios. *Información tecnológica*, 28(4),



- 57–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400008>
- Álvarez, J., Amutio, M., Lopez, G., Barbarias, I., Bilbao, J. & Olazar, M. (2015). Sewage sludge valorization by flash pyrolysis in a conical spouted bed reactor. *Chemical Engineering Journal*, 273, 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.03.047>
- Amador-Díaz, A., Veliz-Lorenzo, E. y Bataller-Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46, 1–10.
- Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J. & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, (6), 755–781. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>
- Awasthi, M. K., Wang, Q., Chen, H., Awasthi, S. K., Wang, M., Ren, X., Zhao, J., & Zhang, Z. (2018). Beneficial effect of mixture of additives amendment on enzymatic activities, organic matter degradation and humification during biosolids co-composting. *Bioresource Technology*, 247, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.061>
- Bora, R. R., Richardson, R. E. & You, F. (2020). Resource recovery and waste-to-energy from wastewater sludge via thermochemical conversion technologies in support of circular economy: a comprehensive review. *BMC Chemical Engineering*, 2(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s42480-020-00031-3>
- Castellanos-Rozo, J., Merchán, N. A., Galvis, J. y Manjarres, E. H. (2018). Deshidratación de los lodos en lecho de secado y su influencia sobre la actividad biológica de los microorganismos. *Gestión y Ambiente*, 21(2), 242–251. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.75876>
- Castillo, J. G., Balarezo, L. D., Vinces, M. B. y Zambrano, H. A. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Riemat*, 5(1), 23–27. <https://doi.org/10.33936/riemat.v5i1.2499>
- Chávez Porras, Á., Velásquez Castiblanco, Y. L., & Casallas Ortega, N. D. (2017). Características físico-químicas de humus obtenido de biosólidos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales. *Informador Técnico*, 81(2), 122. <https://doi.org/10.23850/22565035.v81.n2.2017>
- Choudri, B. S. & Charabi, Y. (2019). Health effects associated with wastewater treatment, reuse, and disposal. *Water Environment Research* 91(10), 976–983. <https://doi.org/10.1002/wer.1157>
- Chu, L. & He, W. (2020). Toxic metals in soil due to the land application of sewage sludge in China: Spatiotemporal variations and influencing factors. *Science of the Total Environment*, 757. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143813>
- Clarke, B. O. & Smith, S. R. (2011). Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environment International*, 37 (1), 226–247. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.06.004>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E. & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609–1630. <https://doi.org/10.1002/asi.22688>
- Díaz-Cuenca, E., Alavarado-Granados, A. R. y Camacho-Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14(1), 78–97. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Donado, R. (2013). Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el departamento del Meta [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana] Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10554/13496>

Fuentes Molina, N., Isenia León, S. A., & Ascencio Mendoza, J. G. (2019). Adición de lodos residuales en la elaboración de matrices de cerámicas. *Revista EIA*, 16(32), 13–25. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1061>

Gao, X., Tan, W., Zhao, Y., Wu, J., Sun, Q., Qi, H., Xie, X. & Wei, Z. (2019). Diversity in the Mechanisms of Humin Formation during Composting with Different Materials. *Environmental Science and Technology*, 53(7), 3653–3662. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06401>

García, H., El , M., Morán, H., Acosta, Y., Senior, A. y Fernández, N. (2006). Análisis comparativo de dos técnicas de digestión para la determinación de metales pesados en lodos residuales. *Multiciencias*, 6(3), 234–243. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90460305.pdf>

Gavala, H. N., Yenal, U., Skiadas, I. V., Westermann, P. & Ahring, B. K. (2003). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature. *Water Research*, 37(19), 4561–4572. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00401-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00401-9)

Gómez, M., Galeano, C. y Jaramillo, D. (2015). El Estado Del Arte: Una Metodología De Investigación. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 6(2), 423–442. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.21501/issn.2216-1201>

Grajales, S. J., Monsalve, J. A., & Castaño, J. M. (2006). Programa de manejo integral de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia Et Technica*, XII(31), 285–290. <https://doi.org/10.22517/23447214.6453>

Gualoto, J. J. (2017). *Propuesta de Gestión de Lodos Residuales Municipales. Caso de Estudio: Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Parroquia Rural de Nono* [Tesis de pregrado , Escuela Politécnica Nacional] Bibdigital. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17066>

Hait, S., & Tare, V. (2011a). Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bioresource Technology*, 102(3), 2812–2820. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.031>

Hait, S., & Tare, V. (2011b). Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material. *Waste Management*, 31(3), 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.11.004>

Harrison, E. Z., Oakes, S. R., Hysell, M. & Hay, A. (2006). Organic chemicals in sewage sludges. *Science of the Total Environment* 367(2–3), 481–497 r. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.04.002>

Hey, C. & Simms, P. (2021). Preliminary assessment of biosolids in covers with capillary barrier effects. *Engineering Geology*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105973>

Holguín, E. J., Morales, M. I., Vicencio, M. G. y Morales, M. del S. (2014). Lodos residuales: métodos de tratamiento, estabilización y aprovechamiento. *Vid supra*, 6(2), 61–66.

Huang, Y., Chiueh, P. & Lo, S. (2020). Energy recovery from sewage sludge: Product characteristics, heating value prediction and reaction kinetics. *Chemosphere*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128783>

Huezo, L. A. (2011). Caracterización Hidrológica y balance hídrico de la microcuenca Santa Inés, Honduras [Universidad Zamorano]. Archivo digital. <http://hdl.handle.net/11036/407>

Husillos Rodríguez, N., Granados, R. J., Blanco-Varela, M. T., Cortina, J. L., Martínez-Ramírez, S., Marsal, M., Guillem, M., Puig, J., Fos, C., Larrotcha, E., & Flores, J. (2012). Evaluation of a lime-mediated sewage sludge stabilisation process. Product characterisation and technological validation for its use in the cement industry. *Waste Management*, 32(3), 550–560. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.021>



- Kelessidis, A. & Stasinakis, A. S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management, 32*(6), 1186–1195. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.012>
- Li, C., Xie, S., You, F., Zhu, X., Li, J., Xu, X., Yu, G., Wang, Y. & Angelidaki, I. (2021). Heavy metal stabilization and improved biochar generation via pyrolysis of hydrothermally treated sewage sludge with antibiotic mycelial residue. *Waste Management, 119*(1), 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.050>
- Li, R., Xu, K., Ali, A., Deng, H., Cai, H., Wang, Q., Pan, J., Chang, C., Liu, H. & Zhang, Z. (2020). Sulfur-aided composting facilitates ammonia release mitigation, endocrine disrupting chemicals degradation and biosolids stabilization. *Bioresource Technology, 312*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123653>
- Li, X. D., Poon, C. S., Sun, H., Lo, I. M. C. & Kirk, D. W. (2001). Heavy metal speciation and leaching behaviors in cement based solidified/stabilized waste materials. *Journal of Hazardous Materials, 82*(3), 215–230. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00360-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00360-5)
- Liang, C., Das, K. C. & McClendon, R. W. (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology, 86*(2), 131–137. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00153-0)
- Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production, 111*, 262–278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>
- Ma, Y., Prasad, M. N. V., Rajkumar, M. & Freitas, H. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology Advances, 29*, (2), 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.12.001>
- Magee, H. Y., Maurer, M. M., Cobos, A., Pycke, B. F. G., Venkatesan, A. K., Magee, D., Scotch, M., & Halden, R. U. (2018). U.S. nationwide reconnaissance of ten infrequently monitored antibiotics in municipal biosolids. *Science of the Total Environment, 643*, 460–467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.206>
- Mahamud, M., Gutiérrez, A. y Sastre, H. (1996). Biosólidos generados en la depuración de aguas: Métodos de tratamientos. *Ingeniería Del Agua, 3*(3), 45–54. <https://doi.org/10.4995/ia.1996.2703>
- Marín, D. (2019). Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del municipio de Sopó Cundinamarca para la producción de un fertilizante órgano-mineral [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. Archivo digital. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7393>
- McClellan, K. & Halden, R. U. (2010). Pharmaceuticals and personal care products in archived U.S. biosolids from the 2001 EPA national sewage sludge survey. *Water Research, 44*(2), 658–668. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.12.032>
- Meng, X., Venkatesan, A. K., Ni, Y., Steele, J. C., Wu, L., Bignert, A., Bergman, Å. & Halden, R. U. (2016). Organic Contaminants in Chinese Sewage Sludge: A Meta-Analysis of the Literature of the Past 30 Years. *Environmental Science and Technology, 50*(11), 5454–5466. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05583>
- Montero-Díaz, J., Cobo, M., Gutiérrez-Salcedo, M., Segado-Boj, F. & Herrera-Viedma, E. (2018). A science mapping analysis of “Communication” WoS subject category (1980-2013). *Comunicar, 26*(55), 81–91. <https://doi.org/10.3916/C55-2018-08>
- Neumann, P., Pesante, S., Venegas, M. & Vidal, G. (2016). Developments in pre-treatment methods to improve anaerobic digestion of sewage sludge. *Reviews in*

Environmental Science and Biotechnology, 15 (2) 173–211. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9396-8>

Nguyen, V. K., Chaudhary D. K., Dahal, R. H., Trinh, N. H., Kim, J., Chang, S. W., Hong, Y., La, D. D., Nguyen, X. C., Ngo, H. H., Chung, W. J. & Nguyen, D. D. (2021). Review on pretreatment techniques to improve anaerobic digestion of sewage sludge. *Fuel*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119105>

Oliva, M., Vargas, F. & Lopez, M. (2019). Designing the incineration process for improving the cementitious performance of sewage sludge ash in Portland and blended cement systems. *Journal of Cleaner Production*, 223, 1029–1041. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.147>

Pan, J., Cai, H., Zhang, Z., Liu, H., Li, R., Mao, H., Awasthi, M. K., Wang, Q. & Zhai, L. (2018). Comparative evaluation of the use of acidic additives on sewage sludge composting quality improvement, nitrogen conservation, and greenhouse gas reduction. *Bioresource Technology*, 270, 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.050>

Parra, R. (2015). Anaerobic digestion: biotechnological mechanisms in waste water treatments and their application in food industry. *Producción + Limpia*, 10(2), 142–159. <https://bit.ly/2RFUbwz>

Patel, S., Kundu, S., Halder, P., Marzbali, M. H., Chiang, K., Surapaneni, A. & Shah, K. (2020). Production of hydrogen by catalytic methane decomposition using biochar and activated char produced from biosolids pyrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(55), 29978–29992. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.036>

Patel, S., Kundu, S., Halder, P., Ratnnayake, N., Marzbali, M. H., Aktar, S., Selezneva, E., Paz-Ferreiro, J., Surapaneni, A., De Figueiredo, C. C., Sharma, A., Megharaj, M. & Shah, K. (2020). A critical literature review on biosolids to biochar: an alternative biosolids management option. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19(4), 807–841. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09553-x>

Patel, S., Kundu, S., Halder, P., Rickards, L., Paz-Ferreiro, J., Surapaneni, A., Madapusi, S. & Shah, K. (2019). Thermogravimetric Analysis of biosolids pyrolysis in the presence of mineral oxides. *Renewable Energy*, 141, 707–716. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.047>

Pérez, M. E. (2016). Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb) [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana] Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12045>

Potisek-Talavera, M. D., Figueroa-Viramontes, U. González-Cervantes, G., Jasso-Ibarra, R. y Orona-Castillo, I. (2010). Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrientes. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 327–333. <https://bit.ly/3hK6VNr>

Quinchía, A. y Carmona, D. (2004). Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales combinada. *Revista EIA*, 2, 89–108. <https://bit.ly/3oJ4agK>

Ramírez-Coutiño, V., Wrobel, K., Wrobel, K., Navarro, R., Godínez, L. A., Teutli-León, M., & Rodríguez, F. (2013). Evaluation of the composting process in digested sewage sludge from a municipal wastewater treatment plant in the city of San Miguel de Allende, central Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(SUPPL. 3), 89–97.

Rimassa, L. M. (2019). *Propuestas de tratamiento de los lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas*. [Tesis de pregrado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil] Repositorio digital. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/3486>

Rodríguez Fernández, M. C. (2019). *Evaluación del uso de lodos de una planta de tratamiento de agua residual de la industria*



- de autolavado como sustituto parcial en la elaboración del cemento. Uniandes. <http://hdl.handle.net/1992/44941>
- Rorat, A., & Vandenbulcke, F. (2019). Earthworms converting domestic and food industry wastes into biofertilizer. In *Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery* (pp. 83–106). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00005-2>
- Santos, D. S., Teshima, E., Dias, S. M. F., Araújo, R. A., & Silva, C. M. R. da. (2016). Efeito da secagem em leito nas características físico-químicas e microbiológicas de lodo de reator anaeróbico de fluxo ascendente usado no tratamento de esgoto sanitário. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(2), 341–349. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016100531>
- Scopus (2020). *SciVerse Scopus*. <http://www.elsevier.com/online-tools/scopus>
- Serpa, M. S. (2017). Remoción de metales pesados de Cd y Hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria el Espinar- Puno, utilizando vermicomposteo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5070>
- Silva-Leal, J., Bedoya-Rios, D., & Torres-Lozada, P. (2013). Efecto del secado térmico y el tratamiento alcalino en las características microbiológicas y químicas de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Química Nova*, 36(2), 207–214. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000200002>
- Singh, R. P. & Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28(2), 347–358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>
- Smith, S. R. (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35(1), 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.009>
- Torres Lozada, P., Madera, C. A., & Silva Leal, J. A. (2009). Eliminación de patógenos en biosólidos por estabilización alcalina. *Acta Agronómica*, 58(3), 197–205. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/25560>
- Trejos, M. y Agudelo, N. (2012). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa "Comestibles La Rosa" como alternativa para la generación de biosólidos* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio institucional. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2775>
- Tulun, Ş. & Bilgin, M. (2019). Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by chemical pretreatment. *Fuel*, 254, 115671. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115671>
- Utria-Borges, E., Cabrera-Rodríguez, J. A., Reynaldo-Escobar, I. M., Morales-Guevara, D., Fernández, A. M. y Toledo, E. (2008). Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 14(1), 33–39. <https://doi.org/10.5154/rchsh.2006.02.009>
- Valderrama, M. L. (2013). *Factibilidad de aprovechamiento de los lodos residuales de la PTAR del Municipio de Chinavita (Boyaca)*. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/944>
- Van Eck, N. J. & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84, 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Van Eck, N. J., Waltman, L., a Berg, J. V. D & Kaymak, U. (2006). Visualizing the computational intelligence field. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 6–10. <https://doi.org/10.1109/mci.2006.329702>
- Vélez, J. A. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *Producción + Limpia*, 2(2), 57–71. <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/532>

Xing, M., Li, X., Yang, J., Huang, Z., & Lu, Y. (2012). Changes in the chemical characteristics of water-extracted organic matter from vermicomposting of sewage sludge and cow dung. *Journal of Hazardous Materials*, 205–206, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.11.070>

Yu, B., Xu, J., Yuan, H., Lou, Z., Lin, J. & Zhu, N. (2014). Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by electrochemical pretreatment. *Fuel*, 130, 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.031>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.





UTILIZACIÓN DE MICROALGAS COMO ALTERNATIVA PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS

USE OF MICROALGAE AS AN ALTERNATIVE IN HEAVY METAL REMOVAL

Deimer Vitola Romero • deimervitolaromero@gmail.com
Ms.C en Ciencias Ambientales, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

Alexander Pérez Cordero • alexander.perez@unisucre.edu.co
PhD. Microbiología Agrícola, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

Donicer E. Montes Vergara • donicer.montes@unisucre.edu.co
PhD. Genética y Mejoramiento Animal. Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

Citación: Vitola, D. Pérez, A., Montes, D. (2022). Utilización de microalgas como alternativa para la remoción de metales pesados. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 195 – 203.
DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4568>

RESUMEN

Contextualización: la contaminación directa de cuerpos de agua, por vertimientos de agua residual contaminada con metales pesados, es un problema importante que se ha agudizado en las últimas décadas, debido a que los metales pesados pueden alterar el correcto funcionamiento de los ecosistemas.

Vacío de investigación: se hace necesario y urgente la búsqueda de alternativas de remoción de contaminantes metálicos que sean de bajo costo y amigables con el ambiente. En ese sentido, la biosorción es una alternativa que cumple con estas características y su modo de uso es simple.

Propósito del estudio: se planteó como objetivo determinar la capacidad de biosorción de los metales pesados Hg, Cd y Pb por las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus*, inmovilizadas en fibra de estropajo (*Luffa cylindrica*), así como la desorción de estos como estrategia de recuperación.

Metodología: Para la determinación del Cd y Pb se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica de llama aire-acetileno y para el Hg, uno de absorción atómica con vapor frío. El análisis de los metales pesados removidos se realizó en el sobrenadante y la capacidad de desorción se determinó en

el sobrenadante resultante de la biomasa microalgal, la cual se trató con solución acuosa de ácido y centrifugada. Se realizó un análisis de varianza mediante un diseño completamente al azar. Las diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$), se determinaron mediante la prueba de Tukey.

Resultados y conclusiones: los resultados indican diferencias significativas en la biosorción de metales pesados. *Chlorella vulgaris* tuvo la mayor biosorción con $94,77 \pm 1,63$ % para Cd, $92,45 \pm 3,95$ % de Pb y $81,78 \pm 1,36$ % de Hg; mientras que *Scenedesmus obliquus* removió el $90,08 \pm 2,69$ % de Cd, $86,17 \pm 1,78$ % de Pb y $80,2 \pm 5,49$ % de Hg. Y con respecto a la desorción, *Chlorella vulgaris* presentó los promedios más altos con $97,29 \pm 1,93$ % de Hg, $96,86 \pm 2,14$ % de Cd y $95,48 \pm 1,19$ % de Pb; mientras que *Scenedesmus obliquus* mostró una desorción de $96,74 \pm 2,14$ % de Hg, $95,15 \pm 2,90$ % de Cd y $93,82 \pm 2,68$ % de Pb. Estos resultados demuestran que la aplicación de biomasa microalgal inmovilizada para la biosorción de metales pesados es una alternativa de biorremediación.

Palabras claves: contaminación; *Chlorella vulgaris*; *Scenedesmus*; metales pesados; biosorción; desorción

ABSTRACT

Contextualization: the direct contamination of bodies of water, because of dumping of wastewater contaminated with heavy metals, is a major problem that has become more acute in recent decades, because heavy metals can disrupt the proper functioning of ecosystems.

Knowledge gap: it is necessary and urgent to search for alternatives for removal of metallic contaminants, which must be low cost, and harmless for the environment. In that sense, biosorción is an alternative that meets these requirements, and its mode of use is simple.

Purpose: the objective was to determine the biosorption capacity of the heavy metals Hg, Cd and Pb by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus*, immobilized in scourer fiber (*Luffa cylindrica*), as well as their desorption as a recovery strategy.

Methodology: the determination of heavy metals was performed with an air-acetylene flame atomic absorption spectrophotometer for the analysis of cadmium (Cd) and lead (Pb), and a cold vapor atomic absorption spectrophotometer for mercury (Hg). The analysis of the removed heavy metals was

performed on the supernatant, and the desorption capacity was determined on the supernatant resulting from the microalgal biomass treated with aqueous acid solution and centrifuged. An analysis of variance was performed using a completely random design. The significant statistical differences ($p < 0,05$) were determined by the Tukey test.

Results and conclusions: the results indicate significant differences in the removal of heavy metals, showing *Chlorella vulgaris* the highest biosorption of heavy metals with $94,77 \pm 1,63$ % for Cd; $92,45 \pm 3,95$ % for Pb and $81,78 \pm 1,36$ % for Hg; while *Scenedesmus obliquus* removed $90,08 \pm 2,69$ % of Cd; $86,17 \pm 1,78$ % Pb and $80,2 \pm 5,4$ 9% Hg. And with respect to desorption, *Chlorella vulgaris* presented the highest averages with $97,29 \pm 1,93$ % of Hg, $96,86 \pm 2.14$ % of Cd and 95.48 ± 1.19 % of Pb, while *Scenedesmus obliquus* showed a desorption of $96,74 \pm 2,14$ % of Hg; $95,15 \pm 2,90$ % of Cd and $93,82 \pm 2,68$ % of Pb. This results prove that the application of immobilized microalgal biomass for the removal of heavy metals is an excellent bioremediation alternative. 

Keywords: contamination; *Chlorella vulgaris*; *Scenedesmus*; heavy metal; biosorption; desorption



RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación de todos los compartimentos ambientales con metales pesados, producto de las diversas actividades humanas, es un problema ambiental que se ha agudizado a nivel mundial (Reyes et al., 2016) y especialmente en Colombia, dado que cada día se generan aplicaciones excesivas de sustancias químicas para el aprovechamiento de minerales como el oro, y prácticas inadecuadas de disposición de aguas residuales industriales y agrícolas en cuerpos de aguas fundamentales para la dinámica poblacional de animales, vegetales y humanos (Vargas y Marrugo, 2019).

Todo lo anterior acompañado de la flexibilidad de las leyes nacionales en materia de protección del medio ambiente y la salud humana, ya que los niveles de contaminación

máximos por metales pesados, permitidos en vertimientos de agua, que fueron establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la Resolución 0631 (2015) son: cadmio (Cd = 0,10 mg/L), mercurio (Hg = 0,02 mg/L) y plomo (Pb = 0,50 mg/L). Estos valores están muy por encima de los valores permitidos a nivel internacional. Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA] estableció valores máximos de metales pesados en Cd de 0.01 mg/L, Hg de 0,00003 mg/L y Pb de 0,006 mg/L (Nguyen et al., 2013), lo que manifiesta la negligencia del estado colombiano. Lo antes expuesto se corrobora con los trabajos desarrollados por Díaz-Arriaga (2014), quien halló en agua de consumo humano niveles de mercurio que superan los 0,002 mg/L y en aguas superficiales, niveles superiores al

0,003 mg/L. Autores como Vargas y Marrugo (2019), encontraron en pescado niveles de mercurio superiores al 0,5 µg/g establecido por la OMS.

Sin embargo, existen muchas técnicas de remoción de metales pesados de las fuentes hídricas (Tahmasebi et al., 2015) de elevada eficiencia, pero que demandan un elevado costo económico y ambiental (Tang et al., 2018). Aun así, su uso es indispensable dada la alta toxicidad, rápida acumulación, nula degradabilidad (Awual et al., 2014; Staun et al., 2018) y gran movilidad de los metales pesados (Gutiérrez-Benítez et al., 2014), ya que pueden causar daño a tejidos, órganos, sistemas, alteraciones en el desarrollo, cáncer e incluso la muerte (Awual et al., 2016; Crowe et al., 2017). Por tal motivo se hace necesario y urgente la búsqueda de alternativas de biosorción de los contaminantes metálicos (Zhao et al., 2016) que sea de bajo costo y respetuosa con el ambiente, siendo la biosorción una alternativa que cumple con estos requerimientos, ya que su uso es simple, los materiales son asequibles y el bioadsorbente puede regenerarse (Renu et al., 2017).

La tecnología actual ha permitido el desarrollo de gran variedad de adsorbentes. Las investigaciones científicas actuales han volcado la mirada a los bioadsorbentes como las microalgas, debido a su gran variedad, abundancia, disponibilidad de las diferentes especies, buena capacidad para absorber iones metálicos (Yin et al., 2019; Gutiérrez-Benítez et al., 2014), alta eficiencia, bajo costo y respeto con el ambiente (Yin et al., 2019; Vitola et al., 2018). Además, cuentan con diferentes mecanismos bioquímicos de captación de metales pesados (Lee & Fisher, 2017) y neutralización de la toxicidad (Yin et al., 2019; Bilal et al., 2018). No obstante, el crecimiento de las microalgas está limitado por factores como la carga contaminante, la presencia de nutrientes, la salinidad, el pH, la luz, CO₂, etc.

Ya que son organismos fotoautótrofos, que se ha recomendado la inmovilización de la microalga para brindarle protección y minimizar la contaminación biológica (bacterias u hongos) al crear una barrera física (Kandilian et al., 2017; Covarrubias et

al., 2012; De Bashan & Bashan, 2010), y así aumentar la biosorción (Benítez et al., 2018; Hernández et al., 2018); especialmente si se emplean soportes naturales como el fruto seco de *Luffa cylindrica*, que tiene la ventaja de ser no tóxico, no reactivo (es decir, no interfiere con la actividad de la célula microalga), barato, mecánicamente fuerte, tiene alto grado de porosidad que favorece una mayor superficie de contacto, alto volumen específico y baja gravedad específica (propiedades físicas estables para cultivos a largo plazo) y es biodegradable (Nabizadeh et al., 2008; Liu et al., 1998).

La adopción de este tipo de enfoques de biorremediación es muy bien recibida, debido a su potencial de sostenibilidad (Emenike et al., 2017). Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de biosorción y desorción de los metales pesados mercurio, cadmio y plomo por las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus*, inmovilizadas en un soporte natural.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Inmovilización de la biomasa microalgal: Las microalgas utilizadas fueron *Scenedesmus obliquus* (SOLINM 98%) y *Chlorella vulgaris* (CVLINM 99%), aisladas desde el complejo cenagoso de Santiago Apóstol en el departamento de Sucre (Colombia), las cuales hacen parte de la colección del banco de germoplasma del Laboratorio de Investigaciones Microbiológicas de la Universidad de Sucre, inmovilizadas en fruto seco de *Luffa cylindrica* como soporte y previamente lavado con detergente para retirar impurezas (Nabizadeh et al., 2008). Posteriormente, se cortaron y esterilizaron fragmentos de microalgas con 30,0 ± 1 mm de diámetro y 35,0 ± 1 mm de grosor, se impregnaron con un medio de cultivo nutritivo (Colinagro 4,0) que contiene 200 g/L de nitrógeno total, 100 g/L de fósforo y nutrientes como K, Mg, S, Cl, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Mo por 24 h (Hernández et al., 2018) y, finalmente, se introdujeron los metales pesados en la solución con microalgas, en fase estacionaria (20 días), por 24 días. Después se retiraron los fragmentos de microalgas inmovilizadas, se lavaron para eliminar el exceso de material biológico y la biomasa inmovilizada se determinó por la diferencia



del peso del estropajo antes y después de la inmovilización (Akhtar et al., 2004).

Capacidad de biosorción: se determinó inoculando a las microalgas inmovilizadas (en los soportes de estropajo) con las soluciones de metales pesados en forma de nitratos (grado analítico): $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ a concentraciones de 4,0 mg/L, 5,0 mg/L y 6,0 mg/L, por un tiempo de 24 h de biosorción con luz constante (2000 lux). Pasado este tiempo, se retiraron los fragmentos de estropajos con las microalgas inmovilizadas y se determinaron los porcentajes de biosorción mediante análisis de los sobrenadantes de cada tratamiento, usando técnicas espectroscópicas propias para cada metal pesado (Benítez et al., 2018; Hernández et al., 2018). Los datos obtenidos de la capacidad de biosorción se tabularon en Excel para su análisis estadístico e interpretación de los resultados.

Capacidad de desorción: los fragmentos de estropajo con las microalgas inmovilizadas, después de aplicar los ensayos de biosorción, se utilizaron para determinar la capacidad de desorción de los metales pesados. Estos fragmentos se mezclaron con 50 mL de una solución compuesta por 0,1 M de HNO_3 y EDTA, mantenida en agitación a 400 rpm durante 55 min a 55°C , que posteriormente se filtró (Kumar et al., 2018). La concentración final de iones metálicos se determinó en la fase acuosa, filtrada usando un espectrofotómetro de absorción atómica. La relación de desorción se calculó a partir de la cantidad de metal pesado desorbido por el eluyente y la capacidad de biosorción (ecuación 1):

$$\text{Tasa de desorción (\%)} = [\text{HMd}/\text{HMa}] \times 100 \quad (1)$$

En la que HMd es la cantidad de metal pesado desorbido y HMa es la capacidad de biosorción (Ahmad et al., 2018). Los datos obtenidos de la capacidad de desorción se tabularon en Excel para su análisis estadístico e interpretación de los resultados.

Análisis de los metales pesados: la determinación de los metales pesados se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica, de llama aire-acetileno, para el análisis de cadmio (Cd) y plomo (Pb), y con

un espectrofotómetro de absorción atómica, con vapor frío, para mercurio (Hg). Las concentraciones bajas fueron determinadas por la técnica de tubo de grafito y deuterio, todo de acuerdo al Standard Addition Method.

Análisis estadístico: Los resultados se expresaron como la media \pm Desviación Estándar, se realizó un análisis de varianza, mediante un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2×3 . El primer factor fueron las especies de microalgas (*Scenedesmus obliquus* y *Chlorella vulgaris*) y el segundo, las concentraciones de los metales pesados (4, 5 y 6 mg/L); previamente determinando el criterio de normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilk (5%). Las diferencias estadísticas significativas se determinaron mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Todos los experimentos se realizaron por quintuplicado y se analizaron en el software InfoStat versión libre.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la capacidad de biosorción de metales pesados presentaron diferencias significativas entre las especies de microalgas *Scenedesmus obliquus* y *Chlorella vulgaris*, mostrando esta última la mayor capacidad de biosorción de metales pesados (Figura 1 A y B) con la concentración de 6,0 mg/L (aunque esta concentración no mostró diferencias significativas con la de 5,0 mg/L) (Figura 1 B). El metal pesado más removido fue el Cd, seguido de Pb y finalmente Hg (Figura 1 A). Sin embargo, la biosorción de todos los metales pesados por las microalgas fue superior al 77 %.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por otros estudios. Dinesh et al. (2013) encontraron un 25 % más de biosorción de Ni en sistemas acuosos por la microalga *C. sorokiniana* cuando se inmovilizó en fibras de estropajo, en comparación con la microalga no inmovilizada. Kumar et al. (2018) hallaron que *Chlorella vulgaris* pudo remover alrededor del 97 % del Cd, cuando fue expuesta a una dosis de 10 mg/L. Hernández et al., (2018) reportan que *Chlorella sp* removió 95,4 % de mercurio y 93,4 % de níquel, mostrando los mayores porcentajes de biosorción cuando la microalga estaba inmovilizada en el fruto seco de *Luffa cylindrica*; al igual que Benítez

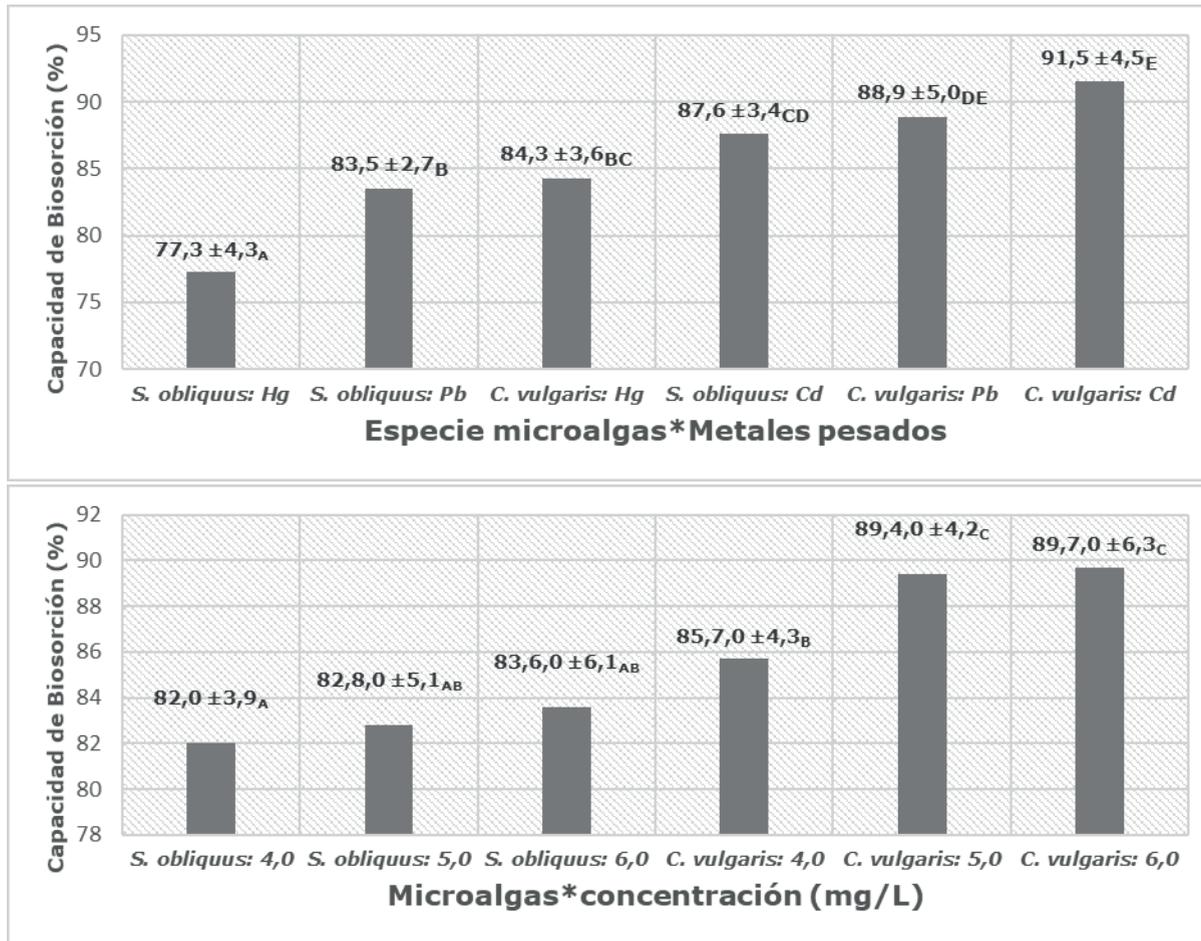


Figura 1. Resultados de la capacidad de biosorción de metales pesados por *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus*. A: biosorción entre las especies de microalgas y los metales pesados. B: entre las especies de microalgas y las concentraciones de los metales pesados.

