



Revista de **INVESTIGACIÓN** Agraria y Ambiental

Volumen 13 Número 2 • Julio - Diciembre de 2022
e-ISSN 2145-6453 - ISSN 2145-6097



Revista de INVESTIGACIÓN Agraria y Ambiental

Volumen 13, Número 2

Julio - Diciembre 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 CREAF-CSIC
Universitat Autònoma
de Barcelona, España.

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

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

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

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

XAVIER DOMENE
Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions
Forestals - CREAF. 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.

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



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



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



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



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



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



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



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



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



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





ProQuest conserva amplia y variada información, tanto de archivos históricos, como de los avances científicos actuales y maneja tecnologías digitales que optimizan la búsqueda, intercambio y gestión de la información. **THE AGRICULTURAL & ENVIRONMENTAL Science Database** de ProQuest es un recurso interdisciplinario de contenido de texto completo junto con la indexación experta de la literatura mundial en estos campos y disciplinas relacionadas. Cuenta con revistas revisadas por pares, publicaciones comerciales, revistas, literatura gris, documentos de trabajo, documentos de conferencias y procedimientos. Además, la base de datos de ciencias agrícolas y ambientales incluye declaraciones y resúmenes de impacto ambiental en texto completo y AGRICOLA, la base de datos bibliográfica de literatura científica agrícola líder en el mundo. La base de datos proporciona una solución única para la investigación agrícola y disciplinas afines que incluyen: economía agrícola, ciencias animales y veterinarias, acuicultura y pesca, agricultura y sistemas agrícolas, alimentación y nutrición humana, silvicultura, y ciencias vegetales.



OCLC (Online Computer Library Centre) es una cooperativa de 72,035 bibliotecas de 171 países con el doble objetivo de mejorar el acceso a la información y reducir el costo de las bibliotecas. El CRAI de la URV se unió a OCLC en mayo de 2014 cooperando con Worldcat Local. Más de 1.4 millones de artículos con acceso de un clic al texto completo (cuando los recursos están suscritos por la URV o son de acceso abierto) o las referencias bibliográficas que permiten ubicar u ordenar el artículo a través del servicio de préstamo interbibliotecario. Además, más de 40 millones de elementos digitales de fuentes confiables como Google Books y archivadores y repositorios digitales líderes como OAIster, ArchiveGrid y HathiTrust y con más de 25 millones de libros en bibliotecas de todo el mundo.



Directory of Open Access Journals (DOAJ) lista revistas de acceso libre, científicas y académicas, que cumplan con estándares de alta calidad al utilizar la revisión por pares o control de calidad editorial y que sean gratuitas para todos al momento de su publicación, sobre la base de la definición de acceso libre adoptada en la Budapest Open Access Initiative (BOAI).¹² El objetivo del DOAJ es "incrementar la visibilidad y facilitar el uso de revistas científicas y académicas de acceso libre, de manera que se promueve su mayor uso e impacto. Debido a que el acceso libre es un fenómeno mundial, el DOAJ incluye publicaciones de todo el mundo en muchos idiomas. Es posible navegar por las revistas o buscar por artículos en el interior de muchas revistas, por medio de una interfaz. En mayo de 2009, la base de datos bibliográfica contenía 4.177 revistas, de las cuales 1.531 estaban catalogadas a nivel de artículo.



AmeliCA es una infraestructura de comunicación para la publicación académica y la ciencia abierta, sostenida de forma cooperativa y centrada en el modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica. AmeliCA (premio Sparc a la innovación 2019) es impulsada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y liderada por el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) y un conjunto de instituciones académicas.



Open Academic Journals Index (OAJI) es una base de datos de texto completo de revistas científicas de acceso abierto. Fundador - International Network Center for Fundamental and Applied Research, Estados Unidos. La misión es desarrollar una plataforma internacional para indexar las revistas científicas de acceso abierto. El Índice Global Actual de la Revista (CGIJ) OAJI se crea teniendo en cuenta las tendencias y los desafíos mundiales actuales en el campo de la indexación de las revistas científicas. CGIJ OAJI considera las bases de datos de citas científicas (WoS, Scopus), así como la base de datos básica de acceso abierto (DOAJ).