Fuente: Autores.

et al., (2018), quienes sostienen que esta misma especie de microalga, inmovilizada en fragmentos de *Luffa cylindrica*, tuvo una biosorción del 98,9% de mercurio. Dinesh et al. (2013) informan una biosorción del 98 % de Zn cuando se empleó *Chlorella* marina inmovilizada en perlas de alginato. Adicionalmente, se ha encontrado que otras especies de microalgas, como *Tetraselmis sp* inmovilizada, han removido hasta el 41 % de nitrato y el 18 % de silicato a las 3 h de exposición a aguas residuales de curtiduría (Adam et al., 2015) y *Chlorella marina*, inmovilizada en perlas de alginato, ha logrado la biosorción hasta del 90 % de nitrato y el 60 % de fosfato a las 24 h de exposición (Dinesh et al., 2013).

Los resultados de la capacidad de desorción de los metales pesados, examinando la biomasa microalgal inmovilizada, muestran

diferencias significativas entre las especies de microalgas. La tabla 1 muestra diferencias significativas entre los metales pesados, presentando *Chlorella vulgaris* la mayor capacidad de desorción de mercurio, con $97,29 \pm 1,93$ % del mercurio removido, seguido de cadmio con $96,86 \pm 2,14$ % y Plomo con $95,48 \pm 1,19$ %; mientras que *Scenedesmus obliquus* mostró una desorción de $96,74 \pm 2,14$ % de Mercurio, $95,15 \pm 2,90$ % de cadmio y $93,82 \pm 2,68$ % de Plomo removido. Lo anterior indican que el mercurio fue el metal pesado con mayores porcentajes de desorción, seguido de cadmio y por último plomo. Estos resultados son consistentes a los reportado por Benítez et al. (2018), quienes reportan una desorción del 84.1 % del Mercurio removido por *Chlorella sp*. Mientras que Kumar et al. (2018) hallaron una desorción de alrededor del 87 % del Cd removido por la biomasa de *Chlorella vulgaris*.

**Tabla 1.** Resultados de la capacidad de desorción de metales pesados desde la biomasa microalgas inmovilizada.

Metales pesados	Capacidad de Desorción (%)	
	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Scenedesmus obliquus</i>
Hg	97,28 ± 1,93 b	96,74 ± 2,14 b
Cd	96,86 ± 2,14 b	95,15 ± 2,90 ab
Pb	95,48 ± 1,19 ab	93,82 ± 2,68 a

Valores seguidos de letras diferentes difieren en forma significativa ($P < 0,05$).

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

El uso de microalgas inmovilizadas, como técnicas de biosorción de metales pesados, es eficiente, dado que las microalgas empleadas en esta investigación permitieron una biosorción superior al 74 % de los metales pesados, y una desorción superior al 93 % de los mismos. *Chlorella vulgaris* mostró los

mayores promedios de absorción con 94,77 % de cadmio, 92.45 % de plomo y 87.61 % de mercurio, lo que indica que esta especie de microalga posee mayor afinidad hacia estos metales pesados, en comparación con *Scenedesmus obliquus*.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Deimer Vitola Romero: investigación, análisis de datos, escritura – borrador original. **Alexander Pérez Cordero:** investigación, conceptualización, escritura – revisión y edición. **Donicer E. Montes Vergara:** análisis de datos, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este manuscrito extienden sus agradecimientos a la Universidad de Sucre, al Laboratorio de Investigaciones Microbiológicas y al grupo de investigación Bioprospección Agropecuaria, quienes fueron las entidades financiadoras.

CONFLICTO DE INTERESES

La información contenida en este manuscrito es original, revisada y preparada por las personas que participan en el mismo. Declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados del mismo.

LITERATURA CITADA

Adam, S., Suresh, P., Santhanam, P., Dinesh, S. & Prabhavathi, P. (2015). Bioremediation of tannery wastewater using immobilized marine microalga *Tetraselmis*

sp: experimental studies and pseudo-second order kinetics. *Journal of Marine Biology & Oceanography*, 4(1), 1-11. <http://dx.doi.org/10.4172/2324-8661.1000141>

Ahmad, A., Bhat, A. H. & Buang, A. (2018). Biosorption of transition metals by freely suspended and Ca-alginate immobilised with *Chlorella vulgaris*: Kinetic and equilibrium modeling. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1361-1375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.252>

Akhtar, N., Iqbal, J. & Iqbal, M. (2004). Removal and recovery of nickel(II) from aqueous solution by loofa sponge-immobilized biomass of *Chlorella sorokiniana*: characterization studies. *Journal of Hazardous Materials*, 108(1-2), 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.01.002>

Awual, R., Hasan, M., Khaleque, A. & Sheikh, C. (2016). Treatment of copper(II) containing wastewater by a newly developed ligand based facial conjugate materials. *Chemical Engineering Journal*, 288, 368-376. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.108>

Awual, R., Ismael, M., Khaleque, A. & Yaita, T. (2014). Ultra-trace copper(II) detection and removal from wastewater using novel

meso-adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering*, 20(4), 2332-2340. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.10.009>

Benítez, S., Pérez, A. & Vitola, D. (2018). Removal and recovery of mercury in vitro using immobilized live biomass of *Chlorella* sp. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(45), 1-8. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i45/137575>

Bilal, M., Rasheed, T., Sosa-Hernández, J. E., Raza, A., Nabeel, F. & Iqbal, H. M. N. (2018). Biosorption: an interplay between marine algae and potentially toxic elements-a review. *Marine Drugs*, 16(2), p. 65. <https://doi.org/10.3390/md16020065>

Covarrubias, S. A., De Bashan, L. E., Moreno, M. & Bashan, Y. (2012). Alginate beads provide a beneficial physical barrier against native microorganisms in wastewater treated with immobilized bacteria and microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93(6), 2669-2680. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3585-8>

Crowe, W., Allsopp, P. J., Watson, G. E., Magee, P. J., Strain, J. J., Armstrong, D. J., Ball, E. & McSorley, E. M. (2017). Mercury as an environmental stimulus in the development of autoimmunity- A systematic review. *Autoimmunity Reviews*, 16(1), 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2016.09.020>

De Bashan, L. E. & Bashan, Y. (2010). Immobilized microalgae for removing pollutants: Review of practical aspects. *Bioresource Technology*, 101(6), 1611-1627. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.043>

Díaz-Arriaga, F. A. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 16(6), 947-957. <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v16n6.45406>

Dinesh, S., Santhanam, P., Jayalakshmi, T., Nandakumar, R., Ananth, S., Devi, A. S. & Balaji, B. (2013). Optimization of pH and retention time on the removal of nutrients and heavy metal (zinc) using immobilized marine microalga *Chlorella marina*. *Journal of Biological Sciences*, 13(5), 400-405. <https://dx.doi.org/10.3923/jbs.2013.400.405>

Emenike, C. U., Agamuthu, P. & Fauziah, S. H. (2017). Sustainable remediation of heavy metal polluted soil: A biotechnical interaction with selected bacteria species. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 275-278. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.10.002>

Gutiérrez-Benítez, O., González-Álvarez, J., Freire-Leira, M. S., Rodríguez-Rico, I. L. y Moreira-González, A. R. (2014). Potencialidades de un biosorbente algal para la remoción de metales pesados. *Tecnología Química*, 34(1), 82-93. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543781008.pdf>

Hernández, Y., Pérez, A. & Vitola, D. (2018). Biosorption of mercury and nickel in vitro by microalga *Chlorella* sp. in solution and immobilized in dry fruit of squash (*Luffa cylindrica*). *Indian Journal of Science and Technology*, 11(41), 1-8 <https://dx.doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i41/131111>

Kandilian, R., Jesus, B., Legrand, J., Pilon, L. & Pruvost, J. (2017). Light transfer in agar immobilized microalgae cell cultures. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 198, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.04.027>

Kumar, M., Singh, A. K. & Sikandar, M. (2018). Study of sorption and desorption of Cd (II) from aqueous solution using isolated green algae *Chlorella vulgaris*. *Applied Water Science*, 8, 225. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0871-y>

Lee, C. S. & Fisher, N. S. (2017). Bioaccumulation of methylmercury in a marine diatom and the influence of dissolved organic matter. *Marine Chemistry*, 197, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2017.09.005>

Liu, Y. K., Seki, M., Tanaka, H. & Furusaki, S. (1998). Characteristics of loofa (*Luffa cylindrica*) sponge as a carrier for plant cell immobilization. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 85(4), 416-421. [https://doi.org/10.1016/S0922-338X\(98\)80086-X](https://doi.org/10.1016/S0922-338X(98)80086-X)

Nabizadeh, R., Naddafi, K., Mesdaghinia, A. & Nafez, A. H. (2008). Feasibility study of organic matter and ammonium removal



- using loofa sponge as a supporting medium in an aerated submerged fixed-film reactor (ASFFR). *Electronic Journal of Biotechnology*, 11(4), 1-9. <https://www.scielo.cl/pdf/ejb/v11n4/a06.pdf>
- Nguyen, T. A. H., Ngo, H. H., Guo, W. S., Zhang, J., Liang, S., Yue, Q. Y., Li, Q. & Nguyen, T. V. (2013). Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*, 148, 574-585. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.124>
- Renu, K., Madhyastha, H., Madhyastha, R., Maruyama, M., Arunachlam, S. & Abilash, V. G. (2018). Role of arsenic exposure in adipose tissue dysfunction and its possible implication in diabetes pathophysiology. *Toxicology Letters*, 284, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.11.032>
- Resolución 0631 de 2015. (2015, 17 de marzo). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial No. 49.486. <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>
- Reyes, Y. C, Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M. y González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447/4518
- Staun, C., Vaughan, J., López-Anton, M. A., Rumayor, M. & Martínez-Tarazona, M. R. (2018). Geochemical speciation of mercury in bauxite. *Applied Geochemistry*, 93, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.03.007>
- Tahmasebi, E., Masoomi, M. Y., Yamimi, Y. & Morsali, A. (2015). Application of mechanosynthesized azine-decorated zinc (II) metal-organic frameworks for highly efficient removal and extraction of some heavy-metal ions from aqueous samples: a comparative study. *Inorganic Chemistry*, 54(2), 425-433. <https://doi.org/10.1021/ic5015384>
- Tang, J., He, J., Xin, X., Hu, H. & Liu, T. (2018). Biosurfactants enhanced heavy metals removal from sludge in the electrokinetic treatment. *Chemical Engineering Journal*, 334, 2579-2592. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.010>
- Vargas, S. P. y Marrugo, J. L. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: riesgo por ingesta. *Acta Biológica Colombiana*. 24(2), 232-242. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.74128>
- Vitola, D., Pérez, A. & Oviedo, Y. (2018). Biodegradation activity of crude oil by *Chlorella* sp. under mixotrophic conditions. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(29), 1-8. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i29/127832>
- Yin, K., Wang, Q., Lv, M. & Chen, L. (2019). Microorganism remediation strategies towards heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 360, 1553-1563. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.226>
- Zhao, J., Liu, J., Li, N., Wang, W., Nan, J., Zhao, Z. & Cui, F. (2016). Highly efficient removal of bivalent heavy metals from aqueous systems by magnetic porous Fe₃O₄-MnO₂: Adsorption behavior and process study. *Chemical Engineering Journal*, 304, 737-746. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.07.003>

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.



IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO Y DISPOSICIÓN DEL AGUA EN UNA COMUNIDAD RURAL

IDENTIFICATION OF WATER SUPPLY AND DISPOSAL SYSTEMS IN A RURAL COMMUNITY

Laura V. Morales-Tejeiro • laura.morales@unillanos.edu.co
Maestría en Gestión Ambiental Sostenible, Universidad de los Llanos, Villavicencio-Colombia.

Juan M. Trujillo-González • trujillo@unillanos.edu.co
PhD. Química agrícola, Universidad de los Llanos, Villavicencio-Colombia.

Marco A. Torres-Mora • marcotorres@unillanos.edu.co
PhD. Tecnologías energéticas y ambientales para el desarrollo, Universidad de los Llanos, Villavicencio-Colombia.

Citación: Morales-Tejeiro, L. V., Trujillo-González, J. M., Torres-Mora, M. A. (2022). Identificación de los sistemas de suministro y disposición del agua en una comunidad rural. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 205 – 220. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4271>

RESUMEN

Contextualización: El agua es el recurso natural de mayor importancia. No obstante, su aprovechamiento es limitado, ya que sólo el 1% del agua del planeta es potencialmente apto para el consumo humano. En áreas rurales los sistemas de abastecimiento y conducción de aguas residuales pueden ser considerados artesanales o rudimentarios, lo cual no garantiza el flujo constante del recurso ni la calidad óptima para el consumo humano. Además, tiene efectos negativos para la salud pública y genera afectación a los recursos naturales.

Vacío de conocimiento: En este sentido, este tipo de trabajos cobran importancia al describir los mecanismos asociados al recurso hídrico con los que cuentan las comunidades rurales, para que esta información, a su vez, contribuya en la formulación de propuestas desde los grupos de interés.

Propósito: El presente estudio tuvo como objetivo principal identificar los sistemas de abastecimiento de agua y sistemas de disposición de aguas residuales de la comunidad rural de la vereda Barcelona, en el municipio de Villavicencio (Meta).

Metodología: La información analizada se obtuvo por medio de encuestas

semiestructuradas que fueron realizadas de manera aleatoria en distintos sectores de la vereda.

Resultados y conclusiones: Entre los principales resultados se encontró que la comunidad se abastece de agua por medio de aljibes (100 %) y realiza la disposición de aguas residuales mediante cuatro sistemas: pozo séptico propio (44 %); pozo séptico comunitario (20 %); pozo séptico propio y campo abierto (28 %); pozo séptico comunitario y campo abierto (8 %). Adicionalmente, la percepción de la calidad del agua varió de acuerdo con el género. El 100 % de las mujeres identificaron como de baja calidad el agua para consumo humano, y en razón de esto se abastecen de fuentes seguras para su consumo y preparación de alimentos; mientras que los hombres la identificaron como regular y el 37% la consumen directamente. Finalmente, se evidenció que el actual mecanismo de limpieza de los sistemas de disposición de aguas residuales puede convertirse en un factor de riesgo de contaminación y afectación a la salud pública.

Palabras Clave: recurso hídrico; sistema de abastecimiento; aguas residuales; comunidad rural

ABSTRACT

Contextualization: Water is the most important natural resource, however, its use is limited, since only 1% of the water on the planet is potentially suitable for human consumption. In rural areas, the systems for supplying and wastewater disposal can be artisan or rudimentary, which does not guarantee the constant flow of the resource, the optimal quality for human consumption, and has negative effects on public health and impact on natural resources.

Knowledge gap: In this sense, this type of studies becomes important to describe the mechanisms associated with water resources that rural communities have, so this information, in turn, contributes to the formulation of proposals from interest groups.

Purpose: The main objective of this study was to identify the water supply systems and wastewater disposal systems in the rural community of the Vereda Barcelona, in the municipality of Villavicencio (Meta).

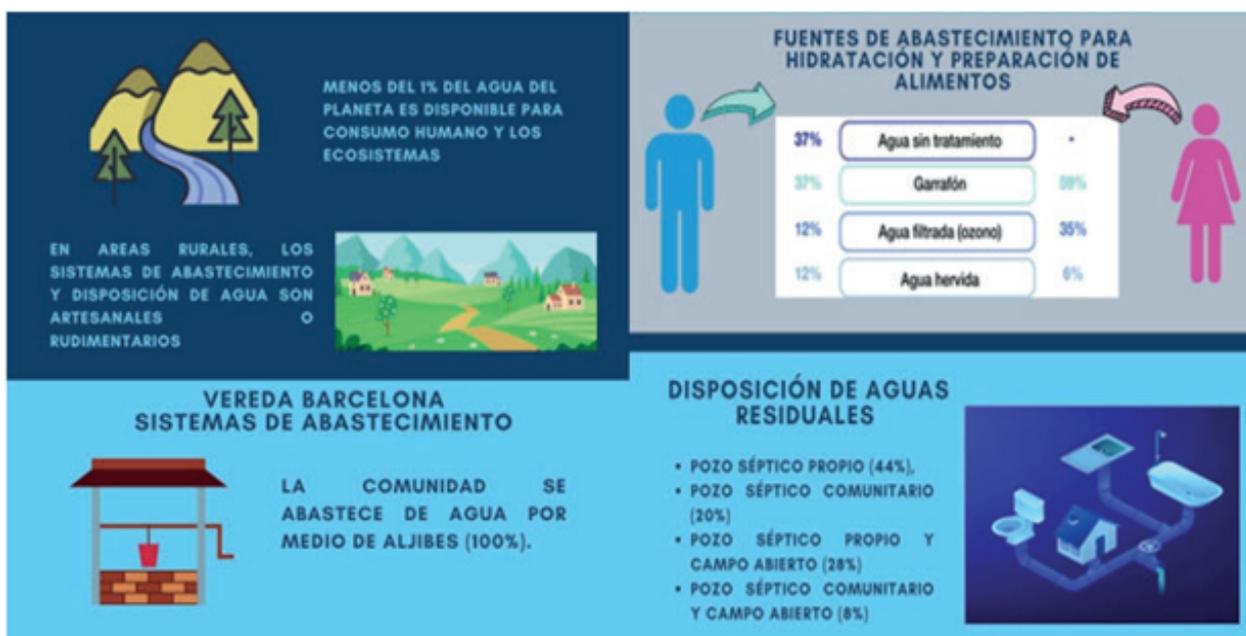
Methodology: The analyzed information was obtained through semi-structured

surveys that were carried out randomly in different sectors of the village.

Results and conclusions: Among the main results, it was found that the community is supplied with water through cisterns (100 %) and disposes of wastewater through four systems: its own septic well (44 %), community septic well (20 %), septic well own and open field (28 %), and community septic well and open field (8 %). Also, the perception of water quality varied according to gender. 100 % of the women identified the water as low quality for human consumption, and because of this, they are supplied from safe sources for their consumption and food preparation; while men identified it as regular and 37 % consume it directly. Finally, it was evidenced that the current cleaning mechanism for wastewater disposal systems can become a risk factor for contamination and affection on public health.

Keywords: water resource, water supply system, wastewater, rural community

RESUMEN GRAFICO



Fuente: autores



1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso natural de mayor importancia para la supervivencia humana. Soporta diferentes procesos que permiten el desarrollo apropiado de las sociedades, así como también tiene una alta importancia para el sostenimiento de las funciones ecológicas de los sistemas naturales (Fernández, 2012). Es un recurso limitado porque, de toda el agua del planeta, solo 1 % es potencialmente apto para el consumo humano y alguna parte de esta porción está en regiones con conflictos o contaminadas (Iñiguez, et al., 2015). Por otra parte, los recursos hídricos aún siguen siendo de difícil acceso para algunas comunidades en Latinoamérica, pues (hacia el 2015) solo un 65 % de la población tenía acceso a servicios de agua potable gestionados de forma segura, aproximadamente 25 millones de personas no contaban con acceso a un servicio básico de agua y 222 millones no tenían servicios de agua potable gestionados de forma segura (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2019).

En este sentido, la crisis por la disponibilidad de agua, para el soporte de las actividades domésticas, aumenta cada vez más en algunas regiones del mundo, principalmente por la creciente demanda para uso agrícola e industrial y por los efectos del cambio climático (Delgado-García et al., 2017). En América Latina el escenario es crítico. Los gobiernos tienen limitantes económicas, institucionales y climáticas que no les permite garantizar completamente las necesidades básicas de la población (Pinilla-Rodríguez y Torres-Sánchez, 2019). Además, la crisis se agudiza por el alto deterioro ambiental de los ecosistemas; generado como consecuencia de una sobreexplotación del recurso hídrico, por las extracciones de agua para el desarrollo de las actividades productivas o porque las aguas son utilizadas como vehículo para eliminar las aguas residuales de la población (Trujillo-González et al., 2017). Por su parte, los factores sociales, culturales y políticos limitan la inversión o la capacidad técnica necesaria para gestionar el recurso hídrico (Padrón y Cantú, 2015).

La problemática de acceso a fuentes de agua, con la calidad y disponibilidad óptima para abastecimiento humano, es un tema de

vital importancia y debe estar en las agendas de las autoridades como de la sociedad en general (Faviel et al., 2018). Colombia es un territorio con abundancia hídrica, considerado el sexto país en el mundo con mayor disponibilidad de agua, y con alrededor del 5% del agua dulce superficial del planeta (Organización Mundial de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura [FAO], 2020). Sin embargo, la disponibilidad del agua no es homogénea en el territorio nacional (Díaz, 2019); el estado de la oferta de agua ha sido resultado de los modelos asumidos por el Estado colombiano, vinculados con la minería, la agricultura extensiva y los desarticulados planes de expansión urbana (Mejía, 2004; Bermúdez, 2014).

En el plano rural, las propias comunidades son los actores principales y quienes jalonan la gestión del recurso. Se adaptan a las particularidades propias del entorno, donde se apropian de modelos tecnológicos y se organizan con el objeto de acceder al recurso. Este trabajo en conjunto es resultado de las relaciones sociales y del tejido social que se logra construir en función del agua, orientado por líderes con capacidad para comunicar y transmitir sus experiencias (Delgado-García et al., 2017; Quintana, 2014). No obstante, las estrategias no garantizan abastecimiento a largo plazo ni la calidad en los términos establecidos por las normas para el caso colombiano, reglado por la resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la protección social, 2007).

Con base en lo anterior, la Vereda Barcelona de la ciudad de Villavicencio se muestra como un escenario idóneo para la evaluación de la gestión del recurso hídrico, es un sector rural donde el recurso es gestionado por la comunidad y además está en una etapa de crecimiento demográfico y de urbanización (Barrera, 2012; Alcaldía de Villavicencio, 2015 b). En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo principal "identificar los sistemas de abastecimiento y disposición del agua en la comunidad rural de la Vereda Barcelona", a partir de encuestas hechas en la comunidad misma, y que esta información se convierta en un fundamento para la formulación de una herramienta de gestión ambiental eficaz, y para la formulación de planes y proyectos encaminados a la gestión integral del recurso hídrico, desde las comunidades o las instituciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de Estudio

La vereda Barcelona se ubica en el municipio de Villavicencio (Meta, Colombia), a 86 km de la capital del país. Hace parte de las 61 veredas rurales del municipio, se ubica en el corregimiento siete, el cual cubre un área total de 40345,27 Ha, ocupando así el 31,01 % del territorio municipal. La vereda cuenta con un área de 2465 hectáreas y se encuentra ubicada a una altura promedio de 400 m. s. n. m (Alcaldía de Villavicencio, 2015a). El clima es típicamente cálido, con

temperaturas promedio de 25°C, posee una temperatura inferior al casco urbano del municipio. En este sector es común encontrar bosques húmedos tropicales en transición y bosques de galería con grandes porciones de tierra. Está irrigado por numerosas fuentes hídricas, algunas altamente intervenidas (Trujillo-González et al., 2015). La ubicación del área de estudio se encuentra especificada en la Figura 1; Las fotografías áreas se obtuvieron por medio de Google Earth y los mapas se realizaron por medio del programa ArcGis.

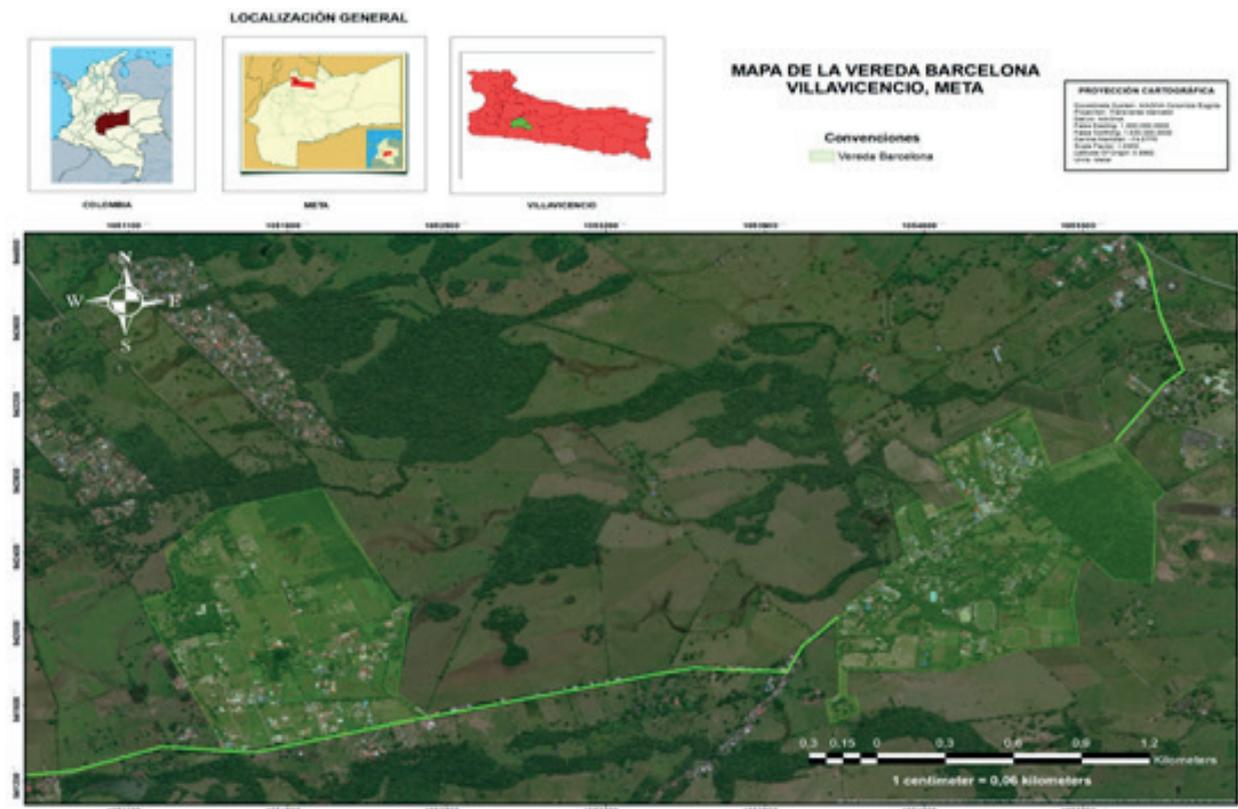


Figura 1. Ubicación geográfica de la vereda Barcelona, Villavicencio-Colombia.

Fuente: Autores

2.2. Recolección de información

En la recolección de la información primaria se empleó el muestreo probabilístico de tipo aleatorio simple (Otzen y Manterola, 2017), la unidad de análisis fueron las viviendas, y el tamaño de la muestra se determinó de acuerdo con el número total de viviendas ubicadas en la Vereda (150 viviendas), cada una con 4-5 personas aproximadamente. Las condiciones de inclusión en el estudio fueron: vivir por más de cinco (5) años en la vereda

Barcelona y ser mayor de edad. Establecidos estos requisitos se lograron encuestar 25 hogares que cumplieran con esta condición. La información secundaria, por su parte, se tomó de publicaciones, informes académicos e institucionales.

El instrumento metodológico que se utilizó fue la encuesta (Anexo 1), la cual se basó en escalas de intensidad o percepción, con preguntas en abanico y dicotómicas (López y Fachelli, 2015). Estas escalas permitieron



identificar la percepción social sobre la calidad del agua de la vereda Barcelona. Previamente se realizó una prueba piloto donde se aplicaron encuestas en campo, posteriormente se ajustó el cuestionario y se aplicó la encuesta final en las viviendas.

2.3. Análisis de Datos

La intención de las encuestas fue de carácter exploratorio para identificar los fenómenos relevantes que suceden en la vereda Barcelona frente a la gestión del agua. Con este propósito, la información obtenida se organizó en tablas con el fin de relacionar las variables cualitativas (género, nivel educativo, tenencia de la tierra, tipo de sistema de suministro y disposición de agua, percepción de la calidad del agua, entre otros) con las variables cuantitativas (profundidad del aljibe, distancia aljibe pozo séptico, cantidad de cloro para tratamiento y frecuencia, entre otros). Posteriormente, la población encuestada fue separada de acuerdo diferentes categorías analíticas: género, nivel educativo y tipo de tenencia de la tierra.

Para comparar cada una de las categorías analíticas, se usaron como base los cálculos de los porcentajes de las frecuencias obtenidas en cada una de las variables cualitativas de interés (sistemas de suministro y disposición, percepción de la calidad del agua) y se realizó

un análisis tabular, en el cual se relacionaron las variables de clasificación de la población y las variables de gestión del agua a partir de las respuestas de la encuesta. Con base en estas respuestas se construyeron categorías analíticas de acuerdo con la metodología empleada por Villamagua (2017). Adicionalmente, para el análisis cuantitativo se tuvieron en cuenta la frecuencia de las respuestas relacionadas a una o más de las categorías analíticas determinadas. Posteriormente, la población encuestada fue separada de acuerdo diferentes categorías analíticas: género, nivel educativo y tipo de tenencia de tierra.

Para comparar cada una de las categorías analíticas, se usaron como base los cálculos de los porcentajes de las frecuencias obtenidas en cada una de las variables cualitativas de interés (género, nivel educativo, tenencia de la tierra, tipo de sistema de suministro y disposición de agua, percepción de la calidad del agua, entre otros) con las variables cuantitativas (profundidad del aljibe, distancia entre pozo séptico y aljibe, cantidad de cloro para tratamiento y frecuencia, entre otros), como se muestra en la figura 2; en la que se realiza la comparación entre la variable cualitativa (nivel de educación) frente a la variable cuantitativa (distancia entre pozo séptico y aljibe).

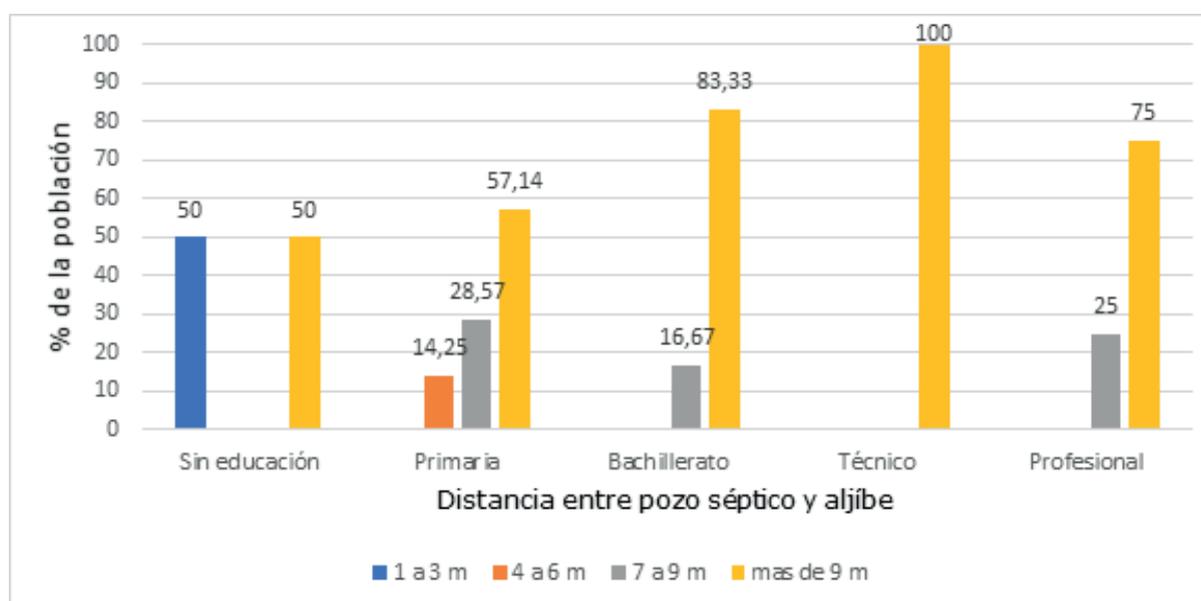


Figura 2. Nivel de Educación vs distancia entre el pozo séptico y aljibe.

Fuente: Autores

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Generalidades

Del total de la población encuestada, el 47 % de las mujeres tenía una edad en el rango de 41 a 60 años, mientras que el 37 % de los hombres fueron mayores de 60 años. La ocupación de los encuestados fue principalmente "comerciante" (52 %) y el negocio predominante, las tiendas de víveres; seguido por personas que se dedican a las labores del hogar (32 %); finalmente, un 12 % de los encuestados se clasificó como estudiante que cursa programas profesionales en la sede Barcelona de la Universidad de los Llanos. Otras actividades que han sido desarrolladas en el sector, en el pasado, corresponden a actividades agrícolas y pecuarias, según (Trujillo-González et al., 2015) . No obstante, en el presente trabajo ninguno de los encuestados manifestó dedicarse a dicha actividad.

En cuanto a la antigüedad en la zona, se encontró que el 24 % de la población reside en la vereda hace más de 20 años y el 68 % cuenta con vivienda propia. En lo referente al uso del suelo, el 72 % de las viviendas son de uso residencial únicamente, frente al 28 % que son utilizadas para uso residencial y comercial con establecimientos que se dedican a la venta de alimentos y licores, los cuales se benefician directamente de los habitantes del sector, quienes son sus principales clientes. Esto último coincide con lo mencionado por Caro-Caro et al. (2014), quien señala que en el sector se encuentra infraestructura recreativa como piscinas, parques de juegos y otros, cuyo uso es de tipo turístico. Por otro lado, la información disponible de la vereda Barcelona indica otros usos del suelo relacionados con actividades productivas, como cobertura de pasto para ganadería, presencia de piscícolas y siembra de diversos cultivos (Caro-Caro et al., 2014).

Así mismo, se evidencian procesos de expansión y un cambio en el uso del suelo, de agrícola a comercial y turístico, notándose la presencia de nueva infraestructura, como edificios habitacionales, que cambian la configuración del paisaje rural hacia uno de tipo urbano (Barrera, 2012). Esta expansión se evidencia en la información presentada por el Plan de Ordenamiento Territorial 2015,

el cual encontró diferentes factores que han incidido en el proceso de crecimiento urbano. Además, en este mismo plan se menciona que parte de la vereda se enfrenta a una reorganización de su infraestructura, a causa de la construcción de la nueva vía Villavicencio – Acacias. Esta construcción es de tal magnitud que generará cambios en el paisaje (Alcaldía de Villavicencio, 2015a).

Ochoa (2017) menciona que el proceso de urbanización de la vereda Barcelona es consecuente con las tendencias de desarrollo territorial en la ciudad de Villavicencio, que están llevando a una creciente penetración del suelo urbano al suelo rural y cuyo proceso coincide en la construcción de viviendas y fincas turísticas que no cumplen con la normatividad estipulada para suelo rural. Estos predios están ocasionando transformaciones en la vocación productiva, y posible deterioro ambiental por la reducción de bosques y fuentes hídricas. Lo anterior se respalda con la información obtenida en las encuestas, en las cuales la comunidad manifestó que, desde que está la sede Barcelona de la Universidad de los Llanos en el sector, el crecimiento poblacional de la vereda ha sido considerable y ha estado acompañado de la construcción de edificios para la vivienda de estudiantes y otras actividades comerciales, relacionadas con servicios ofrecidos a esta misma población, tales como: piscinas, billares, canchas de tejo, papelerías, restaurantes, canchas de fútbol, entre otros.

3.2 Sistemas de abastecimiento de agua

Al igual que en el resto del mundo, en Colombia el agua y su disponibilidad se encuentran amenazadas por su inadecuado uso, lo cual implica retos determinantes ante el saneamiento y la higiene de la población y los ecosistemas vinculados (Programa de Las Naciones Unidas Para El Desarrollo- [PNUD], 2018). Además, en el país es notorio la escasa información al respecto, ya que parte de esta no se encuentra registrada en varios municipios.

Según la Contraloría General de la Nación (2018), el número de municipios que reportaron cobertura en acueducto en un 100 % disminuyó de 162 a 90, en el periodo comprendido del 2010 al 2017. En particular



en el municipio del Meta, acorde con lo evidenciado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en el informe "Meta, Retos y Desafíos para el Desarrollo Sostenible" (PNUD, 2020), el departamento tiene una cobertura del 93 % de disponibilidad de agua potable. Un 59 % de ella es proveída directamente del acueducto, pero el índice de riesgo de calidad del agua es de 32 % lo que significa un riesgo medio para su consumo. En este sentido, la ciudad de Villavicencio tiene un promedio de 86 % de cobertura en la cabecera municipal (Castro-Garzón et al., 2013). La realidad de la vereda Barcelona es otra, en el total de los hogares entrevistados el abastecimiento es soportado por pozos profundos o aljibes y en los casos en los que se considera que el agua del aljibe no es apta para el consumo humano, se proveen de agua embotellada para la hidratación y preparación de alimentos.

Según Vélez et al., (2011), los aljibes se utilizan para abastecer de agua a pequeñas comunidades, mediante el uso de bombas manuales o sistemas de bombeo muy simples para extraer el recurso hídrico. Este tipo de sistema de abastecimiento consta de pozos que se excavan de manera manual, con profundidades entre 5 y 10 metros y

diámetros de hasta un metro en promedio. Adicionalmente, a la estructura interna de los pozos suele hacerse un recubrimiento de tubo PVC u otro material, con el objeto de evitar su derrumbamiento y la posibilidad de contaminar las aguas subterráneas. De acuerdo con este parámetro estructural, dentro de los hogares encuestados el 60 % de los pozos presentaban algún tipo de recubrimiento (Cemento, 52 %; PVC, 4 %; y Baldosa, 4 %), mientras que el 40% restante no contaban con ningún tipo de reforzamiento.

En el estudio se estableció, también, una relación entre el uso de la tierra y el material de construcción del aljibe; como se mencionó antes, se encontraron viviendas destinadas para uso residencial y viviendas de uso residencial - comercial. De acuerdo con esto se encontró que el 66 % de los aljibes de las viviendas de tipo residencial se encuentran recubiertos por tubos de cemento, el 27 % son rústicos y el 5 % en tubo PVC. En el caso de las viviendas de uso residencial-comercial, el 71,4 % de los aljibes se encuentran contruidos de manera rustica; 14,29 %, recubiertos por tubo de cemento; y el 14,29 % restante, recubiertos en baldosa (figura 3).

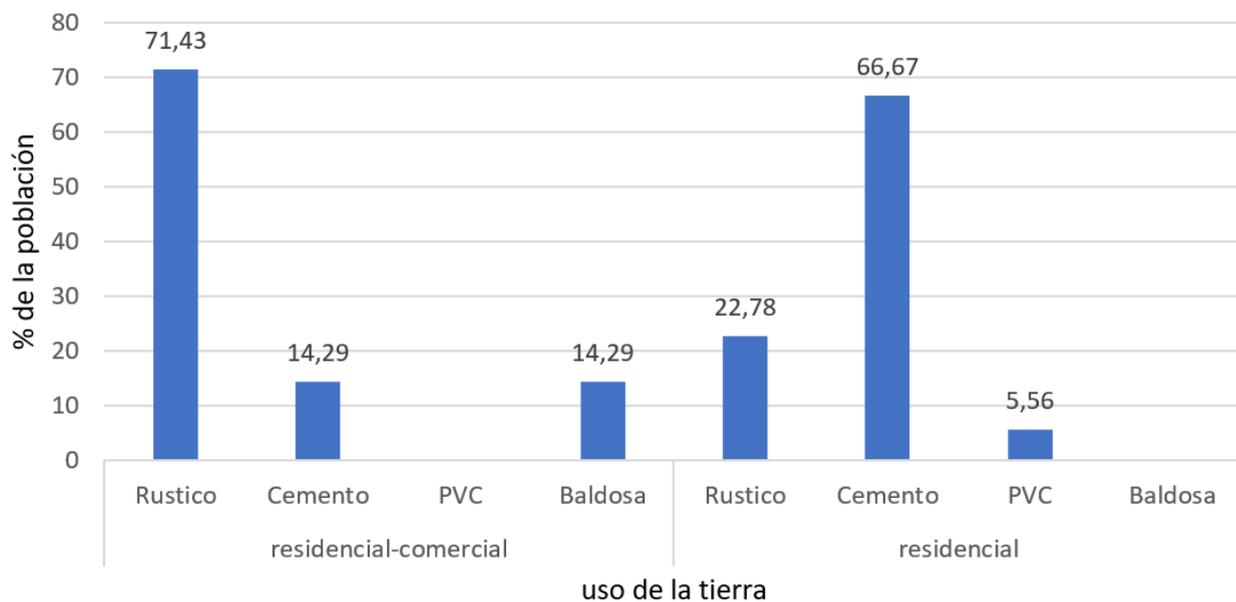


Figura 3. Material de recubrimiento del aljibe en relación con el uso de la tierra.

Fuente: Autores

El agua que se extrae de estos pozos llega a un tanque elevado, una vez almacenada se distribuye para las diferentes labores del hogar o en algunas ocasiones para consumo humano. Como medidas de tratamiento y aseguramiento de la calidad del agua, el 84 % de los pozos son tratados mediante el suministro de dos pastillas de cloro de 200 g al año; esta cantidad es superior a la recomendada por la Organización Mundial de la salud, (2004), la cual dice que la concentración del cloro residual en el agua debe estar entre 0,2 y 0,5 mg/l por día, por lo que la cantidad necesaria para tratar las aguas de aljibes con las dimensiones de los encontrados en la vereda, que poseen un volumen de 15,700 litros aproximadamente, sería de 3,14 a 7,85 gramos de cloro libre o residual.

De acuerdo con esta particularidad, es importante que la comunidad conozca las propiedades de las aguas del aljibe para formular la dosificación de cloro. En este sentido, se recomienda realizar ensayos a nivel de laboratorio para determinar la dosis óptima, la periodicidad del desinfectante y las condiciones adecuadas de operación para la desinfección (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). Por otro lado, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2014) establece que la periodicidad con la que se debe aplicar tratamiento con cloro, en el caso de aljibes, debe ser de 30 a 45 días, pues las condiciones de oscuridad y temperatura que se genera en el interior de un aljibe contribuyen a preservar la capacidad de desinfección de este elemento. Con respecto a esto, se encontró que en la vereda hubo diferencias: el 80 % de los encuestados aplican pastillas desinfectantes en un periodo de cada 6 meses a un año, un 4 %, cada dos años o más y un 16% carecen de insumos para la cloración. Estos últimos mencionaron que prefieren mantener el pozo cerrado en la parte superior para evitar que caigan partículas que puedan contaminarlo.

Esta investigación evidenció que la población valora la estacionalidad por el efecto que tienen las aguas de lluvia sobre la calidad y cantidad del agua. Sobre esto, mencionan que en épocas de mayor pluviosidad identifican el aumento del nivel de agua en el aljibe, así como la disminución de la turbidez

del agua, ya que se observa un agua más "clara". El periodo crítico por escasez de lluvia en la cuenca del río Ocoa suele presentarse en los meses de enero, febrero y marzo (Instituto de Hidrología meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [IDEAM], 2020), es decir, la precipitación es baja y se disminuyen los caudales en los cauces de los ríos y quebradas.

Lo anterior se respalda con los resultados de precipitación de los últimos 33 años de la estación meteorológica de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, que señala el periodo de diciembre a febrero como el que tiene el promedio de precipitaciones mensuales más bajo, con valores de precipitación inferiores a 120 mm, por lo que es de esperarse de que en esta época el recurso sea más escaso y de menor calidad. Contrario a esto, los meses de abril, junio y julio son los de mayor precipitación (IDEAM, 2020), por lo que allí no solo se nota una mejora en la obtención del recurso sino que se muestra cómo un escenario clave para el desarrollo de estrategias para la obtención y almacenamiento del agua en épocas de escasez. En cuanto a esto, según los datos de la estación meteorológica, los meses con mayor pluviosidad han sido abril, mayo y junio con valores superiores a 460 mm.

A pesar de que la población identifica esta situación de variabilidad climática en la disponibilidad del recurso, no se evidenció estrategia alguna en cuanto a los cambios en el uso rutinario del agua de acuerdo con la época. Del mismo modo, no mostraron tener un plan de almacenamiento concreto, pues manifiestan que, a pesar de que el nivel del agua disminuye en los pozos en época seca, nunca han sufrido de escasez. Esta situación presenta una oportunidad para que la comunidad se organice en cuanto al uso que se le está dando al recurso, es decir, para identificar las actividades comerciales y/o domésticas a las que se está destinando el mismo y a cuantificar cuánto de este se consume en cada una de estas actividades desarrolladas en la vereda.

Lo ideal es que las condiciones del acceso al agua sean equitativas para todos los actores que se benefician del recurso, así que los intereses económicos no deberían



prevalecer sobre los intereses comunes en el momento de decidir las actividades prioritarias. Ante esta situación, Martín y Justo (2015), proponen que deben propiciarse mecanismos institucionales que fomenten la cohesión y pertenencia social, diferentes de la sanción o la responsabilidad y más centrados en la prevención, participación y racionalidad de la acción cooperativa. Con base en todo lo anterior, la gobernanza del agua como método de abastecimiento, uso y manejo del recurso hídrico es un método imparcial en cuanto a edad, género o capacidad económica. De acuerdo con Gómez y Collazos (2015), el crecimiento poblacional, cercano a las ciudades, afecta las condiciones ambientales. Entre las consecuencias ambientales ocasionadas por esta situación se encuentran: contaminación del aire, contaminación auditiva, invasión de las tierras fértiles o que no son aptas para la construcción de viviendas y aumento de la contaminación y presión sobre el recurso hídrico. En la población de la Vereda Barcelona, específicamente, se identificó que el problema ambiental de la contaminación del agua, por fuentes externas, obedece a la falta de mantenimiento del pozo séptico comunitario. Por otra parte, la falta de mantenimiento de los pozos profundos o aljibe es otro factor que afecta la calidad del recurso.

Según Chávez et al. (2013), una de las desventajas de los pozos profundos o aljibes es que el nivel freático puede estar contaminado por filtración de aguas residuales. Las sustancias contaminantes se infiltran (como consecuencia de las actividades que se realizan en la superficie del terreno) y se desplazan hasta el nivel del agua de los pozos profundos o aljibes; cuando llegan al agua, estas sustancias se mueven con ella y se pueden trasladar de un pozo profundo a otro Pulido et al., 1997). Desde este punto de vista, se puede determinar que la mayoría de los problemas que enfrenta el recurso hídrico subterráneo son causados por el hombre. Por otra parte, la ausencia de sistemas de acueducto en zonas rurales obliga a la comunidad a buscar diferentes formas de transporte, abastecimiento y almacenamiento del agua, afectando así su calidad microbiológica y convirtiéndola en un riesgo para la salud del consumidor

(Reales et al., 2014). Esto coincide con la percepción que tiene los habitantes de la Vereda Barcelona, los cuales consideran que la calidad del agua de los pozos profundos o aljibes es de calidad regular.

Ante esto, según lo evidenciado por Venegas et al. (2014), la frecuente limpieza de los lugares de almacenamiento de agua, mantener cubiertos los aljibes, realizar su limpieza y desinfección periódicamente, además de optar buenas prácticas de higiene dentro de los hogares, reduce de forma significativa la aparición de microorganismos. Del mismo modo, limpiar los tanques elevados o lugares de almacenamiento de agua y lavarse las manos de manera adecuada antes de realizar cualquier tipo de actividad que involucre tener contacto con el agua almacenada, mantiene la calidad microbiológica del recurso (Brick et al., 2004).

3.3. Percepciones sobre la calidad del agua

La percepción de la calidad del agua por parte de los usuarios es un tema que puede estar relacionado con la salud pública, pues es a partir de este criterio que los usuarios determinan los usos que se dan al líquido obtenido. De acuerdo con la opinión de los entrevistados, la percepción de la calidad tiene diferencias evidentes según el género. La mayoría de las mujeres percibieron que la calidad del agua proveniente del pozo profundo o aljibe es mala, por lo que un 59 % de ellas prefiere comprar agua embotellada en "garrafrones"; el 35 % escoge utilizar un sistema de tratamiento de agua (filtros de ozono); y el 6 % restante, hervir el agua para consumo humano. Contrario a esto, los hombres entrevistados manifestaron que el agua tiene una calidad regular (67 %) y buena (33 %), de manera que el 37 % de los hombres consideró que esta agua se puede utilizar para consumo humano sin ningún tipo de tratamiento, por lo que es probable que esta población este expuesta a riesgos de salud (figura 4).

La presente investigación obtuvo, en cuanto al género, que las mujeres mostraron tener un mayor conocimiento ambiental que los hombres, lo cual pudo ser resultado de que estas fueron más abiertas a dar información detallada sobre los sistemas

de abastecimiento y disposición de agua que se emplean en la vereda Barcelona, en comparación con los hombres (quienes en su mayoría fueron menos expresivos). Las mujeres demostraron percibir con mayor facilidad que los hombres los beneficios que reciben de la naturaleza; además, tal como mencionan Gutiérrez et al. (2013), la mujer (por su rol como administradora del hogar) ha logrado establecer parámetros de calidad de

agua, definidos por su experiencia en el uso que le dan al recurso, pues señalan que son las principales usuarias del agua para el uso doméstico, elaboración de alimentos, salud y saneamiento, por lo que perciben mejor los cambios en torno al líquido. A continuación, se muestran las principales fuentes de abastecimiento de agua y la percepción de calidad (Figura 4).

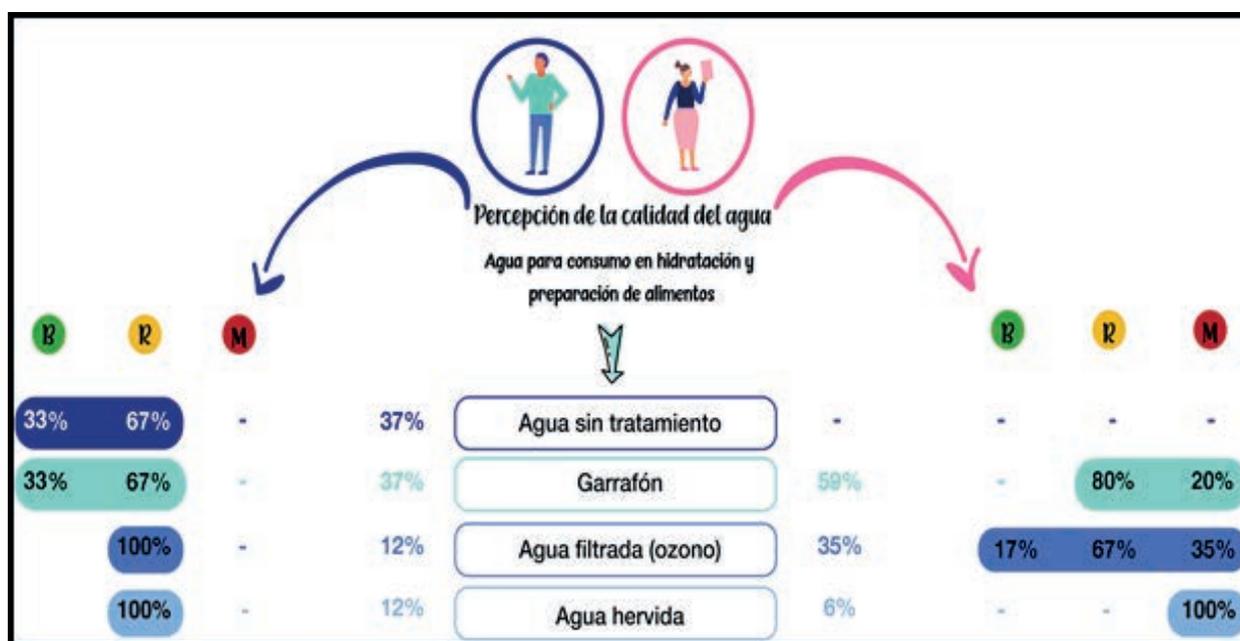


Figura 4. Percepción de la calidad de agua de los hombres y mujeres de la Vereda Barcelona de acuerdo con su tratamiento (para consumo en hidratación y preparación de alimentos). B: Buena, R: Regular, M: Mala.

Fuente: Autores

3.4 Sistemas de disposición de agua residuales

Existen diversas tecnologías para tratar las aguas residuales. Estas varían desde las convencionales altamente mecanizadas (que consumen un elevado costo energético), hasta tecnologías ecológicas de bajo costo (Zurita et al., 2011). Actualmente, el porcentaje de aguas residuales municipales (ARM) que se trata en los países en desarrollo apenas ronda el 10 % (Reynolds, 2002); mientras que en América Latina es del 14 %, debido principalmente a los altos costos de las plantas de tratamiento (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2018).

En Colombia el 65 % de los hogares de las zonas urbanas se encuentran conectados a

red de saneamiento público, mientras que solo el 27 % de los hogares ubicados en las zonas rurales están conectados (Departamento Nacional de Planeación, 2016). El país se sitúa entre los países latinoamericanos que han extendido su cobertura de tratamiento de aguas residuales domésticas en los últimos años, al lado de Brasil, Chile, Honduras, México, Nicaragua, Perú y Uruguay (FAO, 2005). En cuanto al alcantarillado, para el año 2016 el departamento del Meta contaba con una cobertura del 58 % (PNUD, 2020). La comunidad encuestada de la Vereda Barcelona refirió que el 44 % de las viviendas realizan la disposición de aguas residuales en un pozo séptico propio, el 28 % dispone de sus aguas residuales en un pozo séptico y campo abierto, cerca del 20 % realiza la disposición de aguas residuales en la red de



alcantarillado comunitario y tan solo el 8 % dispone las aguas residuales en la red de alcantarillado comunitario y campo abierto (Figura 5).

En la figura 6, de manera paralela, se muestra una relación entre el nivel de educación de la población encuestada y el distanciamiento entre el pozo séptico y el pozo profundo o aljibe. Se logró identificar que el 50 % de la población que no cuenta con estudios ubica el pozo séptico a una distancia de 1 a 3 metros. La población que

cuenta con estudios de básica primaria (14 %) ubica el pozo séptico a una distancia de 4 a 6 metros del pozo profundo o "aljibe", el 29 % a una distancia de 7 a 9 metros y el 57 % a una distancia mayor a 9 metros. La población que cuenta con estudios de bachillerato, técnico y profesional tiene la característica de ubicar el pozo séptico a una distancia mayor de 7 metros del pozo profundo o aljibe, estas personas reconocen la influencia que tiene la distancia entre el pozo séptico y el aljibe para disminuir los riesgos de contaminación y enfermedades causadas por el recurso.

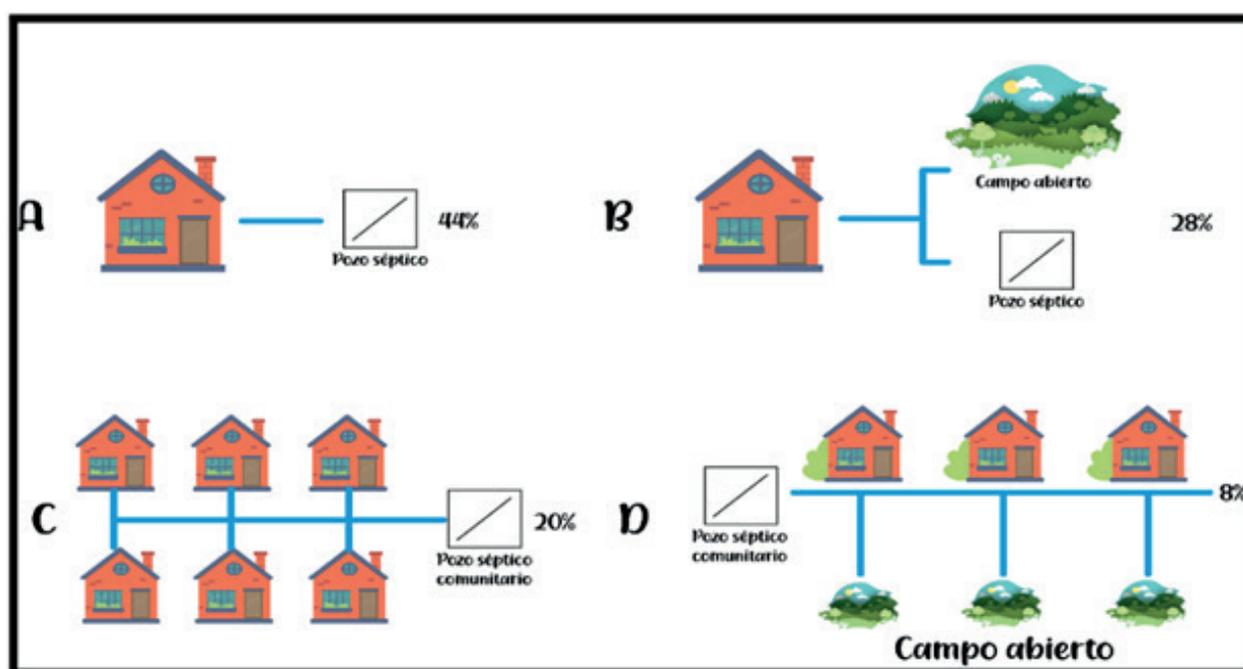


Figura 5. Sistemas de disposición de aguas residuales. A: Disposición de aguas residuales en pozo séptico. B: Disposición de aguas residuales en pozo séptico y campo abierto. C: Disposición de aguas residuales en red de alcantarillado comunitario. D: disposición de aguas residuales en red de alcantarillado comunitario y campo abierto.

Fuente: Autores

Con relación a lo anterior, Rodríguez et al., (2016) reconocen que la solución para disminuir los problemas de salud en comunidades rurales no implica únicamente la ampliación de la cobertura del sistema de acueducto y alcantarillado, requiere mejorar sustancialmente las condiciones higiénicas de las viviendas y garantizar acceso a una adecuada educación académica, ambiental y sanitaria a la población. Adicionalmente, según lo establece el Informe Mundial de las

Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021, el acceso seguro al agua y al saneamiento es un derecho legal (UNESCO, 2021). Por otra parte, Bellido et al. (2010) manifiestan que el nivel de educación tiene una incidencia alta en la prevención de enfermedades relacionadas con el consumo de agua, e identifica que es necesario que la población acceda a educación ambiental y sanitaria para disminuir el riesgo de enfermedades.

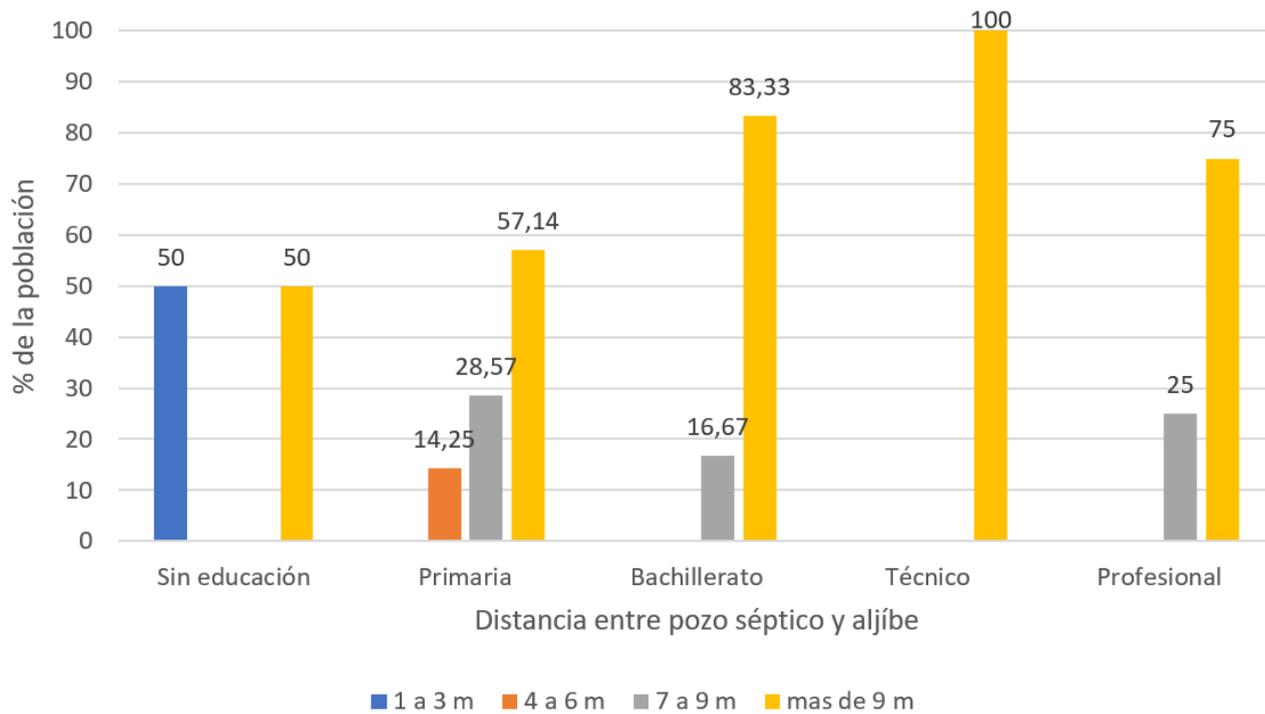


Figura 6. Distancia entre el pozo séptico y el aljibe según el nivel de educación

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

En la vereda Barcelona se encontró que la comunidad se abastece de agua por medio de aljibes y dispone sus aguas residuales mediante cuatro sistemas: pozo séptico; pozo séptico y campo abierto; pozo séptico comunitario; pozo séptico comunitario y campo abierto. A través de la investigación se encontró que la percepción de la calidad del agua varío de acuerdo con género (masculino o femenino), pues en general las mujeres manifestaron tener un mayor conocimiento de los servicios ecosistémicos y del uso del recurso hídrico con respecto a los hombres. De igual manera, se logró identificar que la población que cuenta con estudios de bachillerato, técnico o profesional tienen la característica de ubicar el pozo séptico a una distancia mayor de 7 metros del pozo profundo o aljibe, debido a que estas personas reconocen la influencia que tiene la distancia entre el pozo séptico y el aljibe para disminuir los riesgos de contaminación y enfermedades causadas por el recurso.

Por otro lado, el actual modelo de limpieza de los sistemas de disposición de aguas residuales en la vereda Barcelona es un factor de riesgo, debido a la alta carga de contaminantes aportada por la población del sector. En este escenario, la información derivada de este estudio busca aportar nuevos elementos de análisis que permitan establecer estrategias para la formulación de planes y proyectos encaminados al manejo de los recursos hídricos en esta área rural. Estos deben buscar unificar los criterios para el tratamiento de las aguas obtenidas y la disposición de las aguas residuales, para que estos dejen de ser un factor de riesgo para la salud pública de sus habitantes y el bienestar de los ecosistemas circundantes. Para lograr esto son necesarios estudios de laboratorio que permitan conocer la calidad del agua obtenida, asesorías técnicas a la población por parte de expertos en el tema de gestión del recurso hídrico y programas de educación ambiental. 



CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Laura V. Morales-Tejeiro: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Juan M. Trujillo-González:** investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición. **Marco A. Torres-Mora:** adquisición de recursos, administrador del proyecto, supervisión, conceptualización, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los habitantes de la vereda Barcelona por su hospitalidad y disponibilidad para realizar el trabajo de campo, a la Universidad de los Llanos y a su Dirección General de Investigación, a la convocatoria interna Jóvenes Investigadores del 2019, al Semillero y Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible y al Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana (ICAOC).

LITERATURA CITADA

Aguilera, A. (2014). *Valoración de servicios ecosistémicos de la vegetación urbana en una ciudad desértica. Caso de estudio Ciudad de Antofagasta* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile]. Archivo digital. <https://estudiosurbanos.uc.cl/en/exalumnos/valoracion-de-servicios-ecosistemicos-de-la-vegetacion-urbana-en-una-ciudad-desertica-caso-de-estudio-ciudad-de-antofagasta/>

Alcaldía de Villavicencio (2015a). *Síntesis Diagnóstica del Plan de ordenamiento territorial Municipio de Villavicencio*. <http://historico.villavicencio.gov.co/Conectividad/RendiciondeCuentas/Rendici%C3%B3n%20de%20Cuentas%202012-2015%20-%20Infancia,%20Adolescencia%20y%20Juventud.pdf>

Alcaldía de Villavicencio (2015b). *Plan de ordenamiento territorial Municipio de Villavicencio*. https://www.curaduriasegundavillavicencio.com.co/normatividad/municipal/POT_2015_Acuerdo%20287%20de%202015.pdf

Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). *Proceso regional de las Américas: Foro Mundial del agua 2018*. <https://www.>

[cepal.org/sites/default/files/news/files/informe_regional_america_latina_y_caribe.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/informe_regional_america_latina_y_caribe.pdf)

Barrera, F. D. (2012). *La transformación del paisaje rural-urbano y su efecto sobre los servicios ecosistémicos en una microcuenca de Santiago (Chile)* [Tesis doctoral, Universidad de Barcelona]. Archivo digital. https://www.researchgate.net/publication/277720835_La_transformacion_del_paisaje_rural-urbano_y_su_efecto_sobre_los_servicios_ecosistemicos_en_una_microcuenca_de_Santiago_Chile

Bellido, J. G., Barcellos, C., Dos Santos, F. y Bastos, F. (2010). Saneamiento ambiental y mortalidad en niños menores de 5 años por enfermedades de transmisión hídrica en Brasil. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 28, 114–120. <https://scielosp.org/article/rpsp/2010.v28n2/114-120/>

Bermúdez, O. B. (2014). La gestión de cuencas hidrográficas en Colombia y su papel en la solución de conflictos por el uso del agua. *Caderno Prudentino de Geografía*, 1(36), 106–125. <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3175>

Brick, T., Gladstone, P., Chandrasekhar, R., Roy, S., Muliylil, J. & Kang, G. (2004). Water contamination in urban South India: Household storage practices and their implications for water safety and enteric infections. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207(5), 473–480. https://www.researchgate.net/publication/8151230_Water_contamination_in_urban_south_india_household_storage_practices_and_their_implications_for_water_safety_and_enteric_infections

Caro-Caro, C. I., Torres-Mora, M. A. y Barajas-Barbosa, M. P. (2014). Ecosistemas estratégicos y disponibilidad de hábitat de la avifauna del piedemonte llanero (Colombia), como posible peligro aviar. *Luna Azul*, (39), 25–39. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n39/n39a03.pdf>

Castro-Garzón, H., Rubio-Cruz, M. A. y Rodríguez-Miranda, J. P. (2013). Análisis y perspectivas de las coberturas de acueducto y alcantarillado en el Departamento del Meta.

Orinoquía, 18(2), 122–129. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v18n2/v18n2a10.pdf>

Chávez, M., Rivera, G. Romero, T. y Vizcarra, I. (2013). El pozo: usos, seguridad y tradición en la subcuenca del río San Javier. *Estudios sociales*, 21(41), 261–286.

Contraloría General de la Nación (2018). *Gestión y Resultados del sector de agua potable y saneamiento básico con énfasis en los recursos del sistema general de participaciones 1994-2017*.

<https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/452124/Gesti%C3%B3n+y+resultados+del+sector+de+agua+potable+y+saneamiento+b%C3%A1sico+con+%C3%A9nfasis+en+los+recursos+del+sistema+general+de+participaciones+1994-2017.pdf/572870d8-215e-4796-9f03-25509134dddf?version=1.0>

Delgado-García, S., Trujillo-González, J. y Torres-Mora, M. (2017). Gestión del agua en comunidades rurales; caso de estudio cuenca del río Guayuriba, Meta- Colombia. *Luna Azul*, (45), 59–70. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.45.5>

Departamento Nacional de Planeación (2016). *Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado - 2016*. https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/estudio_sectorial-compilado-26-12-2017-vbibiana.pdf

Faviel, E., Infante, D. y Molina, D. (2018). Percepción y calidad de agua en comunidades rurales del área natural protegida la Encrucijada, Chiapas -México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(2), 317–324. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.05>

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Gómez, S. y Collazos, J. (2015). Consecuencias del crecimiento demográfico sobre la calidad de la vida en la ciudad de Bogotá, periodo 1985-

2015. [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1288&context=economia>

Gutiérrez, V., Nazar, D., Zapata, E., Contreras, J. y Salvatierra, B. (2013). Mujeres y organización social en la gestión del agua para consumo humano y uso doméstico en Berriozábal, Chiapas. *LiminaR* 11(2), 100–113. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S1665-80272013000200007>

Iñiguez, C. D., Bernal, T. y Moreno, J. P. (2015). Correlación entre índices urbanos: La gestión del agua de uso urbano y la marginación urbana. *Urbano*, 18(32), 50–59. <https://www.redalyc.org/pdf/198/19844017006.pdf>

Instituto de Hidrología meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2020). *Pronóstico del Tiempo, Villavicencio*. <http://www.ideam.gov.co/>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2014). *Mantenimiento y tratamiento del agua en aljibes*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_mantenimiento_y_tratamiento_del_agua_en_aljibes.pdf

López, P., y Fachelli, S. (2015). Metodología de la investigación social cuantitativa. Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Universidad Autónoma de Barcelona. <http://infohumanidades.com/sites/default/files/apuntes/114%20%20L%C3%B3pez%20Rold%C3%A1n%20%26%20Fachelli%20%20An%C3%A1lisis%20de%20tablas%20de%20contingencia.pdf>

Martín, L. y Justo, J. (2015). *Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el caribe*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37877/1/S1500220_es.pdf

Mejía, C. (2004). Desafíos para la gestión ambiental frente a la integración económica: El Salvador, Honduras y Nicaragua. http://www.oas.org/dsd/FIDA/documents/pdf/estudio_fida.pdf



Ministerio de Desarrollo Económico (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000. <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>

Resolución 2115 de 2007. (2007, 4 de julio). Ministerio de la Protección Social. Diario Oficial 46 679. https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua/Resolución_2115.pdf <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30008>

Ochoa, J. M. (2017). Uso y tenencia de la tierra... Factores históricos y planes de ordenamiento territorial- veredas Barcelona, Cocuy y Zuría - Villavicencio - Colombia. *Revista de Direito Da Cidade*, 9(4), 1652-1689. <https://doi.org/10.12957/rdc.2017.30317>

Organización Mundial de la salud (2004). *Guías para la calidad de agua potable*. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3sp.pdf

Organización Mundial de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (2005). *Objetivos de desarrollo del Milenio. Una mirada desde América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/2797-objetivos-desarrollo-milenio-mirada-america-latina-caribe>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. s.f.(2020). *Aquastat*. <http://www.fao.org/aquastat/es/>

Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-231. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Padrón, A. C. y Cantú, P. C. (2015). El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables. *Cultura Científica y Tecnológica*, 6(31). <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/341/323>

Pinilla-Rodríguez, D. E. y Torres-Sánchez, Y. A. (2019). Gasto público social, el acceso al agua potable y el

saneamiento de las poblaciones rurales en América Latina. *Revista Latinoamericana de Economía*, 50(196), 55-81. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2019.196.63499>

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2020). META, Retos y Desafíos para el Desarrollo Sostenible.

https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/library/democratic_governance/meta--retos-y-desafios-para-el-desarrollo-sostenible.html

https://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/Gobernabilidad/Publicacionesproyectos/UNDP_Co_GOB_Publicaciones_FICHA%20META%20-%20RETOS%20Y%20DESAF%3%8DOS%20PARA%20EL%20DESARROLLO.pdf

Programa de Naciones Unidas Para El Desarrollo. (2018). *ODS en Colombia: los retos para el 2030*. <https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/library/ods/ods-en-colombia--los-retos-para-2030.html>

Bosch, A. P., Navarrete, F., Vidal, J. L. M., Sánchez, L. M., Martos, F. S., Izquierdo, Á. V., y Martín, W. (1997). La contaminación en los acuíferos del Campo de Dalías y Delta del Andarax (Almería). Recursos naturales y medio ambiente en el sureste peninsular (pp. 363-381). Instituto de Estudios Almerienses. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2245534.pdf>

Quintana, R. (2014). En la gestión colectiva el agua se dona, no se vende. Caso Dosquebradas-Risaralda, Colombia. *Realis*, 4(1), 186-209. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/realis/article/viewFile/8814/8789>

Reales, R., De Castro, D. & Viana, D. (2014). Percepción del agua como Derecho Fundamental: Los efectos producidos por la prestación del servicio de agua potable en los habitantes del municipio de Santa Lucía, Atlántico. *Justicia*, 26, 69-80. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-74412014000200006&lang=es

Reynolds, K. (2002, octubre). *El tratamiento de las aguas residuales en*

Latinoamérica. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/10/Tratamiento-aguas-residuales-Latinoamerica.pdf>

Rodríguez, J. P, García-Ubaque, C. A. y García-Ubaque, J. C. (2016). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista de salud pública*, 18(5), 738-745. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-00642016000500738&script=sci_abstract&tlng=es

Trujillo-González, J. M., Tovar-Hernández, N., Delgado-García, S., Vargas-Ahumada, D. y Torres-Mora, M. A. (2015). *Cuenca alta del río Meta: Una mirada socioambiental a los ríos Guayuriba y Ocoa y al caño Quenane-Quenanito*. Universidad de los llanos. https://www.researchgate.net/profile/Juan-Trujillo-Gonzalez-2/publication/292980675_Cuenca_alta_del_rio_Meta_Una_mirada_socioambiental_a_los_rios_Guayuriba_y_Ocoa_y_al_Cano_Quenane-Quenanito/links/56b36aad08ae2c7d5caedb6a/Cuenca-alta-del-rio-Meta-Una-mirada-socioambiental-a-los-rios-Guayuriba-y-Ocoa-y-al-Cano-Quenane-Quenanito.pdf

Trujillo-González, J. M., Mahecha-Pulido, J. D., Torres-Mora, M. A., Brevik, E. C., Keesstra, S. D., & Jiménez-Ballesta, R. (2017). Impact of potentially contaminated river water on agricultural irrigated soils in an equatorial climate. *Agriculture*, 7(7), 52. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture7070052>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre*

el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. In. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del Agua*. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2021/03/375750spa.pdf>

Vélez, M. V., Ortiz, C., y Vargas, M. C. (2011). *Las Aguas Subterráneas: un enfoque práctico*. Ingeominas. <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Aguas-subterraneeas-enfoque-practico.PDF>

Venegas, C., Mercado, M. & Campos, M. C. (2014). Evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo y del agua residual en una población de Bogotá (Colombia). *Biosalud*, 13(2), 24-35. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502014000200003

Villamagua, G. C. (2017). Percepción social de los servicios ecosistémicos en la microcuenca El Padmi, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 27, 102-114. <https://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/335096>

Zurita, F., Castellanos, O., & Rodríguez, A. (2011). El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(1), 139-150. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342011000700011&script=sci_arttext

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.



VACCINES FOR GASTROINTESTINAL PARASITES, A PILLAR OF PREVENTIVE MEDICINE IN VETERINARY PRACTICE: SYSTEMATIC REVIEW

VACUNAS PARA PARÁSITOS GASTROINTESTINALES, UN PILAR DE LA MEDICINA PREVENTIVA EN LA PRÁCTICA VETERINARIA: REVISIÓN SISTEMÁTICA

Lina M. Vargas • lina.vargas@unillanos.edu.co

Veterinary and Zootechnics Program, Animal Sciences School, University of the Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia.

Laura D. Prieto • laura.prieto.prieto@unillanos.edu.co

Veterinary and Zootechnics Program, Animal Sciences School, University of the Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia.

Monica Mónica M. Baquero • mbaquero@uoguelph.ca

PhD in Immunopathology, professor Ontario Veterinary College, University of Guelph, Ontario, Canada.

Wilson Corredor • wilson.c.95@gmail.com

PhD in Biotechnology, Pontifical Javeriana University, Bogota, Colombia.

Neuza M. Alcantara-Neves • neuzalcantara@gmail.com

PhD in Cellular and Molecular Biology. Professor of Institute of Health Sciences, Federal University of Bahia, Salvador, Bahia, Brazil.

Dumar A. Jaramillo-Hernández • dumar.jaramillo@unillanos.edu.co

PhD in Immunology (Institute of Health Sciences, Federal University of Bahia, Brazil), professor Animal Sciences School, University of the Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia.

Citación: Vargas, L., Prieto, L., Baquero, M., Corredor, W., Alcantara-Neves, N., Jaramillo-Hernández, D. (2022). Vaccines for gastrointestinal parasites, a pillar of preventive medicine in veterinary practice: Systematic review. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 221 - 251. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4544>

ABSTRACT

Contextualization: The antiparasitic resistance caused by the indiscriminate use of anthelmintic drugs for the control of gastrointestinal parasites in production animals and pets, has become one of the biggest problems in animal health. For this reason, the use of vaccines could benefit animal health and welfare by controlling emerging zoonotic diseases and foodborne pathogens of animal origin, thus improving public health.

Knowledge gap: It is relevant for professionals in veterinary science to know

the clinical trials of experimental vaccines for controlling certain gastrointestinal parasites. This way, they can be at the forefront of the next available technological products and so, be able to control this menace to the animal health and public health.

Purpose: To do a systematic review of clinical trials for experimental vaccines in production animals and pets for diseases caused by gastrointestinal parasites of relevance in animal production and/or public health. Furthermore, it presents the current gastrointestinal antiparasitic vaccines

commercialized in different countries and their prophylactic efficacy.

Methodology: PRISMA protocols were followed for this systematic review. Articles were obtained from scientific databases with the following keywords: vaccines, clinical trials, commercial vaccines, parasites control, gastrointestinal nematodes, gastrointestinal cestodes, gastrointestinal protozoa, *Ascaris suum*, *Ancylostoma caninum*, *Cooperia oncophora*, *Echinococcus granulosus*, *Eimeria spp.*, *Giardia lamblia*, *Haemonchus contortus*, *Osteortagia osteortagi*, *Taenia solium* and *Teladorsagia circumcincta*. Only clinical trials of gastrointestinal antiparasitic vaccines in birds, pets, pigs and ruminants were included in this analysis, as well as commercial vaccines currently available for these same parasites.

Results and conclusions: Even though there are important clinical trial studies of vaccines in these animal species (n=101) reported between 1964 to 2020, only five parasites can be prevented/controlled with commercial vaccines used in veterinary medicine: *Haemonchus contortus* and *Echinococcus granulosus* in ruminants, *Taenia solium* in pigs, *Eimeria spp.* in birds and *Giardia lamblia* in dogs (e.g., Cysvax™, Barbervax®, Providean® Hidatil EG95, Coccivac® and GiardiaVax™). It is expected that, with the development of bioinformatics and methodologies such as reverse vaccinology, this immunoprophylactic and immunotherapeutic range will be extended as to control these parasitic agents of great importance in human and animal health.

Keywords: clinical trial; immunoprophylaxis; gastrointestinal parasites; vaccination

RESUMEN

222

Contextualización: La resistencia a los antiparasitarios provocada por el uso indiscriminado de antihelmínticos, para el control de parásitos gastrointestinales en animales de producción y mascotas, se ha convertido en uno de los mayores problemas en salud animal y pública. Por esta razón, el uso de vacunas podría beneficiar la salud y el bienestar de los animales al controlar las enfermedades zoonóticas y los patógenos de origen animal transmitidos por los alimentos.

Vacío del conocimiento: Es relevante para los profesionales en ciencias veterinarias conocer los estudios clínicos de vacunas experimentales para el control de ciertos parásitos gastrointestinales y de esta forma, estar a la vanguardia de próximos productos tecnológicos disponibles.

Propósito: Revisar sistemáticamente resultados de ensayos clínicos de vacunas experimentales en diferentes especies animales de producción y compañía, para parásitos gastrointestinales de relevancia en la producción animal y/o salud pública. Además, presentar el estado del arte de las vacunas antiparasitarias gastrointestinales comercializadas en diferentes países y su eficacia profiláctica respectiva.

Metodología: En esta revisión sistemática siguió la metodología del protocolo PRISMA. Se obtuvieron artículos de bases de datos científicas con las siguientes palabras clave: vacunas, ensayos clínicos, vacunas comerciales, control de parásitos, nematodos gastrointestinales, cestodos gastrointestinales, protozoos gastrointestinales, *Ascaris suum*, *Ancylostoma caninum*, *Cooperia oncophora*, *Echinococcus granulosus*, *Eimeria spp.*, *Giardia lamblia*, *Haemonchus contortus*, *Osteortagia osteortagi*, *Taenia solium* y *Teladorsagia circumcincta*. En este análisis solo se incluyeron ensayos clínicos de vacunas antiparasitarias gastrointestinales en aves, mascotas, cerdos y rumiantes, así como vacunas comerciales actualmente disponibles para estos mismos parásitos.

Resultados y conclusiones: Aunque existen importantes estudios de ensayos clínicos de vacunas en estas especies animales (n=101) reportados entre 1964 y 2020, solo cinco parásitos pueden prevenirse/controlarse con vacunas comerciales utilizadas en medicina veterinaria: *Haemonchus contortus* y *Echinococcus granulosus* en rumiantes, *Taenia solium* en cerdos, *Eimeria spp.* en aves y *Giardia lamblia* en perros (por ejemplo,

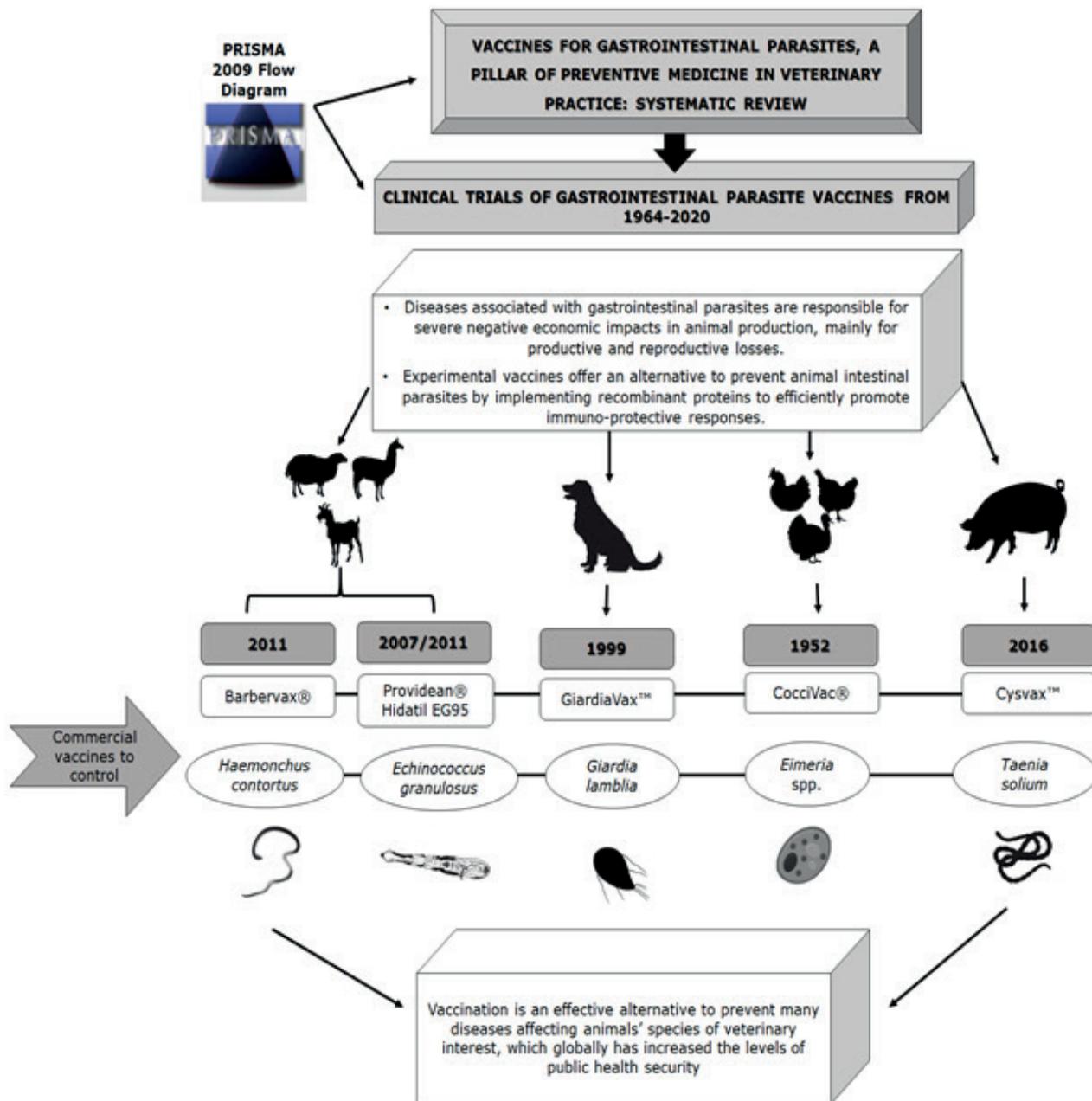


Cysvax™, Barbervax®, Providean® Hidatil EG95, CocciVac® y GiardiaVax™). Se espera que, con el desarrollo de la bioinformática y metodologías como la vacunología inversa, este abanico inmunoproláctico e inmunoterapéutico se amplíe en el control de

estos agentes parasitarios de gran importancia en la salud humana y animal.

PALABRAS CLAVES: inmunoprolaxis, vacunación, parásitos, Ensayo clínico; gastrointestinales;

GRAPHIC ABSTRACT



1. INTRODUCTION

Is urgent to develop vaccines against parasites for domestic animals because of: 1) resistance of parasites to conventional pharmacological treatments; 2) lack of effective anti-parasitic drugs and 3) the presence of chemical residues in products for human consumption (Emery et al., 1993; Woods et al., 2011).

Diseases associated with gastrointestinal parasites are responsible for severe negative economic impacts in animal production, mainly for productive and reproductive losses (Sharma et al., 2015). Parasitic infestations affect animal production in terms of health and welfare, for this reason, control measures should be implemented to reduce or mitigate this impact. The use of vaccines could benefit animal health and welfare by controlling emerging zoonotic diseases and foodborne pathogens of animal origin, thus improving public health (Corwin, 1997; Innes et al., 2011).

It is relevant for professionals in veterinary science to know the clinical trials of experimental vaccines for the control of certain gastrointestinal parasites and, in this way, to be at the forefront of the next available technological products to control this thread to the animal health and public health. On the other hand, the usual veterinary medical practice has important gaps in the commercial offer of antiparasitic vaccines for the control of gastrointestinal parasites in production animals and pets.

Experimental vaccines offer an alternative to prevent animal intestinal parasites by implementing recombinant proteins to efficiently promote immuno-protective responses. These vaccines have been classified as 1) hidden antigens (i.e., those not recognized by the host's immune system), that are generally found in the parasite's intestine and 2) natural antigens, which are expressed during the infection process and identified by the host (Jenkins, 2001; Newton et al., 2003).

This manuscript aims to review results of clinical trials for experimental vaccines

(in different production animals and pets) to prevent certain diseases caused by gastrointestinal parasites that affect animal production and/or public health. Furthermore, this research presents the state of the art of gastrointestinal antiparasitic vaccines commercialized in different countries and their prophylactic efficacy.

2. METHODOLOGY

This systematic review followed the PRISMA protocols (Moher et al., 2009). In general terms, a bibliographic search that identified possible articles for their inclusion, based on search keywords and pre-established inclusion criteria, was developed. This process is presented through the figure 1, PRISMA flow chart.

Search strategy for study identification

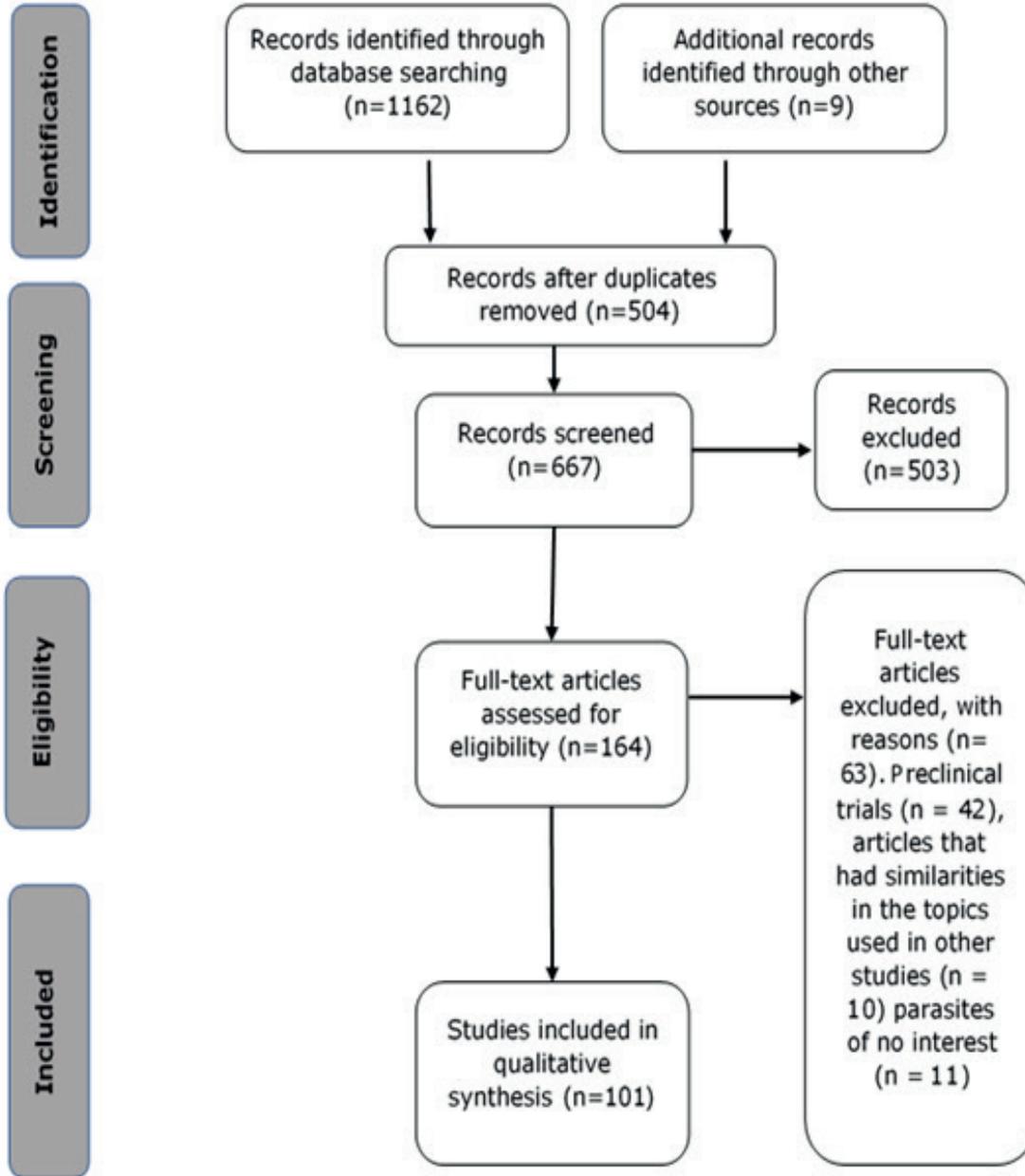
The search was based on four scientific platforms: PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>), Science Direct (<http://www.sciencedirect.com/>), Scientific Electronic Library Online (SciELO: <https://scielo.org/en>) and Scholar Google (Scholar Google: <https://scholar.google.com/>). The keywords used for identifying the potential articles were: vaccines, clinical trials, commercial vaccines, parasites control, gastrointestinal nematodes, gastrointestinal cestodes, gastrointestinal protozoa, *Ascaris suum*, *Ancylostoma caninum*, *Cooperia oncophora*, *Echinococcus granulosus*, *Eimeria spp.*, *Giardia lamblia*, *Haemonchus contortus*, *Osteortagia osteortagi*, *Taenia solium* and *Teladorsagia circumcincta*.

Eligibility criteria

We used the following inclusion criteria: 1. Only specific articles about these parasites that are harmful for production animals or pets, as well as their impact on public health: nematodes (*Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta*, *Osteortagia osteortagi*, *Cooperia oncophora*, *Ancylostoma caninum* and *Ascaris suum*); cestodes (*Taenia solium* and *Echinococcus granulosus*); protozoa (*Giardia lamblia* and *Eimeria spp.*). 2. Clinical trials of gastrointestinal antiparasitic vaccines for the mentioned parasites in birds, pets, pigs, and ruminants; 3. Commercial



PRISMA 2009 Flow Diagram



From: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(7): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097

For more information, visit www.prisma-statement.org.

Figure 1. PRISMA flow diagram.

Source: authors.

vaccines currently available for these same parasites¹.

Data screening

The authors, divided in two working groups, read the titles, and in many cases, the abstracts of the articles retrieved from the databases consulted, according to keywords, and saved those that reported experimental studies of gastrointestinal antiparasitic vaccines in selected animal species (animal species for which the respective vaccine has been developed).

After the comparison of information between the two working groups, the articles chosen were read, then were included in the timeline reports of clinical trials (temporal analysis of the trials), and the data obtained by those in terms of levels of protection, for the parasitosis studied, were analyzed. It is important to clarify that, only two protozoa (*Giardia lamblia* and *Eimeria spp.*) were included in this study, given their importance for children's health and their drastic effects on poultry production (Bartelt & Platts-Mills, 2016; Gilbert et al., 2020). On the other hand, technical-commercial information is linked and extracted from the web pages of the pharmaceutical companies that produce the commercial antiparasitic vaccines discussed in this systematic review.

The other gastrointestinal parasites are mostly cestodes and nematodes. The last ones are the most studied because efficient mechanisms of prophylactic to control them, supported by vaccines, have been researched (Stutzer et al., 2018; Anvari et al., 2020; Britton et al., 2020; Ehsan et al., 2020; Sander et al., 2020). Regarding this, even though *Toxocara spp.* is a nematode with important effects on world public health in developed and developing countries, there are no clinical trials of vaccines for its control in canines (Jaramillo-Hernández et al., 2020).

3. RESULTS AND DISCUSSION

According to the search parameters initially proposed, a total of 1162 articles were found in the databases used in this study. Of those, 504 were repeated and were immediately separated. Subsequently, the remaining 667 scientific studies were reviewed to establish compliance with the inclusion and exclusion criteria pre-established. Only 164 articles, presumably, fulfilled some of the requirements.

After analyzing the results, it was established that 63 of these articles were studies about preclinical vaccine trials (e.g., using animal models of parasitic disease) or were studies in other parasites different from the interest of this study. So, in the end, a total of 101 articles about clinical phases of vaccine experimentation in poultry, pigs, ruminants, and pets (canines and felines) were included within the temporal analysis of experimentation and their antiparasitic protection. The period of the results reported is 1964 to 2020 (Figure 1).

The authors have presented these results by animal species or group of animal species (e.g., large and small ruminants), given the species-specific implications of the gastrointestinal parasites treated in this study. The results are organized under the subtitle "Advances in the development of vaccines for the control of gastrointestinal parasites in (...)". Likewise, the figure 2 shows a time series of crucial experimental clinical studies that have determined the advances in prophylaxis and immunotherapy for the gastrointestinal parasite control in veterinary medicine. In the same way, under the subtitle "Gastrointestinal deworming vaccines currently commercialized in veterinary medicine", the existing commercial vaccines for the control of these gastrointestinal parasites were presented.

¹ All works which had not the data mentioned in the inclusion criteria were excluded (e.g., preclinical trials preclinical of vaccine candidates for these same parasites and others).

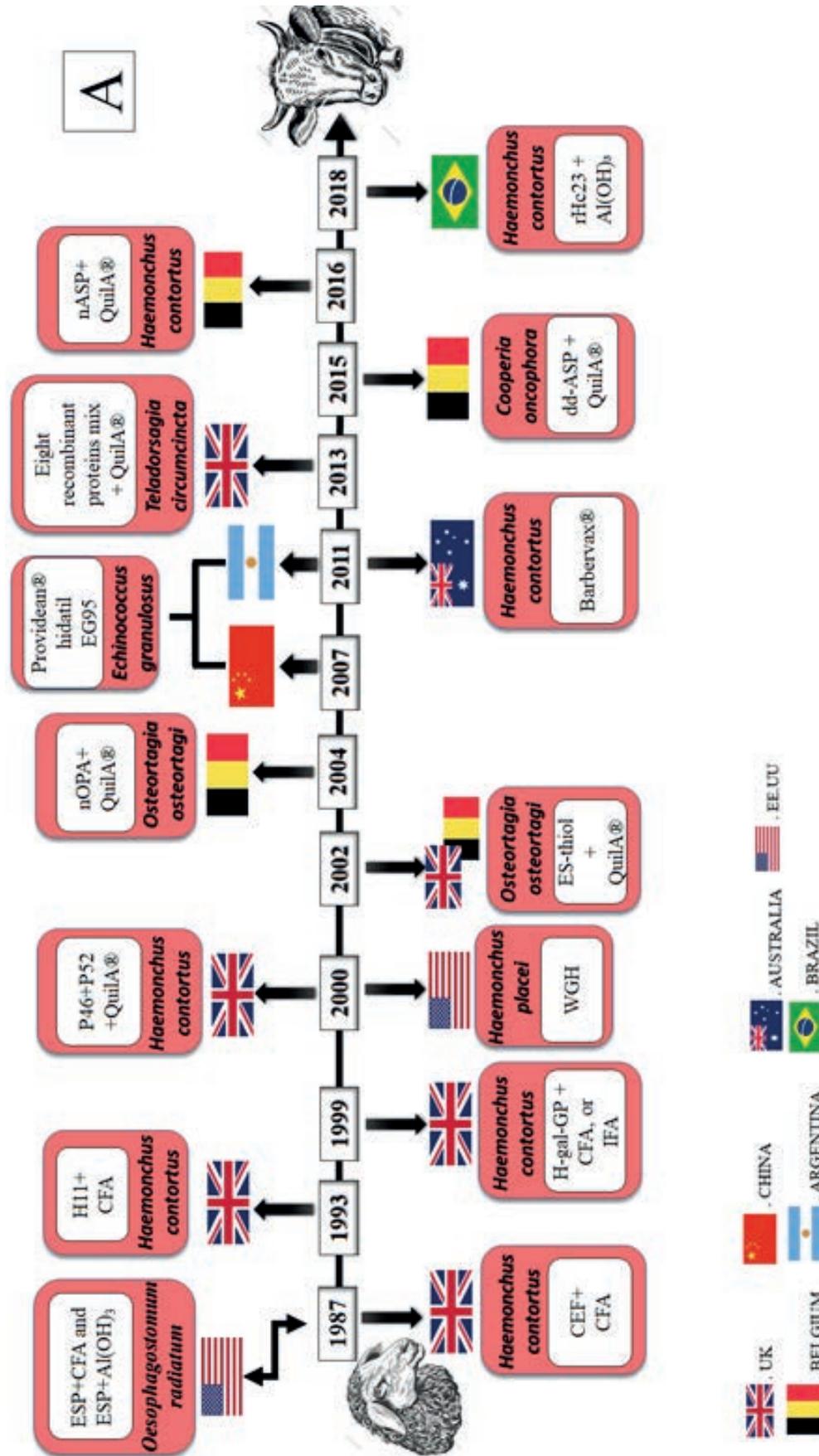


Figure 2. Timelines of clinical studies for the control of gastrointestinal parasites with their respective vaccines. This figure shows the animal species of interest; the year in which the study was executed; type of vaccine (antigen plus adjuvant) used; and the parasite to be controlled or eradicated and the country

Figure 2A: Timeline of the main clinical studies in large and small ruminant's main timeline.

Source: Authors

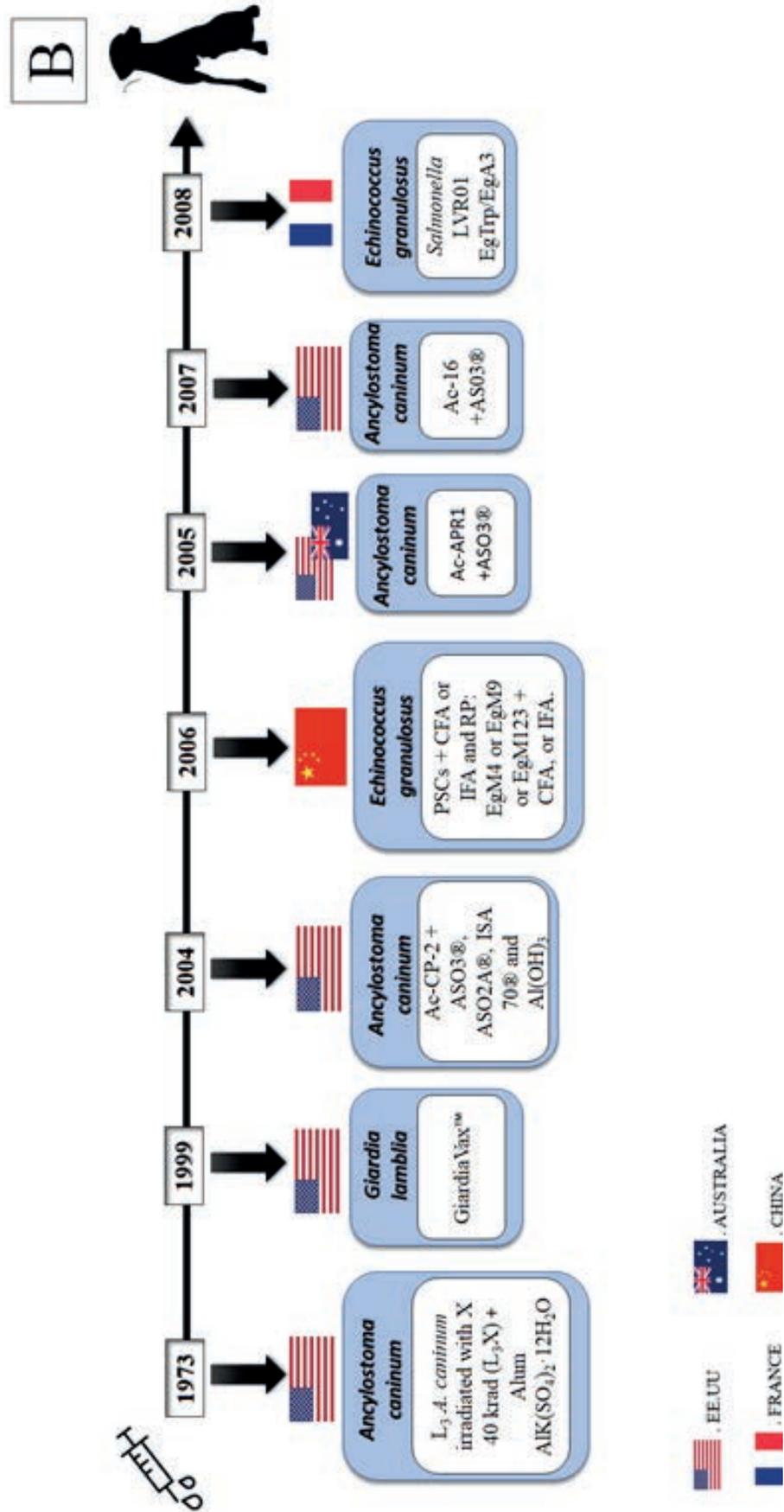


Figure 2. Timelines of clinical studies for the control of gastrointestinal parasites with their respective vaccines. This figure shows the animal species of interest; the year in which the study was executed; type of vaccine (antigen plus adjuvant) used; and the parasite to be controlled or eradicated and the country

Figure 2B: Timeline of the main clinical studies in dogs.

Source: Authors

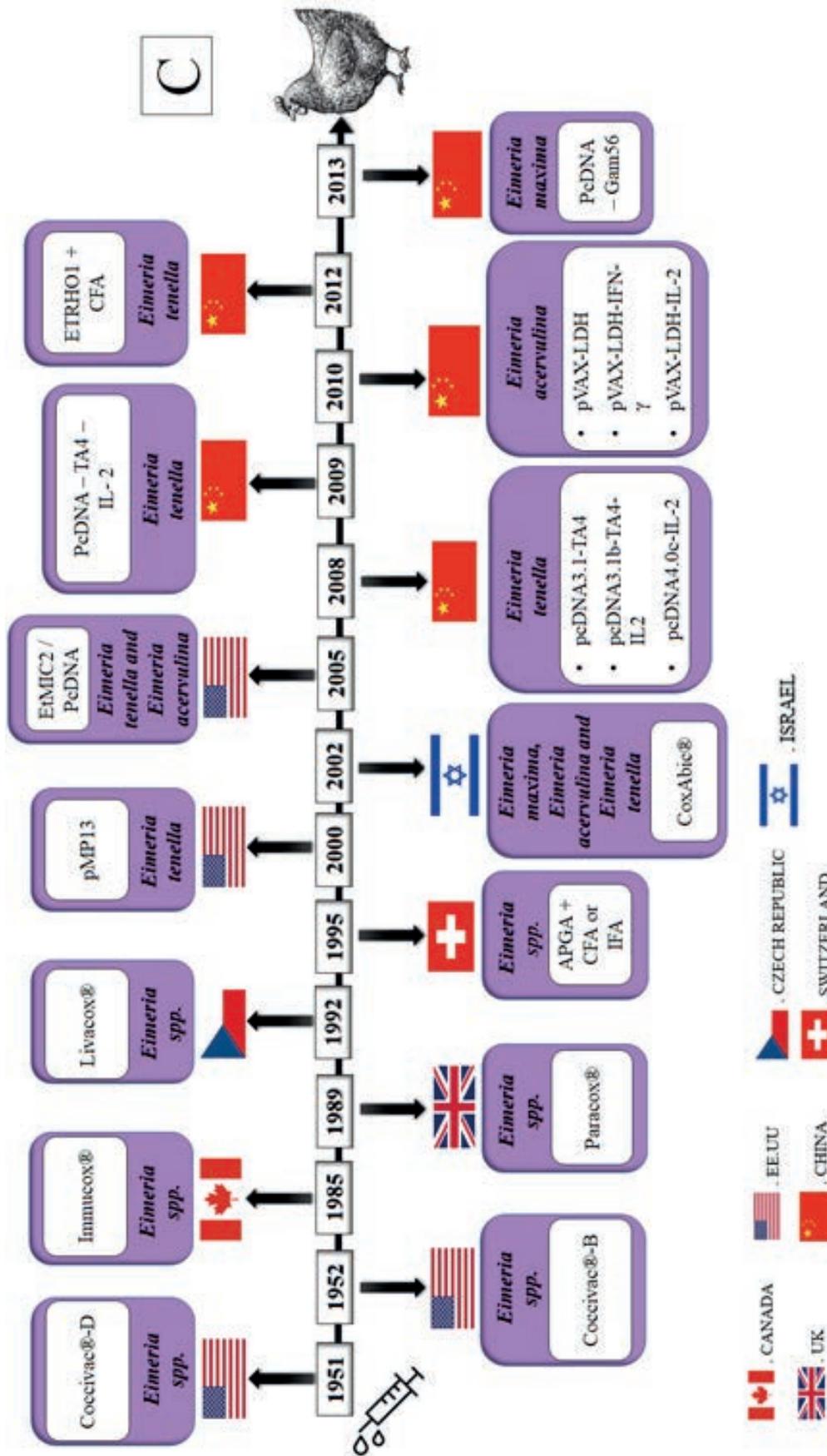


Figure 2. Timelines of clinical studies for the control of gastrointestinal parasites with their respective vaccines. This figure shows the animal species of interest; the year in which the study was executed; type of vaccine (antigen plus adjuvant) used; and the parasite to be controlled or eradicated and the country.

Source: Authors

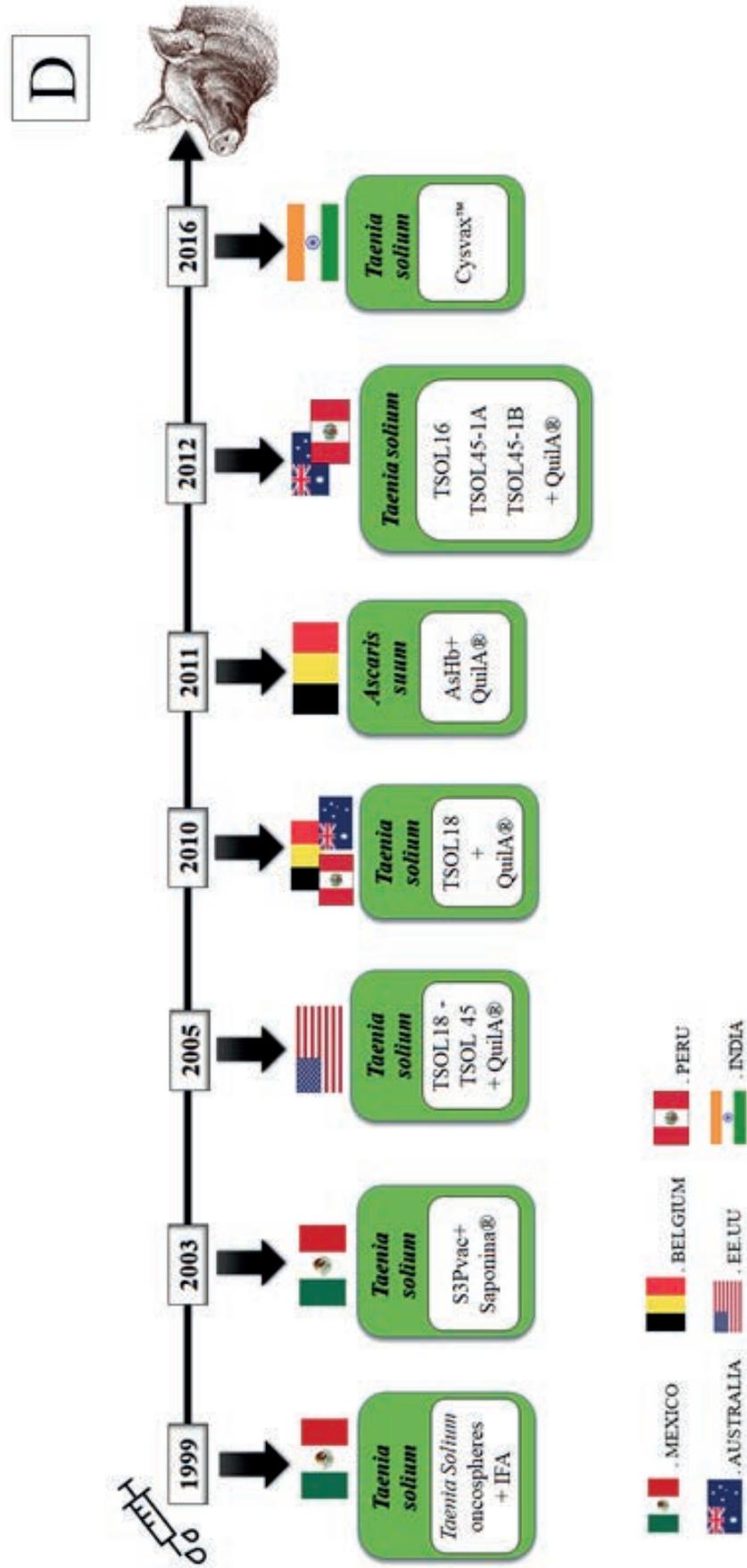


Figure 2. Timelines of clinical studies for the control of gastrointestinal parasites with their respective vaccines. This figure shows the animal species of interest; the year in which the study was executed; type of vaccine (antigen plus adjuvant) used; and the parasite to be controlled or eradicated and the country.

Source: Authors



Advances in the development of vaccines for the control of gastrointestinal parasites in domestic ruminants

Large and small grazing ruminants are continuously exposed to nematode infections. On the other hand, nematodes develop resistance to medicines, due to continuous anthelmintic treatments; this limits livestock production and represents a constant threat to animal welfare (Knox, 2000; Knox et al., 2003). The most important gastrointestinal parasites in ruminants are

Haemonchus contortus (*H. contortus*) and *Teladorsagia circumcincta* (*T. circumcincta*) in sheep; *Osteortagia osteortagi* (*O. ostertagi*) and *Cooperia oncophora* (*C. oncophora*) in cattle. Due to the high cost of treatments and the potential anthelmintic resistance, a significant effort has been carried out in the discovery of vaccine candidates for parasite control (Dalton et al., 2001; Matthews et al., 2016). Table 1 summarizes a series of clinical trials in different experimental or production stages for gastrointestinal parasite control in ruminants.

Table 1. Clinical trials of experimental vaccines for the gastrointestinal parasites control in large and small ruminants.

Parasite	Vaccine	Protection %		Vaccination schedule	Ref.
		Worm	Eggs (EPG)		
<i>Osteortagia osteortagi</i>	nASP + Quil-A®	-	59	Cattle 6-8 months old were immunized three times with 30 µg of nASP + 750 µg QuilA®, (IM at 3 weeks intervals). The control group received 750 µg of Quil-A®.	(Vlaminck et al., 2015)
<i>Haemonchus contortus</i>	rHc23 + Al(OH) ₃	70	80	6-month-old lambs divided into: group 1 and 2 received 50 µg and 200 µg of rHc23, respectively; + 1 mL Al(OH) ₃ (IM, on days 42, 28 and 14 before the challenge). Group 3 received 1 mL of Al(OH) ₃ . Group 4 received QuilA® + rHc23 200 µg (IM on days 49, 28 and 7 prior to the challenge). Group 5 received QuilA® on the same days.	(González-Sánchez et al., 2018)
<i>Haemonchus contortus</i>	Contortin + CFA	78	-	Lambs between 60-150 days of age were distributed in different subgroups and treated with 20 mg of CEF + CFA (IM). Immunized at different time intervals. Control group received PBS + CFA.	(Munn et al., 1987)
<i>Haemonchus contortus</i>	H11 + CFA	74.2	>90	44-day-old lambs were divided in two groups. Group 1: received 3 doses of 70 µg of H11 + 2 mL of PBS emulsified with 2 mL of CFA (at intervals of 3 to 4 weeks).	(Smith & Smith 1993)
<i>Haemonchus contortus</i>	P46+P52 + QuilA®	33	78	5-month-old sheep received 3 doses of 1 mL of 100 mg P46 + P52 + 5 mg of QuilA® (IM at 3-week intervals). The control group received PBS + QuilA®.	(Smith et al., 2000)
<i>Haemonchus contortus</i>	H-gal-GP + CFA, or IFA	40	69.7	5 - 6-month-old lambs applied 3 immunizations with H-gal-GP as follows. 1st: 4 doses of 0.5 mL of 100 µg of H-gal-GP + CFA (SC). 2nd and 3rd: 1 mL of 100 µg of H-gal-GP + IFA (IM at 3- and 6-weeks interval).	(Smith et al., 1999)

<i>Osteortagia osteortagi</i>	nOPA + QuilA®	-	60	8-month-old calves. They received three immunizations with 100 µg of nOPA + 750 µg of QuilA®. (IM at 3-week intervals). The control group received 750 µg of QuilA®.	(Vercauteren et al., 2004)
<i>Osteortagia osteortagi</i>	ES-thiol / QuilA®	18	60	7-month-old calves immunized three times with 100 µg ES-thiol + 700 µg QuilA® (IM, at 3-week intervals). Control group: Tris buffer + QuilA® (IM).	(Geldhof et al., 2002)
<i>H. placei</i>	WGH	53-72	>90	12-week-old calves were immunized with two doses of 100 µg WGH + 4 mL DS 5% in PBS (SC at 27-day interval). The control group received 4 mL of PBS.	(Siefker & Rickard, 2000)
<i>Teladorsagia circumcita</i>	8 recombinant protein + QuilA®	75	92	Lambs of 204-206 days of age got divided in 2 groups. Group 1: 3 doses of 400 µg Tci-ASP-1 + Tci-MIF-1 + Tci-TGH-2 + Tci-APY-1 + Tci-SAA-1 + Tci-CF1 + Tci-ES20 + Tci-MEP-1; + 10 mg of QuilA® (SC at 3 weeks intervals). Group 2: 3 doses of Urea + PBS + 10 mg of QuilA® (at the same interval as above).	(Nisbet et al., 2013)
<i>Coopearia oncophora</i>	dd-ASP + QuilA®	-	91	7-month-old cattle were divided into 2 groups. Group 1: 3 doses of 30 µg dd-ASP + 750 µg QuilA® (IM at 3 weeks interval). Group 2: 3 doses of 750 µg QuilA®.	(Vlaminck et al., 2015)
<i>Oesophagostomum radiatum</i>	ESP + CFA and ESP + Al(OH)3	23	-	Calves from 8-18 weeks of age were splitted in 2 groups. Group 1: 2 mg ESP + FCA (IM). 2 weeks later they received 2 mg ESP + Al(OH)3 (PI). Group 2: NaCl + CFA.	(Gasbarre & Douvres 1987)
<i>Oesophagostomum radiatum</i>	Soluble extract L4 + CFA	↓81 ↑99	↓75 ↑100	Calves immunized 2 times with soluble extract of L4 at low dose (↓) 520 µg or high dose (↑) 2600µg always + PBS/CFA (SC at 4 weeks interval). Additionally, they received a new low dose (↓) 130 µg or high dose (↑) 650 µg + PBS, on day 56. The control group received PBS/CFA.	(East et al., 1988).

nASP: Native secreted protein associated with ASP1 activation, **QuilA®**: Adjuvant saponin, **Al(OH)3**: Aluminum hydroxide, **DS**: Dextran sulfate, **H-gal-GP**: Digestive protease glycoprotein complex, **H11**: Hc isolated integral intestinal membrane protein, **CEF**: Contortin-enriched fraction, **rHc23**: Recombinant somatic Hc protein, **P46+P52**: Hc apical intestinal surface protein, **nOPA**: Native purified antigen of *Osteortagia osteortagi* polyprotein, **ES-thiol**: Cysteine proteinase enriched fraction, **EPG**: Eggs for gram feces; **IM**: Intramuscular, **SC**: Subcutaneous, **PBS**: phosphate buffered saline, **dd-ASP**: double domain ASP protein, **ESP**: larval excretory-secretory products of *Oesophagostomum radiatum*, **IP**: Intraperitoneal, **L4**: Larval stage 4 of *Oesophagostomum radiatum*, **WHG**: *H. placei* whole gut homogenate, **EPG**: eggs per gram of feces, **CFA**: Complete Freund's adjuvant, **IFA**: Incomplete Freund's Adjuvant. (↓): low dose, (↑): high dose, (-): not data available. **Source**: Authors



Several hidden intestinal antigens have been found in animals to confer protection against *H. contortus*. The hidden intestinal antigen digestive protease glycoprotein complex (H-gal-GP) was effective in protecting sheep against *H. contortus*, by decreasing parasitic loads in 70 %, with a decrease in fecal egg count (FEC) of 90 %, in several clinical trials (Smith et al., 1994; Smith & Smith, 1996; Knox & Smith, 2001). Another *H. contortus* antigen, that has played an important role in clinical studies, is in the hidden integral intestinal membrane. This protein was isolated from *H. contortus* (H11 antigen). This antigen has proved to bind specific antibodies that disable the enzymatic activity of the antigen, showing a 90 % reduction in FEC and a 75 % drop in the presence of adult *H. contortus* in the abomasum of immunized sheep (Newton & Munn, 1999).

Based on these results and with new technologies available to obtain antigens, (Vercruysse et al., 2018), it seems that vaccines composed by several antigens of the same nematode species promote a more intense and long-lasting protection against the specific parasite, avoiding a potential adaptation of these parasites to the administered vaccine (Claerebout & Geldhof, 2020).

In the last decade, efforts have been made to develop vaccines for *T. circumcincta*, an important parasite that affects small ruminants, causing gastroenteritis, and a reduction in weight gain (Nisbet et al., 2013; Matthewsetal., 2016). An immunoprophylactic study against this nematode was performed in sheep in the last third of gestation and in grazing lambs (*in-situ*), where they were inoculated with a combination of recombinant proteins (Tci-ASP-1; Tci-MIF-1; Tci-TGH-2; Tci-APY-1; Tci-SAA-1; Tci-CF1; Tci-ES20; Tci-MEP-1), resulting in a 45 % decrease in the FEC (Nisbet et al., 2016).

The parasite of abomasum, *O. ostertagi*, and the small intestinal parasite, *C. oncophora*, are the nematodes that affect prevalently grazing cattle in the tropics. The vaccines studied against these parasites showed the following results: Calves that were vaccinated with an *O. ostertagi* excretory-

secretory antigen fraction, enriched with cysteine proteinase (ES-thiol) activity, and the adjuvant Quil-A®, indicated that a protective immune response against *O. ostertagi* was induced, which was reflected by a reduction in FEC from 56 to 60 % (Geldhof et al., 2004; Meyvis et al., 2007). The administration of an ASP-based vaccine against *O. ostertagi* (a double-domain ASP protein-dd-ASP, purified from excretory/secretory material of *C. oncophora* larvae) showed successful results and has been considered a vaccine candidate (Borloo et al., 2013).

Echinococcus granulosus (*E. granulosus*), a canine intestinal cestode, is the causative agent of human hydatidosis, which also affects several intermediate hosts (such as sheep, cattle, camelids, and horses). This zoonotic disease causes significant economic losses and public health concerns in many countries (Lightowlers et al., 1999; Dalimi et al., 2002). To advance in the control of this parasitic agent, a vaccine that contains a recombinant antigen belonging to the oncosphere of the *E. granulosus*, called EG95, has been developed (Larrieu et al., 2015; Larrieu et al., 2019). With this antigen, a protection of 96-98 % with respect to the parasitic load was obtained (Lightowlers et al., 1996).

A study was executed in which cattle were immunized with EG95, and with Quil-A® as adjuvant, finding a protection of 90 % of the immunized animals for 12 months (Heath et al., 2012). These results suggest that the vaccine from the EG95 antigen could have a wide applicability as a tool to control hydatidosis (Lightowlers et al., 1999). However, it cannot be overlooked that the vaccine should be used in combination with other control measures, such as health education, control of slaughter, and canine deworming; for more favorable results (Anvari et al., 2020).

Advances in the development of vaccines for the control of gastrointestinal parasites in pets (dogs and cats)

Some of the parasitic diseases of pets (dogs and cats) are highly zoonotic. For this reason, a significant effort for developing clinical trials, to find a solution that prevents high rates of animal-human contagion has

been done (Hotez et al., 1996). Table 2 presents several clinical immunoassays for the control of gastrointestinal parasites in pets, especially against the hookworm *Ancylostoma caninum* (*A. caninum*), one of the main causative agents of anemia and malnutrition in dogs and in humans in the less developed countries of the tropics (Ghosh et al., 1996).

In 1973, a vaccine prepared from larvae (L3) of *A. caninum*, irradiated with Roentgen rays, was commercialized, resulting in 90 %

of protection (associated to the reduction of the parasitic load). The distribution of this vaccine was interrupted two years later, due to limitations that included price, supply, and stability of protection (Miller, 1964; Boag et al., 2003). After that, a clinical trial with dogs immunized with Ac-ASP-2 (catalytically active cysteine protease [Ac] and proteins secreted from *Ancylostoma* larvae [ASP]) showed a significant reduction in the FEC and in the load of adult hookworm parasites in the intestine (Fujiwara et al., 2006).

Table 2. Clinical trials of experimental vaccines for the control of gastrointestinal parasites in companion animals

Parasite	Vaccine	Protection %		Vaccination schedule	Ref.
		Worm	Eggs (EPG)		
<i>Ancylostoma caninum</i>	Ac-16 + AS03®	25.3	63.4	Canines of 4 to 62 days old received 3 immunizations, in days 21 and 42, with 0.5 mL of 100 µg Ac-16 + AS03® (IM). The control group received AS03® in PBS.	(Fujiwara et al., 2007)
<i>Echinococcus granulosus</i>	Salmonella LVR01 EgTrp/ EgA3	79	-	Canines were divided in 3 groups. Group 1: 2 doses of 5 × 10 ¹⁰ Salmonella LVR01, expressing EgTrp/ EgA3 + PBS (PO at 21 days interval). Group 2: 2 doses of Salmonella without E. granulosus genes + PBS (PO at 21 days interval). Group 3: (control) PBS 0.1 mM.	(Petavy et al., 2008)
<i>Ancylostoma caninum</i>	Ac-CP-2 + AS03®, AS02A®, ISA 70® and Al(OH) ₃	-	62-75	Canines of 8 weeks old received three immunizations with 0.5 mL doses of 100 mg µg of one vaccine: Ac-CP-2 + AS03®, AS02A®, ISA 70®, Al(OH) ₃ (IM at 21day intervals). The control group received Al(OH) ₃ in PBS.	(Loukas et al., 2004)
<i>Ancylostoma caninum</i>	L3 <i>A. caninum</i> irradiated with X 40 krad (L3X) + Alum AlK(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	53	87	Canines received 3 doses of 1000 L3X (SC at 21-day intervals). The control group was treated with Alum-AlK(SO ₄) ₂ -12H ₂ O.	(Fujiwara et al., 2006)



<i>Ancylostoma caninum</i>	Ac-APR1 + ASO3®	33	70	Canines of 62 days old were immunized 3 times with 0.5 mL of 100 µg Ac-APR-1 + ASO3® (IM at 21 days intervals). The control group received ASO3® with PBS.	(Loukas et al., 2005)
<i>Echinococcus granulosus</i>	PSCs + CFA or IFA and RP: EgM4 or EgM9 or EgM123 + CFA, or IFA.	PSCs, 55 and RP, 99		Canines from 1-3 years old were distributed in 5 groups. Group 1: 3 doses of 0.25, 0.125 and 0.125 mg PSCs + FCA or + IFA (SC at 3-week intervals). Group 2: 3 doses of 0.5, 0.25, and 0.25 mg PSCs + CFA or IFA (SC at 3 weeks intervals). Group 3: (control) CFA or IFA in PBS. Group 4: (received one of the following) 80 mg EgM4, EgM9, EgM123 + CFA or + IFA (SC at 3-week intervals). Group 5: (control) PBS + GST.	(Zhang et al., 2006)

Ac-16: Immunodominant antigen of *A. caninum*, **ASO3®:** Oil in water emulsion, **EgTrp+EgA3:** Recombinant adult *A. caninum* worm proteins, **Ac-cp-2:** Catalytically active cysteine protease, **ASO2A®:** Oleaceous emulsion of L3 irradiated with X (irradiated larvae of *A. caninum*), **Ac-APR1:** Aspartate protease of *A. caninum*, **EPG:** Eggs for gram feces; **IM:** Intramuscular, **SC:** Subcutaneous, EgM4, EgM9 and **EgM123:** Recombinant purified soluble fusion proteins of *E. granulosus*. **CFA:** Complete Freund's adjuvant; **IFA:** Incomplete Freund's Adjuvant, **GST:** Glutathione S-transferase, PO: Per os, PSCs: Soluble proteins from *E. granulosus* protoscolis, **RP:** Recombinant protein, **(-):** not data available.

Source: Authors

Cystic echinococcosis caused by the cestode *E. granulosus*, also called hydatidosis, represents a concerning problem in public health and livestock, mainly in developing countries (Budke et al., 2006; Petavy et al., 2008). During its adult stage, this parasite locates in the small intestine of dogs, where it grows and can migrate to other organs such as liver and lungs (Grosso et al., 2012). In a classical vaccination study, a new approach for the immunization of dogs against *E. granulosus* was performed using secretory antigens derived from adult tapeworms grown in-vitro, which induced a significant decrease in the FEC of *E. granulosus* in immunized canines (Herd et al., 1975).

Advances in the development of vaccines for the control of gastrointestinal parasites in birds

The poultry industry has evolved

significantly around the world, and the first-generation of experimental vaccines have been developed against diseases caused by protozoa, such as *Eimeria spp.* coccidiosis diseases (Veracruz et al., 2004). These diseases affect intestinal epithelial cells, causing considerable weight reductions due to reduced food consumption and malabsorption. In addition, the continuous administration of coccidiostats generates adaptation of the parasites, making it a constant problem in the poultry industry (Jenkins, 2001; McDonald & Shirley, 2009). In Table 3, a series of clinical immunoassays for the control of gastrointestinal parasites (specifically for *Eimeria spp.*) in birds are summarized.

Table 3. Clinical trials of experimental vaccines for gastrointestinal parasites control in birds

Parasite	Vaccine	Protection %	Vaccination schedule	Ref.
		Oocyst decrease		
<i>Eimeria máxima</i>	PcDNA-Gam56	53.7	1-week old broilers divided into 6 groups. Group 1: not immunized or challenged. Group 2: not immunized. Group 3: pcDNA3. Group 4, 5 and 6: doses of 25, 50 and 100 µg pcDNA-Gam56, respectively, with reinforcements at 14 and 21 days of age.	(Xu et al., 2013)
<i>Eimeria tenella</i>	pcDNA-TA4-IL-2	72.67	14-day-old chickens divided into 7 groups. Group 1 and 2: controls, they are given sterile (TE). Group 3, 4, 5 and 6: 2 doses of 25, 50, 100 and 200 µg of DNA pcDNA3.1b-TA4 - IL-2, respectively (IM at 7-day intervals). Group 7: (control) 100 µg pcDNA3.1b.	(Song et al., 2009)
<i>Eimeria tenella</i>	pcDNA3.1-TA4 pcDNA3.1b-TA4-IL2 pcDNA4.0c-IL-2	68.2 75.1 66	14-day old chickens distributed in 5 groups. Group 1, 2 and 3: 2 doses of 100 µg of pcDNA3.-1b-TA4-IL2, pcDNA4.0c-IL-2, and pcDNA3.1-TA4, respectively (IM at 7-day intervals). Group 4 and 5: (controls) sterile TE.	(Xu et al., 2008)
<i>Eimeria tenella</i> <i>Eimeria acervulina</i>	EtMIC2 / pcDNA	45-70	Immunization in ovo. They were immunized with 25 or 50 µg EtMIC2 / pcDNA / egg, with a booster at 7 days after hatching of 100 µg EtMIC2 / chicken. The control group received PBS or pcDNA.	(Ding et al., 2005)
<i>Eimeria Tenella</i>	pMP13	50-60	Day-old chickens were immunized twice with 5, 10, 50 or 100 µg doses of pMP13 DNA (IM or SC at 2-week intervals). The control group received only the plasmid pBK-CMV.	(Song et al., 2000)



<i>Eimeria acervulina</i>	pVAX-LDH pVAX-LDH-IFN- γ pVAX-LDH-IL-2	53.29 56.82 57.59	2-week-old chickens divided into 8 groups. Group 1, 2, 3, 4 and 5: 2 doses of 100 μ g pVAX-LDH, pVAX-LDH-IFN-c, pVAX-LDH-IL-2, LDH and inclusion bodies (IM at 1-week intervals). Group 6: control) plasmid pVAX1. Group 7 and 8: sterile TE buffer.	(Song et al., 2010)
<i>E. tenella</i> <i>E. máxima</i> <i>E. acervulina</i>	APGA + CFA or IFA	45-63	Chickens were divided into 8 groups. Group 1 and 2: 2 APGA doses, 1st 100000 or 400 000 gametocytes + CFA and 2nd 100000 or 400000 gametocytes + IFA. Group 3: 1 mg Gex. Group 4: 40 μ g Mex. Group 5: 150 μ g OoNex. Group 6: 150 μ g OoSex + FCA. Group 7: (control) PBS + FCA. Group 8: no immunization.	(Wallach et al., 1995)
<i>Eimeria tenella</i>	ETRHO1 + CFA	77.3	Day-old chickens divided into 3 groups. Group 1: (3 doses) 1st, and 2nd: 100 μ g of WHT1 + CFA (IM). 3rd: 100 μ g of WASTE1 + CFA (IM days 7 and 21). Group 2: (control) PBS. Group 3: (control) no immunization.	(Li et al., 2012)

PcDNA-TA4-IL-2: DNA fusion vaccine co-expressed in *E. tenella*, **PcDNA:** DNA fusion vaccine, **Gam56:** Recombinant plasmid from *E. maxima*, **EtMIC2:** Recombinant microneme gene from *E. tenella*, **pMP13:** Preserved antigen of *E. tenella*, **pVAX-LDH-IFN- γ :** Recombinant antigen plasmid of *E. acervulina*, Raw gametocyte extract, IM: Intramuscular, **SC:** Subcutaneous, **APGA:** gametocyte antigens purified by affinity, **RHMR1:** rhomboid-like gene, **CFA:** Complete Freund's adjuvant, **IFA:** Complete Freund's adjuvant, **PBS:** phosphate-buffered saline, **TE:** buffer solution commonly used in molecular biology, **Mex:** raw extract of merozoite, **OoNex:** raw extract of non-sporulated oocysts, **OoSex:** crude extract of sporulated oocysts.

Source: Authors

During the 1950s, the first vaccines against *E. tenella* were marketed using live sporulated oocysts (Soutter et al., 2020). Due to the economic relevance of avian coccidiosis, a series of commercial vaccines from different companies have been commercialized (Williams, 2002). In the last decades, a special focus has been made to manipulate recombinant DNA antigens from different stages of growth of the *Eimeria spp.*, based on the fact that metabolic and reproductive processes are essential for its permanence in their hosts change during the life cycle of the parasite (Jenkins, 1998; Vermeulen, 1998). Likewise, the identification

of different antigens with a high potential for its use in these vaccines is increasingly important for the target market (Blake et al., 2017; Soutter et al., 2020).

Advances in the development of vaccines for the control of gastrointestinal parasites in pigs

A major advance has been made by the pig industry over the past five decades, supported by genetic improvement. The continuous treatments for the control of gastrointestinal parasites remains conventional, and thus developing anti-parasite resistance and worsening public health problems. Therefore,

several research groups have made important efforts to develop vaccines for the control of the main parasites of pigs with public health implications (Table 4).

An example of these advances is the control of *Taenia solium* (*T. solium*), which is a common cestode in pig breeding areas and is the main cause of human cysticercosis, an important neurological disease of global public health, with the pig as the intermediate host. This zoonotic pathology is associated

with human population areas of scarce economic resources where pigs roam freely, consolidating the transmission of the parasite from pigs to humans. Most attempts to control the parasite transmission have been ineffective and unsustainable (Verastegui et al., 2002; Gauci et al., 2012) with some exceptions of success in specific geographic areas, which have linked comprehensive community actions based on vaccination schemes and conventional antiparasitic management (Garcia et al., 2016).

Table 4. Clinical trials of experimental vaccines for the gastrointestinal parasites control in pigs.

Parasite	Vaccine	Protection %	Vaccination schedule	Ref.
<i>Taenia solium</i>	TSOL18 + QuilA®	99.3 - 100	Piglets 2 to 3 months old received 3 doses 1 mL of 200 µg TSOL18 + 5 mg QuilA® (IM at 4 weeks interval), second dose: + 30 mg/kg Oxfendazole (PO), and 3 months for the third dose. Control group received 30 mg/kg Oxfendazole (PO).	(Assana et al., 2010)
<i>Taenia solium</i>	TSOL18 TSOL 45	99.98 98.6	Three-month-old pigs distributed in 4 groups. Group 1: 2 doses of 200 µg TSOL18 + GST, at 4-week intervals. Group 2: 3 doses. 1st and 2nd: 200 µg TSOL45 + GST, at 4 weeks intervals; 3rd: 200 µg TSOL45 + MBP, 2 weeks later. Group 3: (control) 2 doses of 200 µg GST, at 4 weeks intervals. Group 4: (control) 3 doses. 1st and 2nd: 200 µg GST, at 4 weeks intervals; 3rd: 200 µg MBP.	(González et al., 2005)
<i>Taenia solium</i>	<i>T. solium</i> oncospheres + IFA	89	2-month-old pigs distributed in 4 groups, all received two doses at 20-day interval of: Group 1: 200 µg 45WB/X-GST + 16K-GST + 18K-GST of <i>T. ovis</i> + 1 mg QuilA® (IM.) Group 2: 200 µg GST + 1 mg QuilA® (IM). Group 3: 0.1 ml antigen (equivalent to 60 000 <i>T. solium</i> oncospheres) + IFA. Group 4: (control) 200 µL PBS/IFA (IM).	(Plancarte et al., 1999)



<i>Taenia solium</i>	TSOL16 TSOL45-1A TSOL45-1B + QuilA®	99.18 97.9 18.8	8-week piglets distributed in 4 groups. Group 1, 2 and 3: (3 doses) 1st and 2nd: 1 ml of 200 µg TSOL16, TSOL45-1A or TSOL45-1B, respectively, + 1 mg QuilA® + GST, at 4 weeks intervals; 3rd dose: TSOL16, TSOL45-1A or TSOL45-1B + MBP, two weeks later. Group 4: (control) 3 doses. 1st and 2nd: GST + 1 mg QuilA®; 3rd: MBP + 1mg QuilA®.	(Gauci et al., 2012)
<i>Taenia solium</i>	S3Pvac+ Saponina®	50	2-month-old piglets received 2 immunizations at 60 and 90 days of age: 250 µg S3Pvac + 100 µg Saponina® (SC). The control group received 100 µg Saponina® (SC).	(Díaz et al., 2003)
<i>Ascaris suum</i>	AsHb+ QuilA®	66.2	Pigs distributed in 6 groups. Group 1, 2 and 3: (controls) QuilA® + PBS. Group 4, 5 and 6: 3 doses of 100 µg AsHb + 500 µg of QuilA® + PBS, (IM at 2-week intervals).	(Vlaminck et al., 2011)

TSOL18. TSOL45. TSOL16: Antigens from *Taenia solium* oncosphere, **45WB/X-GST. 16K-GST. 18K-GST:** Recombinant proteins from *T. ovis*, **S3Pvac:** Anti-cysticercus triple-peptide synthetic vaccine, **GST:** Glutathione S-transferase, **IM:** Intramuscular, **SC:** Subcutaneous, **AsHb:** *Ascaris suum* purified hemoglobin, **Quil-A®:** Adjuvant saponin, **PBS:** phosphate-buffered saline, **MPB:** maltose-binding protein, **CFA:** Complete Freund's adjuvant, **IFA:** Incomplete Freund's adjuvant.

Source: Authors

Researches to development effective vaccines against this disease have been taking place. Thus, several works were generated about the promising vaccine candidate: TSOL18 antigen. A research, using this recombinant antigen, detected high levels of antibodies in immunized pigs, possibly associated to the protection against *T. solium*, which evidenced a 94 % - 100 % reduction in the loads of meta-cestoids (Cai et al., 2007). Furthermore, an investigation found that the recombinant proteins TSOL18 and TSOL45-1A induced more than 97 % of protection (in independent vaccine trials) against an experimental infection with *T. solium* eggs in pigs (Kyngdon et al., 2006). In summary, these three antigens (TSOL16, TSOL18 and TSOL45) induce high levels of protection into the immunized pigs; however, it has been demonstrated that TSOL18

antigen has been the most effective in field conditions (*in-situ*) to stop the parasitic agent transmission (Garcia et al., 2016).

A synthetic S3Pvac vaccine, consisting of three peptides (GK1, KETc1 and KETc12), to prevent the transmission of *T. solium* was shown to be successful (De Aluja et al., 2005). This S3Pvac vaccine caused a 50 % reduction of the parasitic load and, in the case of cysticercus, a reduction of 98 % in immunized pigs (Sciutto et al., 2008). It has been demonstrated that immunization with S3Pvac is effective for preventing porcine cysticercosis; however, its effectiveness is still limited to reduce the prevalence of the cestode, besides its high manufacturing costs (Sciutto et al., 2013).

Another gastrointestinal parasite of great concern for pig production systems is *Ascaris*

suum (*A. suum*), which is usually located in the small intestine of its host and migrates to different organs before its destination, causing significant tissue damage (Masure et al., 2013). Because of this migratory capacity, it is responsible for high rates of animal morbidity and considerable economic losses in pig productions; besides is a very relevant agent in zoonotic geohelminth infection (Tsuji et al., 2003). Several clinical studies of vaccine experimentation have been carried out to study immunoprophylaxis as a control strategy of this parasite in pigs. The inoculation of 10000 irradiated *A. suum* eggs resulted in a reduction of 88 % of *A. suum* larvae. The parasite was extracted post-mortem from the inoculated pigs (Urban & Tromba, 1982).

Gastrointestinal deworming vaccines currently commercialized in veterinary medicine

Over the years, vaccines containing different antigens and adjuvants have been developed, which help to reduce the damage generated by the presence of gastrointestinal parasites in animal production systems, and to animal and human health (Meeusen et al., 2007). This has provoked an extensive work by researchers, to generate effective vaccines that fulfill the needs of producers opportunely, and be economically viable (Redding & Weiner, 2009). Currently research on helminth vaccines has produced successful results, and has been characterized for using innovative technologies, but their commercialization is limited, leading to a reduction in the production (Hein & Harrison, 2005).

Since 2014, the first vaccine for gastrointestinal nematode control in ruminants is in the market. It is an antigenic subunit vaccine, based on hidden native intestinal membrane antigens obtained from adult *H. contortus* (Jacob et al., 2013). The vaccine compounds are the glycoproteins complex of aspartyl and metallo-proteases (H-gal-GP), and a family of leucine aminopeptidases (H11); associated to an adjuvant of saponin nature. The adjuvant commercial name is Quil-A®. This vaccine is commercialized for the control of haemonchosis in sheep (with some successful research studies in goats, alpacas, among other ruminants); its release was carried out in Australia, where the vaccine was named as Barbervax®

(Wormvax, Australia Pty Ltd) (Preston et al., 2015; Matthews et al., 2016). Barbervax® is available in South Africa, where it is known as Wirevax®, and in the United Kingdom it is sold only under veterinarian's prescriptions (<http://barbervax.com.au/>). By 2018, its respective commercial registration was obtained in New Zealand and Europe.

The vaccine for controlling hydatidosis (*Echinococcus granulosus*) in its intermediate hosts (sheep, goats, cattle, pigs, and camelids) was the first commercial vaccine for the control of gastrointestinal cestodes (Claerebout & Geldhof, 2020). It is based in a recombinant antigen and is in the market since 2006 as Providean® Hydatil EG95 (Tecnovax, Buenos Aires, Argentina). This vaccine is based on the EG95 mature oncosphere antigen (cloned from the respective gene in a plasmid vector) expressed in *E. coli* K12BB4-pGex-3Ex, and then associated to an oil adjuvant: Montanide ISA 70® (Matthews et al., 2016). The benefit of this vaccine is that by controlling the infection in its intermediate hosts, its definitive host (dogs) hardly come in contact with the hydatid cysts generated by *E. granulosus*, interrupting its life cycle. Humans are accidental host of this parasite, and the mechanism of action of this vaccine highly diminishes the probability of contamination, exerting a beneficial effect on public health in an indirect way (Tecnovax, n.d.) (Jacob et al., 2013).

In 1999, Fort Dodge Laboratories (USA) launched a vaccine called GiardiaVax™, generated from chemically inactivated trophozoites of the protozoan *G. lamblia* (syn. *G. duodenalis* or *G. intestinalis*). This protozoon is the main causative agent of diarrhea in global children population, because its cysts are expelled to the environment through the feces of pets (and wild species of dogs and cats) and can reach humans through the oral route (Meeusen et al., 2007; Payne & Artzer, 2009; Molina, 2017). The vaccine contributed to the reduction and impact of cyst expulsion from the protozoan *G. lamblia* in canine feces, and prevented giardiasis (Meeusen et al., 2007). Ten years after its commercial release, Fort Dodge Laboratories stopped the production of GiardiaVax™ because of its low efficacy (Molina, 2017). Paradoxically, this same vaccine is commercialized still in some countries of the American continent, such as in the United States, Brazil, and Argentina,



by other laboratory: Zoetis (Australia PTY LTD) for its use in dogs (Zoetis, 2013).

In 1951, the first commercial vaccine against avian coccidiosis was recognized and, until today, several series of vaccines have been commercialized for controlling this disease in different species of production birds (commercial laying hens, broilers, breeders, turkeys, among others) (Li et al., 2012). Thus, the first commercial vaccine for the control of *Eimeria* spp. (cause of avian coccidiosis) was the *live vaccine* named Coccivac®-D (Schering Plough Animal Health, USA) formulated with a series of low doses of oocysts from eight different *Eimeria* species (*E. tenella*, *E. maxima*, *E. mivati*, *E. acervulina*, *E. brunetti*, *E. hagani*, *E. necatrix* and *E. praecox*) to be administered in birds.

This same commercial line of vaccines (Merck Animal Health, n.d.), one year later was called Coccivac®-D2 (MSD, Kenilworth, NJ, USA). Is similar in its antigenic content to the previous one, but have been modified by reducing the oocyst doses of the eight *Eimeria* spp. that have not been transformed to modulate their pathogenicity (Peek and Landman, 2011). Furthermore, in the same vaccine production path, years later appeared Coccivac®-B (MSD, Kenilworth, NJ, USA), which is formulated for broilers, composed by four *Eimeria* species (*E. acervulina*, *E. maxima*, *E. mivati* and *E. tenella*) (Reid, 1990); and Coccivac®-B52 (Intervet Inc, through Merck animal health), which prevents infection by *E. mivati* and *E. tenella*, in addition to reducing injuries caused by *E. acervulina* and *E. maxima* in broilers (Merck Animal Health, n.d).

In 1985, Vetech Laboratories Inc. in Canada started to commercialize a vaccine for the control of *Eimeria* spp. called Immucox® (<https://www.immucox.com/Range>), developed in Ceva Animal Health (Cambridge, ON). It has been evolving year by year and, until today, it has developed three commercial vaccines under the precept of live sporulated oocysts (via oral administration) at low doses for this kind of birds: 1) for broilers: Immucox®3 (*E. acervulina*, *E. maxima* and *E. tenella*); 2) for broilers and laying hens: Immucox®5 (*E. acervulina*, *E. maxima*, *E. tenella*, *E. necatrix* and *E. brunetti*) and 3) for turkeys: ImmucoxT® (*E. adenoids* and *E. meleagridis*).

In addition, in 1989, the live attenuated vaccine Paracox® was launched by Schering Plough Animal Health in the United Kingdom. Later, in association with Intervet UK Ltd-MSD animal health (MSD Animal Health, n.d), generated two new commercial vaccines under the same technological precept: 1) Paracox®8, which is formulated with different low doses of oocysts from seven different *Eimeria* species (*E. acervulina*, *E. brunetti*, *E. maxima*, *E. mitis*, *E. necatrix*, *E. praecox* and *E. tenella*), it is indicated for broilers, laying hens and reproducers. 2) Paracox®5, which is formulated with four different *Eimeria* spp. (*E. acervulina*, *E. maxima*, *E. mitis* and *E. tenella*). These vaccines are called "8" and "5" respectively, even having only 7 and 4 *Eimeria* spp., since the attenuated field strain of *E. maxima* has two types ("attenuated line" (CP) and "mixed field strain precocious" (MFP)).

In 1992, the avian industry worldwide had a new possibility to control avian coccidiosis, based on the same trend of developing vaccines for the gastrointestinal pathogen *Eimeria* spp. Thus, BioPharm of the Czech Republic (<https://www.bri.cz/en>) released a new line of attenuated live vaccines called Livacox®, which offers two vaccines based on attenuated sporulated oocytes: Livacox®T (*E. acervulina*, *E. máxima* and *E. tenella*) and Livacox®Q (*E. acervulina*, *E. máxima*, *E. necatrix* and *E. tenella*). The vaccines are indicated for broilers and reproducers laying hens, respectively.

Following the vaccines purpose of controlling avian coccidiosis (but using innovation and technology for its synthesis) it was promulgated in 2002 (by ABIC Biological Laboratories Teva Ltd in Israel (www.abic-vet.com)) the CoxAbic® vaccine (Novartis, AH). This vaccine has three subunits of antigenic proteins inactivated: 230kDa, 82 kDa, 56 kDa (also called gam230, gam82 and gam56, respectively), known as Affinity Purified Gametocyte Antigen (APGA). The proteins were isolated from the sexual-stage gametocytes of the protozoan *E. maxima* (these protein fractions are located around the wall-forming bodies -WFBs- of the macrogametocytes) (Li et al., 2012).

In the pig industry is important to stand out the efforts focused on controlling *T. solium*, a cestode of great zoonotic impact associated with cysticercosis disease in humans (Lightowers & Donadeu, 2017).

In 2016, the vaccine known as Cysvax™ was developed and launched by Indian Immunological Limited with the collaboration of various economic and technical sources, including the Global Alliance for Livestock Veterinary Medicines -GALVmed- (<https://www.galvmed.org/>). It is the first and only vaccine against cysticercosis based on TSOL18, which is a recombinant antigen from the oncosphere of the parasite, expressed in *Pichia pastoris*, and an oily adjuvant (Sciutto et al., 2013). This vaccine provides 100 % effectiveness and contributes to a significant decrease in the parasitic load of this cestode in pigs (Sepúlveda et al., 2020).

Finally, not just a positive effect on animal health, welfare and production, has been generated by veterinary vaccines; also on human health, confirming that the continuous exchange of knowledge between health researchers of these two matters, considering environmental interactions (One Health principle), is essential to address the always-present threat of problematic emerging diseases (Meeusen et al., 2007). Figure 3 shows the main commercial vaccines for controlling gastrointestinal parasites examined in this review, as well as their global distribution.

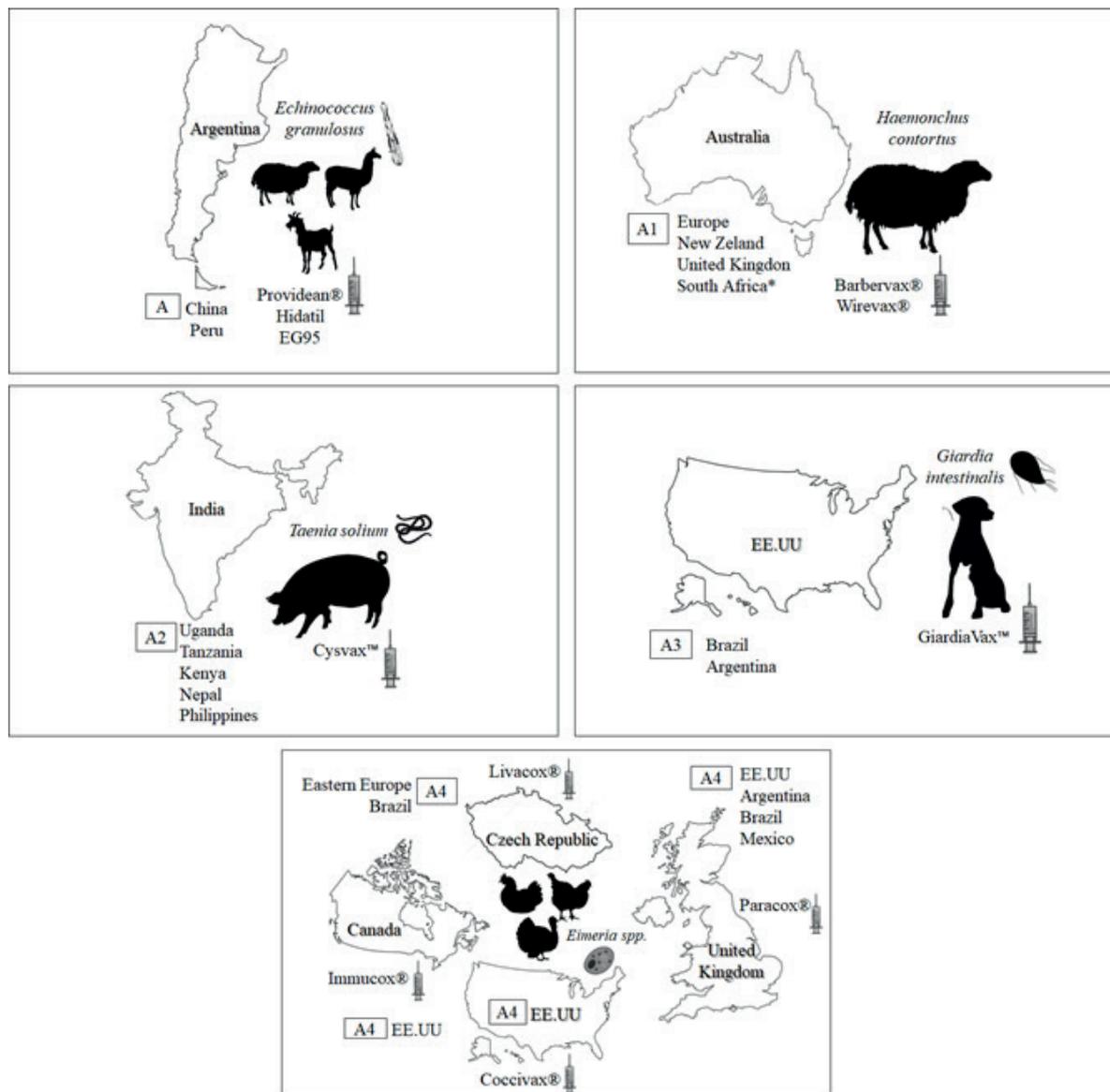


Figure 3. Vaccines marketed for the control of parasites in animals, according to their country of distribution. (A): countries where Providean® Hidatil EG95 is marketed, (A1): countries where Barbervax® is marketed, (A2): countries where Cysvax™ is marketed, (A3): countries where GiardiaVax™ is marketed and (A4): countries where Coccivax®, Immucox®, Livacox® and Paracox® are marketed. **Source:** Authors



CONCLUSIONS

The control of parasitic diseases played by vaccines is transcendental, particularly in animal production for human consumption. Like all other remedies, they must be endorsed by the competent entities (Heldens et al., 2008). However, the high costs of certain vaccines reduce the possibilities of commercialization, as ultimately users seek saving money, rather than quality (Schetters, 1995). Despite progress in experimental vaccine research, very few vaccines are promising to finally become commercialized (Schetters, 1995). In the future, changes in legislation are expected to provide subsidies for the manufacturing and marketing of commercial deworming vaccines (Schetters & Gravendyck, 2006), and it is expected to have available a range of immunoprophylactic and immunotherapeutic biologics importance

for the control or even eradication of gastrointestinal parasites.

Vaccination is an effective alternative to prevent many diseases that affect animals species of veterinary interest. This has increased the levels of confidence in public health globally (Unnikrishnan et al., 2012) and has provided welfare to various animal species. Even so, and despite the scientific advances in the world, gastrointestinal parasitic infections persist; therefore, vaccination is recognized as one of the most viable and effective option for controlling these diseases. However, the development of preventive vaccines against these parasites has proven to be enormously difficult for scientific and economic reasons (Versteeg et al., 2019).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Lina M. Vargas: Data search, introduction, methodology, writing. **Laura D. Prieto:** Data search, introduction, methodology, writing. **Monica Mónica M. Baquero:** Logistics, review. **Wilson Corredor:** review, translation. **Neuza M. Alcantara-Neves:** review. **Dumar A. Jaramillo-Hernández:** Data search, introduction, methodology, writing, editing, supervision, review, translation.

ACKNOWLEDGMENT

MCTI/CNPQ/FNDCT Program Contract no. 5737862008; Transversal Action Regional Research Networks in Ecosystems, Biodiversity and Biotechnology no 79/2013 (RENORBIO).

REFERENCES

Anvari, D., Rezaei, F., Ashouri, A., Rezaei, S., Majidiani, H., Pagheh, A. S., Rezaei, F., Shariatzadeh, S. A., Fotovati, A., Siyatpanah, A., Gholami, S. & Ahmadpour, E. (2020). Current situation and future prospects of *Echinococcus granulosus* vaccine candidates: A systematic review. *Transboundary and emerging diseases*, 68(3), 1080-1096. <https://doi.org/10.1111/tbed.13772>

Assana, E., Kyngdon, C. T., Gauci, C. G., Geerts, S., Dorny, P., De Deken, R., Anderson, G. A., Zoli, A. P. & Lightowers, M. W. (2010). Elimination of *Taenia solium* transmission to pigs in a field trial of the TSOL18 vaccine in Cameroon. *International journal for Parasitology*, 40(5), 515-519. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.01.006>

Bartelt, L. A. & Platts-Mills, J. A. (2016). *Giardia*: a pathogen or commensal for children in high-prevalence settings? *Current opinion in infectious diseases*, 29(5), 502-507. <https://doi.org/10.1097/QCO.0000000000000293>

Blake, D. P., Pastor-Fernández, I., Nolan M. J. & Tomley, F. M. (2017). Recombinant anticoccidial vaccines - a cup half full? *Infection, Genetics and Evolution*, 55, 358-365. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2017.10.009>

Boag, P. R., Parsons, J. C., Presidente, P. J. A., Spithill, T. W. & Sexton, J. L. (2003). Characterisation of humoral immune responses in dogs vaccinated with irradiated *Ancylostoma caninum*. *Veterinary immunology and immunopathology*, 92(1-2), 87-94. [https://doi.org/10.1016/s0165-2427\(03\)00006-0](https://doi.org/10.1016/s0165-2427(03)00006-0)

- Borloo, J., De Graef, J., Peelaers, I., Nguyen, D. L., Mitreva, M., Devreese, B., Hokke, C. H., Vercruyse, J., Claerebout, E. & Geldhof, P. (2013). In-depth proteomic and glycomic analysis of the adult-stage *Cooperia oncophora* excretome/secretome. *Journal of proteome research*, 12(9), 3900–3911. <https://doi.org/10.1021/pr400114y>
- Britton, C., Emery, D. L., McNeilly, T. N., Nisbet, A. J. & Stear, M. J. (2020). The potential for vaccines against scour worms of small ruminants. *International journal for Parasitology*, 50(8), 533–553. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.04.003>
- Budke, C. M., Deplazes, P. & Torgerson, P. R. (2006). Global socioeconomic impact of cystic echinococcosis. *Emerging infectious diseases*, 12(2), 296–303. <https://doi.org/10.3201/eid1202.050499>
- Cai, X., Yuan, G., Zheng, Y., Luo, X., Zhang, S., Ding, J., Jing, Z. & Lu, C. (2007). Effective production and purification of the glycosylated TSOL18 antigen, which is protective against pig cysticercosis. *Infection and immunity*, 76(2), 767–770. <https://doi.org/10.1128/IAI.00444-07>
- Claerebout, E. & Geldhof, P. (2020). Helminth Vaccines in Ruminants: From Development to Application. *Veterinary clinics of North America: Food animal practice*, 36(1), 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.10.001>
- Corwin R. M. (1997). Economics of gastrointestinal parasitism of cattle. *Veterinary parasitology*, 72(3-4), 451–460. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(97\)00110-6](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(97)00110-6)
- Dalimi, A., Motamedi, G., Hosseini, M., Mohammadian, B., Malaki, H., Ghamari, Z. & Ghaffari-Far, F. (2002). Echinococcosis/hydatidosis in western Iran. *Veterinary parasitology*, 105(2), 161–171. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(02\)00005-5](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(02)00005-5)
- De Aluja, A. S., Villalobos, N. M., Nava, G., Toledo, A., Martínez, J. J., Plancarte, A., Rodarte, L. F., Fragoso, G. & Sciutto, E. (2005). Therapeutic capacity of the synthetic peptide-based vaccine against *Taenia solium* cysticercosis in pigs. *Vaccine*, 23(31), 4062–4069. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2004.11.076>
- Díaz, M. A., Villalobos, N., De Aluja, A., Rosas, G., Gómez-Conde, E., Hernández, P., Larralde, C., Sciutto, E., & Fragoso, G. (2003). Th1 and Th2 indices of the immune response in pigs vaccinated against *Taenia solium* cysticercosis suggest various host immune strategies against the parasite. *Veterinary immunology and immunopathology*, 93(3-4), 81–90. [https://doi.org/10.1016/s0165-2427\(03\)00071-0](https://doi.org/10.1016/s0165-2427(03)00071-0)
- Ding, X., Lillehoj, H. S., Dalloul, R. A., Min, W., Sato, T., Yasuda, A. & Lillehoj, E. P. (2005). In ovo vaccination with the *Eimeria tenella* EtMIC2 gene induces protective immunity against coccidiosis. *Vaccine*, 23(28), 3733–3740. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2005.01.144>
- East, I. J., Berrie, D. A., & Fitzgerald, C. J. (1988). *Oesophagostomum radiatum*: successful vaccination of calves with an extract of in vitro cultured larvae. *International journal for parasitology*, 18(1), 125–127. [https://doi.org/10.1016/0020-7519\(88\)90047-1](https://doi.org/10.1016/0020-7519(88)90047-1)
- Ehsan M., Hu, R., Liang, Q., Hou, J., Song, X., Yan, R. Zhu, X. & Li, X. (2020). Advances in the development of anti-*Haemonchus contortus* vaccines: Challenges, opportunities, and perspectives. *Vaccines*, 8(3), 555. <https://doi.org/10.3390/vaccines8030555>
- Emery, D. L., McClure, S. J., & Wagland, B. M. (1993). Production of vaccines against gastrointestinal nematodes of livestock. *Immunology and cell biology*, 71(5), 463–472. <https://doi.org/10.1038/icb.1993.52>
- Fujiwara, R. T., Loukas, A., Mendez, S., Williamson, A. L., Bueno, L. L., Wang, Y., Samuel, A., Zhan, B., Bottazzi, M. E., Hotez, P. J. & Bethony, J. M. (2006). Vaccination with irradiated *Ancylostoma caninum* third stage larvae induces a Th2 protective response in dogs. *Vaccine*, 24(4), 501–509. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2005.07.091>



- Fujiwara, R. T., Zhan, B., Mendez, S., Loukas, A., Bueno, L. L., Wang, Y., Plieskatt, J., Oksov, Y., Lustigman, S., Bottazzi, M. E., Hotez, P. & Bethony, J. M. (2007). Reduction of worm fecundity and canine host blood loss mediates protection against hookworm infection elicited by vaccination with recombinant Ac-16. *Clinical and vaccine immunology*, 14(3), 281–287. DOI: <https://doi.org/10.1128/CVI.00404-06>
- Garcia, H. H., González, A. E., Tsang, V. C. W., O'Neal, S. E., Llanos-Zavalaga, F., Gonzalvez, G., Romero, J., Rodriguez, S., Moyano, L. M., Ayvar, V., Diaz, A., Hightower, A., Craig, P. S., Lightowers, M. W., Gauci, C. G., Leontsini, E., Gilman, R. H. Elimination of *Taenia solium* Transmission in Northern Peru. *The New England journal of medicine*, 374(24), 2335–2344. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1515520>
- Gasbarre, L. C. & Douvres, F. W. (1987). Protection from parasite-induced weight loss by the vaccination of calves with excretory-secretory products of larval *Oesophagostomum radiatum*. *Veterinary parasitology*, 26(1-2), 95–105. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(87\)90080-x](https://doi.org/10.1016/0304-4017(87)90080-x)
- Gauci, C. G., Jayashi, C. M., González, A. E., Lackenby, J. & Lightowers, M. W. (2012). Protection of pigs against *Taenia solium* cysticercosis by immunization with novel recombinant antigens. *Vaccine*, 30(26), 3824–3828. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2012.04.019>
- Geldhof, P., Claerebout, E., Knox, D., Vercauteren, I., Looszova, A. & Vercruysse, J. (2002). Vaccination of calves against *Ostertagia ostertagi* with cysteine proteinase enriched protein fractions. *Parasite immunology*, 24(5), 263–270. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3024.2002.00461.x>
- Geldhof, P., Vercauteren, I., Vercruysse, J., Knox, D. P., Van Den Broeck, W. & Claerebout, E. (2004). Validation of the protective *Ostertagia ostertagi* ES-thiol antigens with different adjuvantia. *Parasite immunology*, 26(1), 37–43. <https://doi.org/10.1111/j.0141-9838.2004.00681.x>
- Ghosh, K., Hawdon, J. & Hotez, P. (1996). Vaccination with alum-precipitated recombinant *Ancylostoma*-secreted protein 1 protects mice against challenge infections with infective hookworm (*Ancylostoma caninum*) larvae. *The Journal of infectious diseases*, 174(6), 1380–1383. <https://doi.org/10.1093/infdis/174.6.1380>
- Gilbert, W., Bellet, C., Blake, D. P., Tomley, F. M. & Rushton, J. (2020). Revisiting the Economic Impacts of *Eimeria* and Its Control in European Intensive Broiler Systems with a Recursive Modeling Approach. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 757. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.558182>
- González, A. E., Gauci, C. G., Barber, D., Gilman, R. H., Tsang, V. C. W., Garcia, H. H., Verastegui, M. & Lightowers, M. W. (2005). Vaccination of pigs to control human neurocysticercosis. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 72(6), 837–839. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2005.72.837>
- González-Sánchez, M. E., Cuquerella, M. & Alunda, J. M. (2018). Vaccination of lambs against *Haemonchus contortus* with the recombinant rHc23. Effect of adjuvant and antigen dose. *PloS one*, 13(3), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193118>
- Grosso, G., Gruttadauria, S., Biondi, A., Marventano, S. & Mistretta, A. (2012). Worldwide epidemiology of liver hydatidosis including the Mediterranean area. *World journal of gastroenterology*, 18(13), 1425–1437. <https://doi.org/10.3748/wjg.v18.i13.1425>
- Heath, D. D., Robinson, C., Shakes, T., Huang, Y., Gulnur, T., Shi, B., Zhang, Z., Anderson, G. A., & Lightowers, M. W. (2012). Vaccination of bovines against *Echinococcus granulosus* (cystic echinococcosis). *Vaccine*, 30(20), 3076–3081. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2012.02.073>
- Hein, W. R. & Harrison, G. B. L. (2005). Vaccines against veterinary helminths. *Veterinary parasitology*, 132(3-4), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.07.006>
- Heldens, J. G. M., Patel, J. R., Chanter, N., Thij, G. J. T., Gravendijck, M., Schijns, V. E.

J. C., Langen, A. & Schetters, T. P. M. (2008). Veterinary vaccine development from an industrial perspective. *Veterinary journal*, 178(1), 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.11.009>

Herd, R. P., Chappel, R. J. & Biddell, D. (1975). Immunization of dogs against *Echinococcus granulosus* using worm secretory antigens. *International journal for parasitology*, 5(4), 395–399. [https://doi.org/10.1016/0020-7519\(75\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0020-7519(75)90004-1)

Hotez, P. J., Hawdon, J. M., Cappello, M., Jones, B. F., Ghosh, K., Volvovitz, F. & Xiao, S. (1996). Molecular approaches to vaccinating against hookworm disease. *Pediatric research*, 40(4), 515–521. <https://doi.org/10.1203/00006450-199610000-00001>

Innes, E. A., Bartley, P. M., Rocchi, M., Benavidas-Silvan, J., Burrells, A., Hotchkiss, E., Chianini, F., Canton, G. & Katzer, F. (2011). Developing vaccines to control protozoan parasites in ruminants: Dead or alive? *Veterinary parasitology*, 180(1-2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.05.036>

Jacob, S. S., Cherian, S., Sumithra, T. G., Raina, O. K. & Sankar, M. (2013). Edible vaccines against veterinary parasitic diseases—current status and future prospects. *Vaccine*, 31(15), 1879–1885. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2013.02.022>

Jaramillo-Hernández, D. A., Salazar-Garcés, L. F., Baquero-Parra, M. M., Da Silva-Pinheiro, C. & Alcántara-Neves N. M. (2020). Toxocariasis and *Toxocara* vaccine: a review. *Orinoquia* 24(2), 79–95. <https://doi.org/10.22579/20112629.631>

Jenkins M. C. (1998). Progress on developing a recombinant coccidiosis vaccine. *International journal for Parasitology*, 28(7), 1111–1119. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(98\)00041-1](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(98)00041-1)

Jenkins, M. C. (2001). Advances and prospects for subunit vaccines against protozoa of veterinary importance. *Veterinary Parasitology*, 101(3-4), 291–310. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(01\)00557-x](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(01)00557-x)

Knox, D. P. (2000). Development of vaccines against gastrointestinal nematodes. *Parasitology*, 120(7), 43–61. <https://doi.org/10.1017/s0031182099005764>

Knox, D. P. & Smith, W. D. (2001). Vaccination against gastrointestinal nematode parasites of ruminants using gut-expressed antigens. *Veterinary parasitology*, 100(1-2), 21–32. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(01\)00480-0](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(01)00480-0)

Knox, D. P., Redmond, D. L., Newlands, G. F., Skuce, P. J., Pettit, D. & Smith, W. D. (2003). The nature and prospects for gut membrane proteins as vaccine candidates for *Haemonchus contortus* and other ruminant trichostrongyloids. *International journal for Parasitology*, 33(11), 1129–1137. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(03\)00167-x](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(03)00167-x)

Kyngdon, C. T., Gauci, C. G., Gonzalez, A. E., Flisser, A., Zoli, A., Read, A. J., Martínez-Ocaña, J., Strugnell, R. A. & Lightowers, M. W. (2006). Antibody responses and epitope specificities to the *Taenia solium* cysticercosis vaccines TSOL18 and TSOL45-1A. *Parasite immunology*, 28(5), 191–199. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.2006.00820.x>

Larrieu, E., Mujica, G., Araya, D., Labanchi, J. L., Arezo, M., Herrero, E., Santillán, G., Vizcaychipi, K., Uchiumi, L., Salvitti, J. C., Grizmado, C., Calabro, A., Talmon, G., Sepulveda, L., Galvan, J. M., Cabrera, M., Seleiman, M., Crowley, P., Cespedes, G ... Lightowers, M. W. (2019). Pilot field trial of the EG95 vaccine against ovine cystic echinococcosis in Rio Negro, Argentina: 8 years of work. *Acta tropica*, 191, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.12.025>

Larrieu, E., Mujica, G., Gauci, C. G., Vizcaychipi, K., Seleiman, M., Herrero, E., Labanchi, J. L., Araya, D., Sepúlveda, L., Grizmado, C., Calabro, A., Talmon, G., Poggio, T. V., Crowley, P., Cespedes, G., Santillán, G., García Cachau, M., Lamberti, R., Gino, L ... Lightowers, M. W. (2015). Pilot Field Trial of the EG95 Vaccine Against Ovine Cystic Echinococcosis in Rio Negro, Argentina: Second Study of Impact. *PLOS: Neglected Tropical Diseases*, 9(10), 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004134>



- Li, J., Zheng, J., Gong, P. & Zhang, X. (2012). Efficacy of Eimeria tenella rhomboid-like protein as a subunit vaccine in protective immunity against homologous challenge. *Parasitology research*, 110(3), 1139–1145. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2603-1>
- Lightowlers, M. W., Jensen, O., Fernández, E., Iriarte, J. A., Woollard, D. J., Gauci, C. G., Jenkins, D. J. & Heath, D. D. (1999). Vaccination trials in Australia and Argentina confirm the effectiveness of the EG95 hydatid vaccine in sheep. *International journal for Parasitology*, 29(4), 531–534. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(99\)00003-x](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(99)00003-x)
- Lightowlers, M. W., Lawrence, S. B., Gauci, C. G., Young, J., Ralston, M. J., Maas, D. & Heath, D. D. (1996). Vaccination against hydatidosis using a defined recombinant antigen. *Parasite immunology*, 18(9), 457–462. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.1996.tb01029.x>
- Lightowlers, M. W. & Donadeu, M. (2017). Designing a Minimal Intervention Strategy to Control *Taenia solium*. *Trends in Parasitology*, 33(6), 426–434. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2017.01.011>
- Loukas, A., Bethony, J. M., Williamson, A. L., Goud, G. N., Mendez, S., Zhan, B., Hawdon, J. M., Bottazzi, M. E., Brindley, P. J. & Hotez, P. J. (2004). Vaccination of dogs with a recombinant cysteine protease from the intestine of canine hookworms diminishes the fecundity and growth of worms. *The Journal of infectious diseases*, 189(10), 1952–1961. <https://doi.org/10.1086/386346>
- Masure, D., Vlaminck, J., Wang, T., Chiers, K., Van den Broeck, W., Vercruyse, J. & Geldhof, P. (2013). A role for eosinophils in the intestinal immunity against infective *Ascaris suum* larvae. *PLOS: Neglected Tropical Diseases*, 7(3), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002138>
- Matthews, J. B., Geldhof, P., Tzelos, T. & Claerebout, E. (2016). Progress in the development of subunit vaccines for gastrointestinal nematodes of ruminants. *Parasite immunology*, 38(12), 744–753. <https://doi.org/10.1111/pim.12391>
- McDonald, V. & Shirley, M. W. (2009). Past and future: vaccination against *Eimeria*. *Parasitology*, 136(12), 1477–1489. <https://doi.org/10.1017/S0031182009006349>
- Meeusen, E. N. T., Walker, J., Peters, A., Pastoret, P. & Jungersen, G. (2007). Current status of veterinary vaccines. *Clinical microbiology reviews*, 20(3), 489–510. <https://doi.org/10.1128/CMR.00005-07>
- Merck Animal Health. (n.d). 0255 PB MAH-PPC Coccivac B52 2-20.indd (merck-animal-health-usa.com)
- Merck Animal Health. (n. d.). *Intestinal health*. <https://www.merck-animal-health.com/species/poultry/intestinal-health/>
- Meyvis, Y., Geldhof, P., Gevaert, K., Timmerman, E., Vercruyse, J. & Claerebout, E. (2007). Vaccination against *Ostertagia ostertagi* with subfractions of the protective ES-thiol fraction. *Veterinary parasitology*, 149(3-4), 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.08.014>
- Miller, T. A. (1964). Effect of x-irradiation upon the infective larvae of ancylostoma caninum and the immunogenic effect in dogs of a single infection with 40 kr-irradiated larvae. *The Journal of parasitology*, 50(6), 735–742. <https://doi.org/10.2307/3276194>
- Molina, V. M. (2017). Pharmacological treatment of giardiasis. In Rodriguez, A. J. (Ed.), *Current Topics in Giardiasis* (pp. 133–145). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71803>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. & The PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLOS medicine*, 6(7), 1–6. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- MSD Animal Health. (n.d.). Poultry. <https://www.msd-animal-health-hub.co.uk/Products/Paracox;>
- Munn, E. A., Greenwood, C. A., & Coadwell, W. J. (1987). Vaccination of young lambs by means of a protein fraction extracted from

adult *Haemonchus contortus*. *Parasitology*, 94(2), 385–397. <https://doi.org/10.1017/s0031182000054032>

Newton, S. E. & Meeusen, E. N. T. (2003). Progress and new technologies for developing vaccines against gastrointestinal nematode parasites of sheep. *Parasite immunology*, 25(5), 283–296. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3024.2003.00631.x>

Newton, S. E. & Munn, E. A. (1999). The development of vaccines against gastrointestinal nematode parasites, particularly *Haemonchus contortus*. *Parasitology today*, 15(3), 116–122. [https://doi.org/10.1016/s0169-4758\(99\)01399-x](https://doi.org/10.1016/s0169-4758(99)01399-x)

Nisbet, A. J., McNeilly, T. N., Greer, A. W., Bartley, Y., Oliver, E. M., Smith, S., Palarea-Albaladejo, J. & Matthews, J. B. (2016). Protection of ewes against *Teladorsagia circumcincta* infection in the periparturient period by vaccination with recombinant antigens. *Veterinary parasitology*, 228, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.09.002>

Nisbet, A. J., McNeilly, T. N., Wildblood, L. A., Morrison, A. A., Bartley, D. J., Bartley, Y., Longhi, C., McKendrick, I. J., Palarea-Albaladejo, J. & Matthews, J. B. (2013). Successful immunization against a parasitic nematode by vaccination with recombinant proteins. *Vaccine*, 31(37), 4017–4023. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2013.05.026>

Payne, P. A. & Artzer, M. (2009). The biology and control of *Giardia* spp and *Trichostrongylus axei*. *Veterinary clinics of North America: Small animal practice*, 39(6), 993–1007. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2009.06.007>

Peek, H. W. & Landman, W. J. M. (2011). Coccidiosis in poultry: anticoccidial products, vaccines and other prevention strategies. *Veterinary quarterly*, 31(3), 143–161. <https://doi.org/10.1080/01652176.2011.605247>

Petavy, A. F., Hormaeche, C., Lahmar, S., Ouhelli, H., Chabalgoity, A., Marchal, T., Azzouz, S., Schreiber, F., Alvite, G., Sarciron,

M. E., Maskell, D., Esteves, A. & Bosquet, G. (2008). An oral recombinant vaccine in dogs against *Echinococcus granulosus*, the causative agent of human hydatid disease: a pilot study. *PLOS: neglected tropical diseases*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000125>

Plancarte, A., Flisser, A., Gauci, C. G. & Lightowlers, M. W. (1999). Vaccination against *Taenia solium* cysticercosis in pigs using native and recombinant oncosphere antigens. *International journal for parasitology*, 29(4), 643–647. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(99\)00021-1](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(99)00021-1)

Preston, S., Jabbar, A., Nowell, C., Joachim, A., Ruttkowski, B., Baell, J., Cardno, T., Korhonen, P. K., Piedrafita, D., Ansell, B. R. E., Jex, A. R., Hofmann, A. & Gasser, R. B. (2015). Low cost whole-organism screening of compounds for anthelmintic activity. *International journal for parasitology*, 45(5), 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2015.01.007>

Redding, L. & Weiner, D. B. (2009). DNA vaccines in veterinary use. *Expert review of vaccines*, 8(9), 1251–1276. <https://doi.org/10.1586/erv.09.77>

Reid, W. M. (1990). History of avian medicine in the United States. X. Control of coccidiosis. *Avian diseases*, 34(3), 509–525. <https://doi.org/10.2307/1591239>

Sander, V. A., Sánchez López, E. F., Mendoza, L., Ramos, V. A., Corigliano, M. G. & Clemente, M. (2020). Use of Veterinary Vaccines for Livestock as a Strategy to Control Foodborne Parasitic Diseases. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 10 (288), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.00288>

Schettlers, T. (1995). Vaccine development from a commercial point of view. *Veterinary parasitology*, 57(1-3), 267–275. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(94\)03125-g](https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)03125-g)

Schettlers, T. P. M. & Gravendyck, M. (2006). Regulations and procedures in parasite vaccine development. *Parasitology*, 133, 189–195. <https://doi.org/10.1017/S0031182006001879>



- Sciutto, E., Fragoso, G., De Aluja, A. S., Hernández, M., Rosas, G. & Larralde, C. (2008). Vaccines against cysticercosis. *Current topics in medicinal chemistry*, 8(5), 415–423. <https://doi.org/10.2174/156802608783790839>
- Sciutto, E., Fragoso, G., Hernández, M., Rosas, G., Martínez, J. J., Fleury, A., Cervantes, J., Aluja, A. & Larralde, C. (2013). Development of the S3Pvac vaccine against murine *Taenia crassiceps* cysticercosis: a historical review. *The Journal of parasitology*, 99(4), 693–702. <https://doi.org/10.1645/GE-3101.1>
- Sepúlveda-Crespo, D., Reguera, R. M., Rojo-Vázquez, F., Balaña-Fouce, R., & Martínez-Valladares, M. (2020). Drug discovery technologies: *Caenorhabditis elegans* as a model for anthelmintic therapeutics. *Medicinal research reviews*, 40(5), 1715–1753. <https://doi.org/10.1002/med.21668>
- Sharma, N., Singh, V. & Shyma, K. P. (2015). Role of parasitic vaccines in integrated control of parasitic diseases in livestock. *Veterinary world*, 8(5), 590–598. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.590-598>
- Siefker, C. & Rickard, L. G. (2000). Vaccination of calves with *Haemonchus placei* intestinal homogenate. *Veterinary parasitology*, 88(3-4), 249–260. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(99\)00208-3](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(99)00208-3)
- Smith, S. K. & Smith, W. D. (1996). Immunisation of sheep with an integral membrane glycoprotein complex of *Haemonchus contortus* and with its major polypeptide components. *Research in veterinary science*, 60(1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/s0034-5288\(96\)90121-6](https://doi.org/10.1016/s0034-5288(96)90121-6)
- Smith, S. K., Pettit, D., Newlands, G. F., Redmond, D. L., Skuce, P. J., Knox, D. P. & Smith, W. D. (1999). Further immunization and biochemical studies with a protective antigen complex from the microvillar membrane of the intestine of *Haemonchus contortus*. *Parasite immunology*, 21(4), 187–199. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3024.1999.00217.x>
- Smith, W. D. & Smith, S. K. (1993). Evaluation of aspects of the protection afforded to sheep immunised with a gut membrane protein of *Haemonchus contortus*. *Research in veterinary science*, 55(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(93\)90025-b](https://doi.org/10.1016/0034-5288(93)90025-b)
- Smith, W. D., Smith, S. K. & Murray, J. M. (1994). Protection studies with integral membrane fractions of *Haemonchus contortus*. *Parasite immunology*, 16(5), 231–241. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.1994.tb00345.x>
- Smith, W. D., Smith, S. K., Pettit, D., Newlands, G. F. & Skuce, P. J. (2000). Relative protective properties of three membrane glycoprotein fractions from *Haemonchus contortus*. *Parasite immunology*, 22(2), 63–71. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3024.2000.00277.x>
- Song, H., Yan, R., Xu, L., Song, X., Shah, M. A., Zhu, H., & Li, X. (2010). Efficacy of DNA vaccines carrying *Eimeria acervulina* lactate dehydrogenase antigen gene against coccidiosis. *Experimental parasitology*, 126(2), 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2010.05.015>
- Song, K. D., Lillehoj, H. S., Choi, K. D., Yun, C. H., Parcels, M. S., Huynh, J. T. & Han, J. Y. (2000). A DNA vaccine encoding a conserved *Eimeria* protein induces protective immunity against live *Eimeria acervulina* challenge. *Vaccine*, 19(2-3), 243–252. [https://doi.org/10.1016/s0264-410x\(00\)00169-9](https://doi.org/10.1016/s0264-410x(00)00169-9)
- Song, X., Xu, L., Yan, R., Huang, X., Shah, M. A., & Li, X. (2009). The optimal immunization procedure of DNA vaccine pcDNA-TA4-IL-2 of *Eimeria tenella* and its cross-immunity to *Eimeria necatrix* and *Eimeria acervulina*. *Veterinary parasitology*, 159(1), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.10.015>
- Soutter, F., Werling, D., Tomley, F. M. & Blake, D. P. (2020). Poultry Coccidiosis: Design and Interpretation of Vaccine Studies. *Frontiers in veterinary science*, 7, 101. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00101>
- Stutzer, C., Richards, A., Ferreira, M., Baron, S. & Maritz-Olivier, C. (2018).

Metazoan parasite vaccines: present status and future prospects. *Frontiers in cellular and infection microbiology* 8, 67. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00067>

Tecnovax. (n.d.) PROVIDEAN HIDATIL EG95. Retrieved from <http://www.tecnovax.com.ar/productos/providean-hidatil-eg95/>;

Tsuji, N., Suzuki, K., Kasuga-Aoki, H., Isobe, T., Arakawa, T. & Matsumoto, Y. (2003). Mice intranasally immunized with a recombinant 16-kilodalton antigen from roundworm *Ascaris* parasites are protected against larval migration of *Ascaris suum*. *Infection and immunity*, 71(9), 5314–5323. <https://doi.org/10.1128/iai.71.9.5314-5323.2003>

Unnikrishnan, M., Rappuoli, R. & Serruto, D. (2012). Recombinant bacterial vaccines. *Current opinion in immunology*, 24(3), 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2012.03.013>

Urban, J. F. & Tromba, F. G. (1982). Development of immune responsiveness to *Ascaris suum* antigens in pigs vaccinated with ultraviolet-attenuated eggs. *Veterinary immunology and immunopathology*, 3(4), 399–409. [https://doi.org/10.1016/0165-2427\(82\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0165-2427(82)90022-8)

Verastegui, M., Gilman, R. H., Gonzales, A., Garcia, H. H., Gavidia, C., Falcon, N., Bernal, T., Arana, Y., Tsang, V. C. & Cysticercosis Working Group In Peru (2002). Taenia solium oncosphere antigens induce immunity in pigs against experimental cysticercosis. *Veterinary parasitology*, 108(1), 49–62. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(02\)00182-6](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(02)00182-6)

Vercauteren, I., Geldhof, P., Vercruyse, J., Peelaers, I., Van den Broeck, W., Gevaert, K., & Claerebout, E. (2004). Vaccination with an Ostertagia ostertagi polyprotein allergen protects calves against homologous challenge infection. *Infection and immunity*, 72(5), 2995–3001. <https://doi.org/10.1128/iai.72.5.2995-3001.2004>

Vercruyse, J., Charlier, J., Van Dijk, J., Morgan, E. R., Geary, T., Von Samson-Himmelstjerna, G. & Claerebout, E.

(2018). Control of helminth ruminant infections by 2030. *Parasitology*, 145(13), 1655–1664. <https://doi.org/10.1017/S003118201700227X>

Vercruyse, J., Knox, D. P., Schetters, T. P. & Willadsen, P. (2004). Veterinary parasitic vaccines: pitfalls and future directions. *Trends in parasitology*, 20(10), 488–492. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2004.07.009>

Vermeulen, A. N. (1998). Progress in recombinant vaccine development against coccidiosis. A review and prospects into the next millennium. *International journal for parasitology*, 28(7), 1121–1130. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(98\)00080-0](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(98)00080-0)

Versteeg, L., Almutairi, M. M., Hotez, P. J. & Pollet, J. (2019). Enlisting the mRNA Vaccine Platform to Combat Parasitic Infections. *Vaccines*, 7(4), 122. <https://doi.org/10.3390/vaccines7040122>

Vlaminck, J., Borloo, J., Vercruyse, J., Geldhof, P. & Claerebout, E. (2015). Vaccination of calves against *Cooperia oncophora* with a double-domain activation-associated secreted protein reduces parasite egg output and pasture contamination. *International journal for parasitology*, 45(4), 209–213. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2014.11.001>

Vlaminck, J., Martinez-Valladares, M., Dewilde, S., Moens, L., Tilleman, K., Deforce, D., Urban, J., Claerebout, E., Vercruyse, J. & Geldhof, P. (2011). Immunizing pigs with *Ascaris suum* haemoglobin increases the inflammatory response in the liver but fails to induce a protective immunity. *Parasite immunology*, 33(4), 250–254. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.2010.01274.x>

Wallach, M., Smith, N. C., Petracca, M., Miller, C. M., Eckert, J. & Braun, R. (1995). *Eimeria maxima* gametocyte antigens: potential use in a subunit maternal vaccine against coccidiosis in chickens. *Vaccine*, 13(4), 347–354. [https://doi.org/10.1016/0264-410x\(95\)98255-9](https://doi.org/10.1016/0264-410x(95)98255-9)

Williams, R. B. (2002). Fifty years of anticoccidial vaccines for poultry (1952–2002). *Avian diseases*, 46(4), 775–802. [https://doi.org/10.1016/0264-410x\(95\)98255-9](https://doi.org/10.1016/0264-410x(95)98255-9)



org/10.1637/0005-2086(2002)046[0775:FY OAVF]2.0.CO;2

Woods, D. J., Vaillancourt, V. A., Wendt, J. A. & Meeus, P. F. (2011). Discovery and development of veterinary antiparasitic drugs: past, present and future. *Future medicinal chemistry*, 3(7), 887–896. <https://doi.org/10.4155/fmc.11.39>

Xu, J., Zhang, Y. & Tao, J. (2013). Efficacy of a DNA vaccine carrying *Eimeria maxima* Gam56 antigen gene against coccidiosis in chickens. *The Korean journal of parasitology*, 51(2), 147–154. <https://doi.org/10.3347/kjp.2013.51.2.147>

Xu, Q., Song, X., Xu, L., Yan, R., Shah, M. A. A. & Li, X. (2008). Vaccination of chickens with a chimeric DNA vaccine encoding *Eimeria tenella* TA4 and chicken IL-2 induces protective immunity against coccidiosis. *Veterinary parasitology*, 156(3-4), 319–323. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.05.025>

Zoetis (n.d.) Giardia Vax. <https://ar.zoetis.com/products/caninos/giardia-vax.aspx>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.





FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO Y ORGANOPÓNICO DE MAÍZ COMO SUPLEMENTO NUTRICIONAL PARA OVINOS DEL PIEDEMONTES AMAZÓNICO

HYDROPONIC AND ORGANOPONIC GREEN FORAGE OF CORN AS A NUTRITIONAL SUPPLEMENT FOR SHEEP IN THE AMAZON FOOTHILLS

Juan Pablo Narváez Herrera • jpnarvaez84@misena.edu.co

Zootecnista, Especialista en Nutrición Animal Sostenible, Magister en Ciencias Agrarias, Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima, SENA Regional Putumayo, Puerto Asís, Putumayo Colombia.

Elizabeth Marcela Guerrero Guerrero • marcelitag2@yahoo.es

Ingeniera Agrónoma, Especialista en Gestión Pública, Magister en Ciencias Agrarias, Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima, SENA Regional Putumayo, Puerto Asís, Putumayo Colombia.

Citación: Narváez-Herrera, J. P., Guerrero-Guerrero, E.M. (2022). Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del piedemonte amazónico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 253 – 266. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4535>

RESUMEN

Contextualización: Los rumiantes tienen una ventaja comparativa con relación a otras especies, gracias a la capacidad de digerir las fracciones de la fibra presente en los forrajes.

Vacío de conocimiento: En regiones tropicales, debido a las condiciones medioambientales cambiantes, se hace más difícil la producción de pasturas de alta calidad nutricional, derivando así en una estacionalidad forrajera. Esto conlleva a que sea necesaria la suplementación con alimentos comerciales para los animales, lo que incrementa los costos de producción.

Propósito del estudio: Evaluar el efecto de la suplementación con forraje verde hidropónico (FVH) y forraje verde organopónico (FVO) de maíz sobre el rendimiento productivo de ovinos en fase de levante, en el piedemonte amazónico del Departamento del Putumayo.

Metodología: Se utilizaron 12 corderos Dorper enteros con edad de 90 días y peso 14.62 kg, los cuales se distribuyeron para la aplicación de tres tratamientos consistentes en: T0: dieta base (DB), T1: forraje verde hidropónico (FVH) y T2: forraje verde organopónico (FVO). Se evaluó la ganancia de peso total (GPT), ganancia diaria de peso

(GDP), consumo total de alimento (CTA), conversión alimenticia (CA) y eficiencia alimenticia (EA) durante un periodo de suplementación de 45 días. Se utilizó un diseño completamente al azar. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y las medias fueron separadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de ($p < 0.05$).

Resultados y conclusiones: Se encontraron diferencias ($p < 0.05$) en la GPT 3.66 kg (T1), 3.61 kg (T2) y 2.35 kg (T0); de igual manera para la GDP 81.39 g (T1), 80.30 g (T2) y 52.22 g (T0); para el CTA 1.33 kg (T1), 1.27 kg (T2) y 1.05 kg (T0); la CA se estimó para el T1 en 3.23, 3.27 en T2 y 5.13 en T0; y la EA fue de 0.063 (T1), 0.061 (T2) y 0.050 (T0), evidenciando la influencia del tipo de dieta utilizada. La implementación de FVH y FVO se convierte en una alternativa viable de suplementación en los sistemas de producción de ovinos, en los que las condiciones medioambientales hacen difícil el cultivo de forrajes para pastoreo. Se concluye que la inclusión del 30 % de FVH de maíz en la dieta de ovinos en crecimiento mejora su rendimiento productivo.

Palabras Clave: forraje; nutrición; rumiantes; suplementación

ABSTRACT

Contextualization: Ruminants have a comparative advantage over other species, because their ability to digest the fiber fractions present in forages.

Knowledge gap: In tropical regions, due to changing environmental conditions, it is more difficult to produce pastures of high nutritional quality, resulting in forage seasonality that leads to supplementation with commercial feedstuffs that increase production costs.

Purpose: Evaluate the effect of supplementation with hydroponic green fodder (HGF) and organoponic green fodder (OGF) of corn on the productive performance of sheeps during the rearing phase, in the Amazonian piedmont of the Department of Putumayo.

Methodology: Twelve whole Dorper lambs, aged 90 days and weighing 14.62 kg, were used. They were distributed to three treatments consisting of: T0: base diet (BD), T1: hydroponic green fodder (HGF), T2: organoponic green fodder (OGF). Total weight gain (TWG), daily weight gain (DWG), total feed intake (TFI), feed conversion (FC)

and feed efficiency (FE) were evaluated during a supplementation period of 45 days. A completely randomized design was used. Data was analyzed by analysis of variance and means were separated by Tukey's test with a significance level of ($p < 0.05$).

Results and conclusions: Differences ($p < 0.05$) were found in TWG 3.66 kg (T1), 3.61 kg (T2) and 2.35 kg (T0); similarly, to DWG 81.39 g (T1), 80.30 g (T2) and 52.22 g (T0); TFI 1.33 kg (T1), 1.27 kg (T2) and 1.05 kg (T0); the FC was estimated for T1 at 3.23, 3.27 in T2 and 5.13 in T0; and the FE was 0.063 (T1), 0.061 (T2) and 0.050 (T0), evidencing the influence of the type of diet used. The implementation of HGF and OGF becomes a viable alternative for food supplementation in sheeps production systems, where environmental conditions make it difficult to cultivate forage for grazing. It was concluded that the inclusion of 30 % of corn HGF in the diet of growing sheep improves their productive performance.

Keywords: forage; nutrition; ruminants; supplementation



RESUMEN GRÁFICO



Composición nutricional del alimento base y de los suplementos FVH y FVO a 14 días de proceso

Material	MS %	PC %	Cen %	FDN %	FDA %
DB	17.53 ^b	11.57 ^b	12.24 ^c	60.72 ^b	31.06 ^b
FVH	11.54 ^a	16.65 ^a	6.54 ^b	42.13 ^a	18.89 ^a
FVO	11.48 ^a	15.75 ^a	5.41 ^a	43.24 ^a	19.27 ^a

Comportamiento productivo de ovinos en fase de levante suplementados con FVH y FVO.

Variable	T0 (DB)	T1 (FVH)	T2 (FVO)	EE	p
Peso inicial	13.05	13.06	13.01	-	-
Peso final	15.40	16.72	16.62	-	-
Ganancia de peso total GPT (kg)	2.35 ^a	3.66 ^b	3.61 ^b	0.28	0.0142
Ganancia diaria de peso (GDP g/día)	52.22 ^a	81.39 ^b	80.30 ^b	6.21	0.0141
Consumo Total de alimento (CTA kg MS/día)	1.05 ^a	1.33 ^b	1.27 ^b	0.05	0.0012
Conversión alimenticia (CA)	5.13 ^a	3.23 ^b	3.27 ^b	0.37	0.0089
Eficiencia alimentaria (EA)	0.050 ^a	0.063 ^a	0.061 ^a	0.02	0.1826

1. INTRODUCCIÓN

El sector ganadero en el departamento del Putumayo es de gran importancia para la economía de la región. La población de ovinos en el año 2020 ascendió a 4306 animales (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2020), siendo una población relativamente baja en comparación con el inventario bovino. Se considera a la ovinocultura como una actividad productiva en crecimiento, generadora de ingresos y, desde el punto de vista social, puede tomarse como una iniciativa de reconversión productiva y de impulso a pequeños productores que no cuentan con áreas extensas de terreno para pastoreo.

Relacionado con lo anterior, la producción de forrajes en el trópico se ha convertido en una de las principales limitantes para la alimentación animal. Las pasturas tropicales, obtenidas en los suelos amazónicos, se caracterizan por presentar bajos rendimientos productivos y baja calidad nutricional. Por lo tanto, los ganaderos se ven en la necesidad de buscar nuevas alternativas que permitan mejorar la oferta alimenticia (Ramírez y Soto, 2017). Las variaciones climáticas, comúnmente presentadas en zonas tropicales, conducen a la baja calidad nutricional de

la base forrajera utilizada en la producción pecuaria. Esta es la razón por la cual se utilizan dietas suplementarias (Espinoza et al., 2004). Sin embargo, la suplementación con alimentos comerciales crea una alta dependencia de insumos externos que limitan la rentabilidad del productor. Por lo anterior, la producción de forraje de manera no convencional se convierte en una alternativa viable para obtener alimento de alto valor nutricional en pequeños espacios y a bajo costo (Gamero, 2015).

Una alternativa para contrarrestar la baja oferta forrajera es la implementación de los cultivos sin suelo, en estos se germinan semillas de gramíneas y leguminosas de forma rápida y con buenos rendimientos en producción de biomasa verde. El maíz ha sido uno de los principales materiales utilizados para este proceso. Como resultado de este tipo de plantaciones están la producción de forraje verde hidropónico (FVH) y de forraje verde organopónico (FVO), que se realizan por medio de labores livianas que no demandan demasiado tiempo y fuerza de trabajo. Este sistema tiene como una de sus ventajas optimizar el uso de espacios reducidos y de suelos no aptos para producción de forrajes u otros cultivos (Guerrero y Narváez 2019). Se considera, además, como una

actividad complementaria y no competitiva con la producción convencional de forrajes (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2001). Adicionalmente, se ha demostrado que este tipo de suplementación incrementa el consumo de alimento, la degradabilidad ruminal y digestibilidad total en el ganado ovino y caprino (Boccanera, 2017).

La producción de FVH, específicamente, permite suministrar alimento de alto valor nutricional de manera constante (Paipa et al., 2020), se puede producir en lugares con condiciones climatológicas adversas o en sitios donde no se cuenta con oferta permanente de forraje verde (Martínez, 2019). Desde el punto de vista económico, Narváez et al. (2019) aseguran que la inversión inicial para el montaje y producción de FVH puede resultar elevado; sin embargo, los beneficios a corto, mediano y largo plazo son superiores en términos de rendimiento productivo. Ante dichas circunstancias, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con FVH y FVO en ovinos en la fase de levante, en el piedemonte amazónico del Departamento del Putumayo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en las instalaciones del Criadero Ovino Campanita S.A.S – Corderos de la Amazonía, ubicado en la Vereda Los Guadales del Municipio de Mocoa, departamento del Putumayo, entre las coordenadas 01° 05' 16" latitud norte y 076° 37' 53" latitud sur, con una altitud de 670 msnm, temperatura promedio de 24°C, humedad relativa del 85 % y una precipitación

de 4135 mm anuales con 150 a 200 días de lluvia (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2018) condiciones que corresponden a la zona vida de bosque muy húmedo tropical (Holdridge, 1978).

Área experimental

La producción de FVH y FVO se realizó en un invernadero de 72 m con cubierta en policarbonato de 3.5m de altura y paredes laterales en ladrillo de 1.2m de alto. Debido a las condiciones climáticas de la zona se cubrió con malla polisombra del 35 %, desde la base hasta la cubierta, con el objetivo de controlar plagas, roedores y aves que pudieran afectar los cultivos. En el interior se colocaron estructuras metálicas desarmables de 1,20 m de ancho y 1,2 m largo x 1,8 m de alto, con capacidad para soportar 20 bandejas de polietileno (de 59 cm de largo x 80 cm de ancho) de color negro, acanaladas y perforadas, en las cuales se realizó el proceso de germinación.

Manejo del cultivo

La producción de FVH se inició con la desinfección de las semillas (maíz amarillo, híbrido, FNC 115) con una solución de hipoclorito de sodio al 0,05 % durante 2 minutos. Posteriormente se realizó el proceso de pregerminación, que consistió en dejar las semillas durante 24 horas en agua. Transcurrido este tiempo se realizó la siembra con una proporción de 2,2 kg de maíz/m². Las bandejas se cubrieron con un plástico negro durante 24 horas. Pasado este periodo se descubrieron y se proporcionó riego constante con la solución nutritiva planteada por Ramírez y Soto (2017) (Tabla 1) hasta el día 14 del proceso, en el que se realizó la cosecha.

Tabla 1. Composición de la solución nutritiva elementos mayores para 1000 litros.

	N ppm	P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O ppm	Ca ppm	Mg ppm			
Solución Nutritiva	208	65	242	212	40			
	S ppm	Fe ppm	Mn ppm	B ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mo ppm	Cl ppm
Solución Nutritiva	1.4	2.8	0.13	0.12	0.10	0.11	0.003	0.33

Fuente: Autores



Para la producción del FVO se cumplieron exactamente los pasos antes mencionados, con la salvedad de que (sobre la bandeja) se aplicó una capa de 0,3 cm de abono orgánico tipo lombricompost (Tabla 2), el cual sirvió

como sustrato para el cultivo. Se realizaron riegos periódicos sin la adición de nutrientes. Los forrajes se cosecharon a los 14 días cuando alcanzaron una altura promedio de 27 cm.

Tabla 2. Composición del Lombricompost.

	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	S %	B %	Fe %
Solución Nutritiva	2.49	0.53	4.52	2.08	1.68	0.21	0.008	0.75

Fuente: Autores

Producción de biomasa

Posterior a los 14 días de germinación, tanto para FVH y FVO, se determinó la producción de biomasa total y se midió la altura, siguiendo la metodología descrita por Vargas-Rodríguez (2008).

Calidad nutricional

Durante la fase experimental se recolectaron muestras de FVH y FVO directamente de las bandejas de germinación, antes del suministro a los animales. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de aguas, suelos y biotecnología del Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima del Sena, Regional Putumayo, en el que se secaron en una estufa de ventilación forzada a una temperatura de 65 ° C durante 72 horas. Las muestras fueron molidas por medio de un molino estacionario con una criba de 1 mm y, posteriormente, enviadas al laboratorio de nutrición animal del Centro de Investigación Tibaitata de Agrosavia. Allí se determinó el porcentaje de Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Cenizas, Fibra detergente neutro (FDN) y Fibra detergente ácido (FDA) en las muestras, mediante la técnica de espectroscopía de reflectancia en infrarrojo cercano (NIRS) (Ariza-Nieto et al., 2018).

Animales experimentales

Se seleccionaron 12 corderos machos enteros de la raza Dorper en fase de levante (90 días de edad ±5 días), con un peso promedio inicial de 14,62 kg, los cuales se distribuyeron para tres tratamientos. Previo al inicio del experimento, los animales se desparasitaron con un producto comercial a base de Fenbendazol y se alojaron en corrales individuales provistos de comederos

y bebederos con agua ad libitum, en los que tuvieron un periodo de adaptación de 12 días. La fase experimental tuvo una duración de 45 días, en los que el nivel de suplementación fue del 6.9 % del PV con las dietas propuestas.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos evaluados fueron: T0 (Dieta base): 100 % Forraje de *Pennisetum purpureum*; T1: 70 % *Pennisetum purpureum* + 30 % de FVH; y T2: 70 % *Pennisetum purpureum* + 30 % FVO. Se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento, en los que la unidad experimental consistió en un cordero, dando un total de 12 animales.

VARIABLES EVALUADAS

Ganancia de peso total (GPT) y Ganancia Diaria de Peso (GDP). Los ovinos se pesaron individualmente al inicio y semanalmente hasta el final del ensayo, con una báscula electrónica de brazo marca Fuller Machinery (BASC-SHR5), y, mediante estas mediciones, se estimó la GPT a través de la siguiente ecuación: $GPT = \text{Peso final} - \text{Peso inicial}$; mientras que la ganancia diaria de peso (GDP) se calculó mediante la ecuación $GDP = (\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{Número de días experimentales}$.

Consumo total de Alimento (CTA). El consumo de alimento se determinó mediante la diferencia entre el forraje ofrecido y el residual aplicando la siguiente ecuación: $CTA = (\text{alimento suministrado} - \text{alimento rechazado})$ (Saguilán et al., 2020).

Conversión alimenticia (CA) y eficiencia alimenticia (EA): La conversión

alimenticia (CA) se estimó mediante la relación entre el consumo de alimento (Kg) y la ganancia diaria de peso (kg) (Sanchez et al. 2009), mientras que la eficiencia alimenticia (EA) se estableció mediante la GDP y el consumo de materia seca Kg / MS (Pérez et. al., 2011).

Análisis estadístico. Una vez se verificó que los datos cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad, tras aplicar las pruebas de Shapiro y Bartlett, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), ajustado a un Diseño Completamente al Azar (DCA) por medio del paquete estadístico Minitab 16 (Minitab, s.f.). Las fuentes de variación fueron: modelo, tratamientos y error. Para las comparaciones entre los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey, con una significancia de 5 %. El modelo matemático que describió el diseño fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$$

En el que **Y_{ij}** es el efecto del tratamiento; **μ** es la media general; **T_j** es el efecto del j-ésimo tratamiento; **e** es el error aleatorio de la ij-ésima repetición que recibió el j-ésimo tratamiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa

El mayor rendimiento en producción de biomasa se obtuvo en el FVH, con 6.36 kg de forraje por kg de semilla; por su parte, el FVO alcanzó 5.24 kg, encontrándose diferencias ($p < 0.05$) en los dos modelos de obtención de forraje verde evaluados (Tabla 3). De acuerdo con Vargas-Rodríguez (2008), el rendimiento óptimo en la producción de forrajes, usando sistemas hidropónicos, se da cuando la relación entre la biomasa obtenida y la semilla germinada es de 5:1, para el FVH la relación encontrada fue de 6.36:1 y para el

FVO de 5.24:1. Esta relación en la producción de forraje verde puede variar dependiendo de la calidad de semilla y de la solución nutritiva empleada en el proceso, indicando que el aporte de la solución de macro y micronutrientes utilizada en la producción de FVH fue más completa que el aporte de nutrientes del cultivo organopónico de maíz proveniente del abono orgánico.

La producción de biomasa en el cultivo hidropónico fue similar a la reportada por Osorno y González (2012) y Tarrillo (2007), quienes aseguran que se puede obtener de 6 a 8 kg de masa forrajera totalmente consumible a partir de 1 kg de semilla. Elizondo (2005) relaciona producciones de hasta 9 kg de biomasa, sin embargo, en la presente investigación no se logró obtener tales rendimientos. Por otra parte, Espinosa (2019) reporta que a los 12 días de cosecha el maíz híbrido alcanza un rendimiento de 4.4 kg de forraje. Se debe considerar que la semilla utilizada en este estudio fue un maíz híbrido FNC 115, en el que el FVO no se recibió solución nutritiva, evidenciando un alto rendimiento de biomasa (5.24 kg) a partir de abono orgánico (tipo lombricomposta) como sustrato.

El medio de cultivo no influyó en la altura de las plantas de maíz ($p > 0.05$), registrando valores de 27.80 cm y 27.48 cm respectivamente para FVH y FVO (Tabla. 3). La altura de las plantas producidas en sistemas hidropónicos u organopónicos se relaciona directamente con el rendimiento en producción de biomasa vegetal y se considera como un criterio de cosecha cuando esta alcanza los 25 cm (Bombana y Gai, 2019). En el presente estudio, a los 14 días de germinación la altura fue superior al valor de referencia antes mencionado, posiblemente por las condiciones donde se realizaron los montajes y por el tipo de semilla empleada.

Tabla 3. Producción de biomasa de maíz a los 14 días de establecido.

Variable	FVH	FVO	Estadístico T	P
Biomasa (kg*)	6.36 a	5.24 b	3.88	0.0047
Altura (cm)	27.80 a	27.48 a	0.70	0.4992

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)
*kg de forraje verde por kg de semilla germinada



Ramírez y Soto (2017) reportan una altura promedio de 28.13 cm en FVH de maíz, con dos niveles de fertilización mineral en 11 días de proceso. Por otra parte, Morales et al. (2012) encontraron a los 8 días de cosecha una altura de 19.5 cm y Vargas-Rodríguez (2008) asegura que a los 12 días de cosecha la altura fue de 22 cm. De igual manera, Chavarria-Torrez y Castillo-Castro (2018) reportan una altura promedio de 25 cm a los 14 días del proceso. La importancia de considerar la altura radica en las necesidades del productor, ya que a mayor altura habrá mayor biomasa verde disponible para cubrir los requerimientos de los animales.

Composición nutricional del alimento base y de los suplementos FVH y FVO.

En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis bromatológico de los tratamientos evaluados. Se encontraron diferencias ($p < 0.05$) para el contenido de materia seca (MS) entre el FVH y FVO con la dieta base. La MS del material vegetal obtenido mediante sistemas hidropónicos tiende a aumentar con los días de germinación; sin embargo, la gramínea *Pennisetum purpureum* (DB) presentó el mayor contenido de MS con

17.53%, debido posiblemente a la edad de corte que presentaba el cultivo (45 días), seguida del FVH con 11.54% y del FVO con 11.48%. La MS de los forrajes tiene importantes implicaciones desde el punto de vista nutricional y alimenticio, ya que en la medida que aumenta el contenido de MS, aumenta la densidad de los nutrientes (Naranjo y Cuartas, 2011).

Con respecto al porcentaje de PC, se encontraron diferencias ($p < 0,05$) entre la dieta base y los suplementos evaluados. El mayor contenido de PC se encontró en el FVH con 16.65 %, relacionándose posiblemente con la fertilización a base de la solución de micro y macronutrientes, mientras que el FVO presentó una PC de 15.75 %, evidenciando que existe una relación proporcional entre el tipo de fertilización y el contenido de proteína del forraje. Los valores encontrados en el presente estudio fueron superiores a los reportados por Salas-Pérez et al. (2010) quienes, al utilizar solución nutritiva para la producción de FVH de maíz, obtuvieron 13.25 % de PC, mientras que, al aplicar té de composta, los tenores proteicos reportados disminuyeron a un 13%.

Tabla 4. Composición nutricional del alimento base y de los suplementos FVH y FVO a los 14 días de proceso

Material	MS %	PC %	Cen %	FDN %	FDA %
DB	17.53 a	11.57 b	12.24 a	60.72 a	31.06 a
FVH	11.54 b	16.65 a	6.54 b	42.13 b	18.89 b
FVO	11.48 b	15.75 a	5.41 c	43.24 b	19.27 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

MS: Materia seca, PC: Proteína cruda, Cen: Cenizas, FDN: Fibra detergente neutro, FDA: Fibra detergente ácido
DB: Forraje de *Pennisetum purpureum*

Fuente: autores

En el presente estudio se obtuvieron valores de proteína superiores para el FVH y FVO en comparación con la dieta base, indicando que es recomendable la implementación de estos suplementos en sistemas de producción de pequeños rumiantes. Trevizan y Challapa (2020), compararon el rendimiento productivo del FVH del maíz criollo vs maíz comercial, encontrando un contenido de PC máximo de 15.38 %. Por otra parte, Chavarria-Torrez y Castillo-Castro (2018) reportan contenidos de PC de 16 %, y López-Aguilar et al. (2009) entre 15,2 % y 15,8 % para FVH de maíz

cosechado a los 14 días. Sin embargo, es importante considerar que el contenido de PC de estos forrajes tiende a disminuir, a medida que avanza la edad de maduración del cultivo, Müller et al. (2005) encontraron contenidos de PC en FVH de maíz a los 12 días de 17.4 %, y de 13.4 % a los 14 días, demostrando una disminución significativa.

La aplicación de solución nutritiva afectó el contenido de cenizas del FVH en comparación con el FVO, el análisis estadístico demostró diferencias ($p < 0.05$) en la concentración

mineral de los cultivos. La cantidad de cenizas fue de 6.54 % y 5.41 % para FVH y FVO respectivamente, mientras que la dieta base presentó un porcentaje de 12.24 %. Los resultados aquí encontrados coinciden con Maldonado et al. (2013), quienes aseguran que la cantidad de cenizas que contiene el forraje se incrementan con el suministro de nitrógeno. Esto demuestra la influencia de la solución macro y micromineral empleada en la producción del FVH. Sin embargo, los resultados obtenidos para el FVO, el cual recibió una fertilización orgánica, demostraron que el rendimiento productivo en biomasa y altura son similares a los obtenidos con una fertilización que contenga soluciones nutritivas. Ramírez y Soto (2017) afirman que no es necesario el uso de soluciones nutritivas en la producción de FVH para cosechas de 11 días, evidenciando el uso de fertilizantes orgánicos como alternativa útil de producción de cultivos hidropónicos y organopónicos.

Con relación a las fracciones de fibra, el tratamiento que mayor porcentaje presentó fue el T0 (dieta base) con 60.72 % FDN y 31.06 % FDA. El análisis de varianza demostró diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre los tratamientos T1 (FVH) y T2 (FVO) con la dieta base analizada. Entre los suplementos (FVH y FVO) no se encontraron diferencias para los contenidos de FDN y FDA. Los resultados obtenidos confirman que la cantidad de fibra en las plantas jóvenes es relativamente baja si se compara con plantas maduras, ya que la estructura de la fibra tiende a cambiar a medida que la edad de la planta avanza, debido a que aumenta el contenido de lignina y por lo tanto su digestibilidad tiende a

disminuir. Posiblemente, esto está relacionado con el bajo rendimiento en las variables de productividad animal presentadas por la dieta base, en comparación con la inclusión de 30 % de FVH y FVO de maíz para la alimentación de ovinos en fase de levante.

En síntesis, de acuerdo con lo encontrado en el presente estudio, la suplementación con FVH y FVO de maíz, por ser alimentos con elevado aporte de nutrientes, los convierten en una alternativa viable para implementarse en los sistemas de producción, permitiendo, de esta forma, corregir las deficiencias nutricionales de los forrajes empleados en pastoreo.

Ganancia de peso total (GPT) y ganancia diaria de peso (GDP).

La suplementación con FVH y FVO de maíz influyó en el desempeño productivo de los animales ($p < 0.05$). En este sentido, los ovinos que recibieron FVH y FVO registraron una GPT de 3.66 y 3.61 kg respectivamente, difiriendo de las ganancias registradas en los animales del T0 (2.35 kg). Así mismo, se observó que las ganancias diarias de peso fueron mayores ($p < 0.05$) en los animales que recibieron FVH y FVO, los cuales presentaron valores medios de 81.39 y 80.30 g/día, respectivamente. En cuanto al consumo total de alimento (CTA), conversión alimenticia (CA) y eficiencia alimenticia (EA), el análisis también detectó diferencias ($p < 0,05$), siendo los animales suplementados con FVH y FVO los que expusieron los mayores consumos, y mejores conversión y eficiencia alimenticia (Tabla 5).

Tabla 5. Comportamiento productivo de ovinos en fase de levante suplementados con FVH y FVO.

Variable	T0 (DB)	T1 (FVH)	T2 (FVO)	EE	P
Peso inicial	13.05	13.06	13.01	-	-
Peso final	15.40	16.72	16.62	-	-
Ganancia de peso total GPT (kg)	2.35 b	3.66 a	3.61 a	0.28	0.0142
Ganancia diaria de peso (GDP g/día)	52.22 b	81.39 a	80.30 a	6.21	0.0141
Consumo Total de alimento (CTA kg MS/día)	1.05 b	1.33 a	1.27 a	0.05	0.0012
Conversión alimenticia (CA)	5.13 a	3.23 b	3.27 b	0.37	0.0089
Eficiencia alimentaria (EA)	0.050 a	0.063 a	0.061 a	0.02	0.1826

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)
EE: Error estándar

Fuente: Autores



El suministro de FVH de maíz aporta proteínas, minerales y vitaminas altamente asimilables porque estos nutrientes no se encuentran tan solubles en el grano seco. Las vitaminas y minerales juegan un papel importante en la fertilidad y productividad, sumado al aporte proteico que se refleja en la ganancia de peso total de los animales. En los sistemas de alimentación de ovinos en los que se incluyó el 30 % de FVH se reportan ganancias de peso de hasta 4.82 kg (Castellón y Torrez, 2018), superiores a las encontradas en esta investigación. Por otra parte, Sánchez et al. (2013) informan que los corderos pueden llegar a consumir hasta el 3.7 % de su peso vivo en materia seca de FVH. Sin embargo, Arano (1998) menciona que la dieta debe complementarse con una fuente de fibra para evitar problemas de timpanismo.

El contenido de PC no difiere en gran medida en los dos suplementos probados (16.65 % FVH y 15.75 % FVO). Sin embargo, la composición nutricional del FVH tiende a ser mejor, lo que podría sugerir una mayor producción de ácidos grasos volátiles a nivel ruminal, atribuyendo la diferencia en la GDP, entre los tratamientos evaluados, a la composición nutricional de los suplementos. Acosta-Lozano et al. (2018) reportan ganancias diarias de peso superiores, en caprinos en fase de levante - ceba, tras incluir biomasa hidropónica de maíz (84,54 g/día), en comparación con los caprinos alimentados con un suplemento a base de maíz y concentrado comercial (81,71 g/día). Los resultados anteriores indican que los suplementos compuestos por FVH y FVO, por ser alimentos de alta degradabilidad, pueden contribuir a mejorar la actividad de las bacterias celulolíticas y, de esta manera, mejorar la relación energía-proteína disponible en el rumen, favoreciendo el crecimiento microbiano y los productos de la fermentación ruminal (Naik et al., 2014).

Consumo total de alimento (CTA)

Se encontraron diferencias estadísticas para la variable Consumo Total de Alimento (CTA) ($p < 0.05$). El mayor consumo (1.33 kg MS/día) se obtuvo en el tratamiento T1 (FVH) y fue similar ($p > 0.05$) al obtenido en el T2 (1.27 kg MS/día), pero diferente y superior a ($p < 0.05$) a los valores encontrados en

el tratamiento T0 (1.05 kg MS/día). Estas diferencias en el CTA se pueden atribuir a la palatabilidad del FVH, al ser un producto del desdoblamiento del almidón en azúcares simples durante el proceso de germinación (Azócar et al., 2007).

El consumo de materia seca se puede ver afectado por las variables de la composición nutricional de la dieta, ya que, cuando el contenido de fibra es elevado, el alimento se vuelve poco apetecible para el animal. Las fracciones de FDN presentes en el FVH (T1) fueron de 42.13 % y 43.24 % para el FVO (T2); mientras que la dieta base (T0) presentó una FDN de 60.72 %, corroborando la importancia del contenido de fibra en el consumo total de alimento. Herrera et al. (2007) reportaron un consumo de MS promedio de 0.489 kg/día al evaluar el efecto de la suplementación con forraje hidropónico de maíz en ovinos mestizos en crecimiento, los cuales fueron valores inferiores a los registrados en esta investigación. Por otra parte, Morales (2017) encontró que al incluir 40 y 50 % de FVH en la dieta de ovinos de pelo, el consumo de MS fue de 1.32 y 1.50 kg/día respectivamente, indicando que la suplementación con el 30 % FVH y/o FVO de maíz permite obtener un CTA superior al que presentan los animales en pastoreo sin ningún tipo de alimentación complementaria.

Conversión alimenticia (CA) y eficiencia alimenticia (EA)

Con relación a la conversión alimenticia (CA), se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos T1 y T2 con valores de 3.23 y 3.27, respecto al T0 con un valor de 5.13; la mejor CA se presentó en el T1 (FVH), lo que sugiere que, por cada kg de peso que ganaron los ovinos, su consumo fue de 3.23 kg de alimento. Los resultados encontrados en esta investigación coinciden con los datos obtenidos por Castellón y Torrez (2018), quienes reportan una CA de 3.55 al incluir 30 % de FVH de maíz en la dieta de ovinos; mientras que en un sistema de alimentación basado en el 100 % de pastoreo de gramíneas, la conversión alimenticia fue de 8.99. Por otra parte, Acosta (2016) reportó una CA de 7.12 en animales alimentados con concentrado comercial y maíz. Hay que anotar que valores bajos de CA indican que el rendimiento productivo será superior, ya que

se requiere una menor cantidad de alimento para ganar 1 kg de peso (Águila, 2020). De esta manera, se recomienda incluir, en un 30 % del total de la dieta de los ovinos, planes de suplementación basados en el suministro de FVH y FVO de maíz, otros cereales y demás materiales disponibles en la zona donde se desarrolle la actividad productiva.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, se puede afirmar que la inclusión de FVH como suplemento nutricional, en las dietas convencionales basadas en el consumo de forrajes principalmente gramíneas, es una de las alternativas productivas más eficientes en la actualidad (Salas-Pérez et al. 2010); ya que, al igual que el FVO, se produce en espacios reducidos, la dependencia de insumos externos es mínima y las variaciones climáticas no afectan su producción, manteniendo una oferta permanente de alimento de alto valor nutricional.

La eficiencia alimentaria (EA) no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados, encontrándose para el T1 (FVH) un valor de 0.063; 0.061 para el T2 (FVO); y para la dieta base (T0) un valor de EA de 0.050; indicando que la ganancia de peso no fue lo suficientemente significativa con relación al consumo de alimento. Unos resultados similares reportaron Ruiz-Sesma et al. (2006) al evaluar el comportamiento productivo de ovinos de pelo, con la inclusión de diferentes niveles de heno de *Hibiscus rosa-sinensis*, obteniendo una EA promedio de 0.079. Por otra parte, Pérez et al. (2011), al evaluar un sistema de alimentación intensiva en condiciones de estabulación con ovinos de pelo, reportan una eficiencia alimenticia de 0.193. Mostrando, de esta manera, que es necesario ofrecer a los ovinos una dieta rica en carbohidratos solubles, que estén disponibles para la microbiota ruminal, y de esta manera cubrir de manera eficiente los requerimientos energéticos de mantenimiento y crecimiento en los animales. 

CONCLUSIONS

El tipo de fertilización no tuvo influencia significativa en la altura de los forrajes, teniendo en cuenta que uno de los criterios más importantes para la cosecha es la altura de la planta (cuando esta alcanza los 25 cm).

Los dos tipos de producción de forraje verde (hidropónico y organopónico) presentaron valores superiores: 27.80 cm para FVH y 27.48 cm para FVO, indicando que el FVO es una alternativa viable para implementarse como suplemento nutricional para ovinos, ya que fomenta el uso de abonos orgánicos y así propende por sistemas sostenibles de producción animal.

El análisis bromatológico demostró que MS, PC, FDN y FDA no presentan diferencias en los dos sistemas de producción de forraje, infiriendo que la solución nutritiva empleada en la producción de FVH no afectó

su composición nutricional. Sin embargo, el contenido de cenizas sí se afectó por la solución nutritiva, corroborando que los minerales del forraje se incrementan cuando la fertilización nitrogenada es alta.

La inclusión del 30 % de FVH o FVO de maíz en la dieta de ovinos en fase de levante, basada en el pastoreo de gramíneas tropicales, afectó de manera positiva el comportamiento productivo, mejorando la ganancia de peso diaria y total, sin afectar el consumo total de alimento, la conversión y eficiencia alimenticia. Por consiguiente, la producción de FVH y FVO se presenta como una alternativa factible de suplementación de los ovinos en condiciones tropicales. Sin embargo, se sugiere realizar más estudios que impliquen el uso de otras semillas y sustratos que permitan mejorar el rendimiento productivo del cultivo y, por ende, la respuesta animal. 



CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Juan Pablo Narváez Herrera: Investigación, metodología, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original, revisión y edición. **Elizabeth Marcela Guerrero Guerrero:** Investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, borrador original.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA], Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima (Regional Putumayo), al Sistema de Investigación Desarrollo Tecnológico e Innovación [SENNOVA] y a la empresa criadero Ovino Campanita SAS – Corderos de la Amazonia, por facilitar sus instalaciones para realizar el trabajo de campo de esta investigación.

LITERATURA CITADA

Acosta, N. V. (2016). Evaluación de la biomasa hidropónica de maíz como alimento para caprinos criollos en crecimiento-ceba [Tesis Doctoral, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.]. DSpace@UCLV. https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7320/Nestor%20Acosta_Tesis%20PhD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Acosta-Lozano, N., Lima-Orozco, R., González-Asencio, M. F., Quinteros-Freire, C., Masaquiza-Moposita, D., Ayala, L., Vargas-Burgos, J., Ortiz-Nacaza, P. y Andrade-Yucailla, V. (2018). Comportamiento biproductivo de caprinos criollos en crecimiento-ceba alimentados con biomasa hidropónica de maíz en el Litoral ecuatoriano. *Redvet*, 19(7), 1-13. www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070718.html

Águila, R. (2020). La incomprendida conversión alimenticia. *Porcicultura.com*. <https://www.porcicultura.com/destacado/La-incomprendida-conversi%C3%B3n-alimenticia>

Arano, R. (1998). *Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra: una guía práctica para los interesados en la hidroponía moderna*. Universidad de Buenos Aires.

Ariza-Nieto, C., Mayorga, O. L., Mojica, B., Parra, D. & Afanador-Tellez, G. (2018). Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 26(1), 44-52. <https://www.osapublishing.org/jnirs/abstract.cfm?URI=jnirs-26-1-44>

Azócar, P., Manterola, H., Mira, J., Rojo, H. y Bravo, S. (2007). Respuesta productiva de cabras criollas en lactancia, alimentadas con forraje hidropónico. *Avances en producción animal*, 32(1-2), 83-94. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/31678/Respuesta%20productiva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Boccanera, M. (2017). *Utilización de Forraje Verde Hidropónico en dietas para caprinos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de La Plata]. Sedici. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/61201/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bombana, W. A., y Gai, V. F. (2019). Cultivo de milho hidropônico com diferentes adubações. *Revista Cultivando o Saber*, 12(4), 49-57. https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/5dfbdca228c37.pdf

Castellón, M. y Tórrez, F. (2018). Inclusión de forraje verde hidropónico en la alimentación de ovinos en desarrollo y su efecto en el comportamiento productivo, Finca Santa Rosa, Managua, 2017 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria. Archivo digital. <https://1library.co/document/y863rrwq-inclusion-forraje-hidroponico-alimentacion-desarrollo-comportamiento-productivo-managua.html>

Chavarria-Torrez, A. y Castillo-Castro, S. (2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(8), 1032-1039. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716>

Elizondo, J. (2005). Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la

alimentación animal. *ECAG-informa*, (32), 36-39

Espinosa, W. (2019). Evaluación de densidades de siembra en maíz, arroz y frijol vigna en la producción de forraje verde hidropónico. *Investigaciones Agropecuarias*, 1(2), 15-27. https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/493/403

Espinoza, F., Argenti, P., Urdaneta, G., Araque, C., Fuentes, A., Palma, J. y Bello, C. (2004). Uso del forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. *Zootecnia tropical*, 22(4), 303-315. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692004000400001

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2001). *Manual técnico: forraje verde hidropónico*. Oficina Regional de la FAO para América latina y el Caribe.

Gamero, C. J. (2015). *Evaluación de gramíneas y leguminosas de trópico alto en cultivo hidropónico como alternativa de producción orgánica para la nutrición animal* [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/215>

Martínez, F. (2019). *Forraje Verde Hidropónico (F. V. H) para alimentación de animales*. https://infopastosyforrajes.com/suplementacion/forraje-verde-hidroponico/#Descargar_el_Documento

Guerrero, E. y Narváez, J. (2019). *Efecto de la suplementación con forraje verde hidropónico y germinado orgánicos en la alimentación animal*. *Entelequia*, 1(3), 6.

Herrera, A. M., Depablos, L. A., López, R., Benezra, M. A. y Ríos, L. (2007). Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje Hidropónico de Maíz (*Zea Mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. *Revista científica*, 17(4), 372-379. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95917409>

Holdridge, L. R. (1996). *Ecología basada en las zonas de vida*. – Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>

Instituto Colombiano Agropecuario (2020). *Censo Pecuario año 2020*. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). Subdirección de meteorología. estación seleccionada se ubica en las siguientes Coordenadas Geográficas: 04°11' latitud Sur, 69°56' longitud Oeste, elevación: 84 m.

López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B. y Rodríguez-Quezada, G. (2009). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34(2), 121-126. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000200009

Pérez, E. J., García, M. C., Albares, S., Sosa, R. y Velasco, H. L. (2011). Parámetros productivos de ovinos de pelo en un sistema de alimentación intensiva en la región central de Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(12), 7-13. https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACERCIENTIFICO-2011-jul-dic/Parametros_productivos_de_ovinos_de_pelo.pdf

Maldonado, R., Álvarez, M., Acevedo, D. C. y Ríos, E. (2013). Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 19(2), 211-223. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053>

Minitab. (s. f.). *Minitab statistical software*. www.minitab.com/en-us/products/minitab/

Morales, J. A. (2017). Evaluación del consumo de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*), en ovinos de pelo en desarrollo estabulados en el municipio de Chimaltenango, Chimaltenango [Tesis de



- pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional USAC. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12415/>
- Morales, H. J., Gómez-Danés, A. A., Juárez, P., Loya, L. y de Coss, A. (2012). Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (*Zea mays* L.) con diferente concentración de solución nutritiva. *Abanico veterinario*, 2(3), 20-28.
- Müller, L., Manfron, P. A., Santos, O. S., Medeiros, S. L. P., Haut, V., Neto, D. D., Fagan, E. V. y Bandeira, A. H. (2005). Produção e composição bromatológica da forragem hidropônica de milho, *Zea mays* L., com diferentes densidades de semeadura e datas de colheita. *Zootecnia Tropical*, 23(2), 105-119. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692005000200002
- Naik, P. K., Dhuri, R. B., Karunakaran, M., Swain, B. K. & Singh, N. P. (2014). Effect of feeding hydroponics maize fodder on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows. *Indian Journal of Animal Sciences*, 84(8), 880-883. https://www.researchgate.net/publication/288748815_Effect_of_feeding_hydroponics_maize_fodder_on_digestibility_of_nutrients_and_milk_production_in_lactating_cows
- Naranjo, J. F. y Cuartas, C. A. (2011). Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), 9-19. <https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428105002.pdf>
- Narváez, J., Gómez, G., Mena, C., Daza, L. y Bacca, S. (2019). Costos de producción del forraje verde hidropónico y germinado orgánico de maíz: Estudio de caso. *Entelequia*, 1(3), 5.
- Osorno, R. A. y González, L. M. (2012). *Producción y calidad de la biomasa de Zea mays, Sorghum bicolor, Oriza sativa en alfombra forrajera hidropónica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1459/1/tnf01o83.pdf>
- Paipa, L., Bernal, L., Conde, A., Quijano, N. y Bula, K. (2020). El forraje verde hidropónico: una alternativa sostenible en tiempos de cambio climático. *Ámbito Investigativo*, 5(2), 60-71. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1107&context=ai>
- Ramírez, C. y Soto, F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 79-91. <https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31301>
- Ruiz-Sesma, D. L., Lara-Lara, P. E., Sierra-Vázquez, Á. C., Aguilar-Urquiza, E., Magaña-Magaña, M. A. y Sanginés-García, J. R. (2006). Evaluación nutritiva y productiva de ovinos alimentados con heno de Hibiscus rosa-sinensis. *Zootecnia Tropical*, 24(4), 467-482. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692006000400006
- Saguilán, P. C., Aguirre, H. A., Martínez-Martínez, R. Gómez, A., Maldonado, M. A. y Ayala, M. A. (2020). Forraje verde hidropónico en dietas de cerdos en crecimiento en Pinotepa Nacional, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(24), 247-253. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2375>
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J., Álvarez-Reyna, V. P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., y Márquez-Hernández, C. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 355-360. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400007
- Sánchez, F., Moreno, E. C., Contreras, E. y Morales, J. (2013). Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 19(4), 35-43. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2013000400003
- Tarrillo, H. (2007). *Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal*.
- Trevizan, J. F. y Challapa, G. A. (2020). Comparación del rendimiento de forraje verde

hidropónico con maíz lluteño y maíz comercial, utilizando cuatro calidades de agua. Arica, Chile. *Idesia*, 38(3), 113-122. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300113>

Vargas-Rodríguez, C. F. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía mesoamericana*, 19(2), 233-240. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711425008.pdf>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



CÓMO CITAR

ÁREA AGRÍCOLA

Citación: Hernández, B., Castellanos, L. (2022). Caracterización agroquímica del suelo de 15 fincas con proyección hacia la transformación agroecológica, en el municipio Santa María, Boyacá. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 15 – 32.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3683>

Citación: García, J., Benavides-Cardona, C., Álvarez, D. (2022). Aplicación de Urea, DAP y KCl sobre almácigos de café (*Coffea arabica* L.) de la variedad Castillo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 33 -49.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4297>

Citación: Burbano, P., Valencia, A., Lagos-Burbano, T. (2022). Componentes de rendimiento en *Coffea arabica* L. en tres zonas altitudinales del sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 51 – 62.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4350>

Citation: Mastella, A.D.F., Gabira, M.M., Walter, L.S., Alves, R.C., Schneider, C.R., Souza, K.K.F., Kratz, D., Ângelo, A.C. (2022). Remineralizer and controlled-release fertilizer increase *Mimosa scabrella* Benth. seedlings growth. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 63 – 74.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4509>

Citación: Jarma-Orozco, A., Cordero-Cordero, C., Cleves-Leguizamo, J. (2022). Pigmentos fotosintéticos en *Stevia rebaudiana* Bert. en condiciones diferenciales de luz solar y fertilización nitrogenada en invernadero. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 75 – 88.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4528>

Citación: Rodríguez-Polanco, E., Bermeo, P., Segura-Amaya, J., Parra-Alferes, E. (2022). Caracterización y tipificación de los sistemas de producción de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) de las regiones Norte y Centro - Occidente de Tolima. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 89 – 107.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4583>

Citación: Munar, A., Rodríguez, A., Muñoz, J. (2022). Potenciales áreas cultivables de pasifloras en una región tropical bajo escenarios de cambio climático. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 109 - 129.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4637>

Citación: Jaime-Guerrero, M., Álvarez-Herrera, J., Fischer, G. (2022). Aspectos de la fisiología y el cultivo del lulo (*Solanum quitoense* LAM.) en Colombia. una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 131 – 148.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4641>

Citation: Vitar-Mendoza, J., Sandoval-Parra, K., Ortiz-Moreno, M. (2022). Land-cover change in the department of Vichada, Colombia, from 1985 to 2017. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 149 - 174.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4630>

ÁREA AMBIENTAL

Citación: Saldaña-Escorcía, R., Castillo Gámez, J. (2022). Alternativas de estabilización de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales, desde un enfoque sistémico: Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 175 - 194.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4504>

ÁREA PECUARIA

Citación: Vitola, D. Pérez, A., Montes, D. (2022). Utilización de microalgas como alternativa para la remoción de metales pesados. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 195 – 203.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4568>

Citación: Morales-Tejeiro, L. V., Trujillo-González, J. M., Torres-Mora, M. A. (2022). Identificación de los sistemas de suministro y disposición del agua en una comunidad rural. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 205 – 220.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4271>

Citation: Vargas, L., Prieto, L., Baquero, M., Corredor, W., Alcantara-Neves, N., Jaramillo-Hernández, D. (2022). Vaccines for gastrointestinal parasites, a pillar of preventive medicine in veterinary practice: Systematic review. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 221 - 251.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4544>

Citación: Narváez-Herrera, J. P. Guerrero-Guerrero, E.M. (2022). Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del piedemonte amazónico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 253 – 266.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4535>



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. Omite cargos, grados docentes, nombres de grupo de investigación, reconocimientos, etc.

Resumen

El resumen identifica el objetivo y expone de manera breve la metodología, los resultados y las conclusiones del estudio. No deberá exceder las 250 palabras, tampoco incluir citas bibliográficas o abreviaturas, excepto aquellas que sean ampliamente conocidas. Según sea el idioma original del manuscrito deberá incluirlo en un segundo idioma (inglés y español).

Palabras clave

Se sugiere emplear una lista de cuatro a siete palabras, presentadas en orden alfabético y separadas por punto y coma (;).

No repita palabras que se encuentren en el título. Evite el uso de palabras en plural y frases. Idealmente emplee palabras normalizadas o descriptores del tesoro AGROVOC, UNESCO y que sean aceptadas por bases de datos internacionales.

Resumen gráfico

Es una representación concisa y visual de los principales hallazgos de la investigación. Deberá permitir al lector comprender rápidamente la esencia del artículo e incentivar su lectura.

Será requisito que todos los artículos aceptados incluyan esta imagen.

Tablas y figuras

Las tablas deben explicarse por sí solas y no duplican lo planteado en el texto, sino que lo sustituyen o complementan.

Dentro del texto refiérase a la tabla de la siguiente forma, (Tabla 1). Presente los datos en una tabla real sin líneas y columnas, a espacio sencillo, sin divisiones verticales ni divisiones internas. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI). Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados como notas al pie en cada tabla. En ningún caso se admitirán tablas en formato apaisado.

Un ejemplo de la presentación de una tabla es:

Tabla 1. Ejemplo de la presentación de una tabla

Número de la muestra	Nombre	Apellido	Departamento
M1	Milton	Rodríguez	Cundinamarca
M2	Alberto	Ruiz	Cundinamarca
M3	Ricardo	Cadena	Cundinamarca

Fuente de consulta: adaptado de: XXXXX.

Dentro de la categoría de figuras se incluyen gráficos, imágenes, fotos, y cada una de ellas debe tener su correspondiente leyenda y fuente, en caso de ser de su propia autoría mencionarlo. Las abreviaturas y acrónimos deben ser explicados en la leyenda

de la figura. Las figuras deben ser enviadas en formato .jpg .gif o .png y deben tener la calidad necesaria para su publicación (más de 1024 píxeles). Un ejemplo de figura:

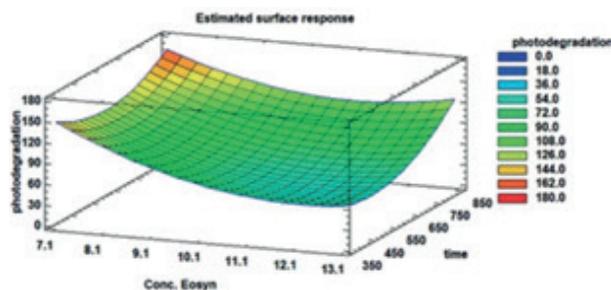


Figura 1. Título de la figura. Leyenda de la figura, el tipo de letra verdana tamaño 9.

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.

Format of the cited literature must follow the APA standards, in terms of citation of scientific articles, books, book chapters, Web pages, doctoral, master and undergraduate theses, reports, reports, etc.

Annexes

If you have figures that occupy a full page or additional relevant information from the study, but due to their length it is not possible to place it in the main text, we recommend to place this information as an annex to the document (Annex 1, Annex 2, etc.). This information will be linked to the web space, where your article will be hosted and, in the case of the printed version, it is managed with code QR.

*** It is suggested that the authors use the template designed for the articles submitted to the magazine:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about/submissions>