ROAD es un servicio ofrecido por el Centro Internacional ISSN con el apoyo del Sector de Comunicación e Información de la UNESCO. Lanzado en diciembre de 2013, ROAD ofrece acceso gratuito a los registros bibliográficos de ISSN que describen los recursos académicos en Acceso Abierto: revistas, series monográficas, actas de congresos, repositorios académicos y blogs académicos. Estos registros, creados por la red ISSN (89 centros nacionales en todo el mundo + el Centro Internacional), se enriquecen con información extraída de bases de datos de indexación y abstracción, directorios (DOAJ, Latindex, registro de Keepers) e indicadores de revistas (Scopus).



Galardón obtenido por RIAA en el año 2018 como una de las revistas colombianas con mayor visibilidad internacional

REVISORES ACADÉMICOS

Volumen 13, Número 2, 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.

Abraham Loera Muro, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., México

Adriana Gonzales Almario, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Álvaro Alberto López, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Álvaro Enrique Alvarado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia

Ana Cristina De la Parra, Universidad de Cartagena, Colombia

Barlin Orlando Olivares, Universidad de Córdoba, España

Claudio César Hernández, Universidad Autónoma Chapingo, México

Dagoberto Armenta, INFOTEC - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México

Demian Kondo, Corporación colombiana de investigación agropecuaria, AGROSAVIA, Colombia

Didier Camilo Sierra, Universidad Sergio Arboleda, Colombia

Diego A. Meloni, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina

Diego F. Tirado, Universidad de Cartagena, Colombia

Elisabeth Meneses, Uniminuto - Corporación Universitaria Minuto de Dios, México

Elisabeth Ordoñez, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú

Esteban Pérez, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Fáber Danilo Giraldo, Universidad del Quindío, Colombia

Fernando Casanoves, CATIE - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

Fernando González, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Fernando Ramos, Universidad San Ignacio de Loyola, Perú

Fidel Ávila Ramos, Universidad de Guanajuato, México

Francisco Reyes Flores, Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

Gastón A. Castaño, UNISARC - Corporación Universitaria Santa Rosa de Cabal, Colombia

Gerson Meza, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Perú

Héctor Eduardo Hernández, Universidad de la Amazonia, Colombia

Helber A. Arévalo, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - UDCA, Colombia

Isabel Cristina Paz, Universidad del Tolima, Colombia

Jaime Salinas, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

Jorge Cadena, Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí, México

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

Julio Enrique Oney, CIATEJ - Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., México

Lourdes Macias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

Luis F. Aristizábal, Independent Consultant

Manuel Salas, Universidad Tecnológica del Chocó, Colombia

Sara Pérez, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

Siby Inés Garcés, Universidad Libre, Colombia

Soledad Martos, Universitat Autònoma de Barcelona, España

Verónica Estela Rui, Universidad Autónoma Chapingo, México

Wilberth Chan-Cupul, Universidad de Colima, México

William Fabián Teneda, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador





**REVISORES ACADÉMICOS -
VOLUMEN 13, NÚMERO 2, 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. ENFERMEDADES EMERGENTES Y REEMERGENTES DE PLANTAS EN LATINOAMÉRICA: UNA REVISIÓN

EMERGING AND REEMERGING PLANT DISEASES IN LATIN AMERICA: A REVIEW

Luz Adriana Pedraza, Fernanda Sánchez, Valeria Arias, María Fernanda Moreno, Ligia Consuelo Sánchez

15

2. EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE FENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)

EVALUATION OF THE CONTENT OF TOTAL PHENOLS AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF ETHANOLIC EXTRACTS OF COCOA SHELL (Theobroma cacao L.)

Karen Sirley Murcia, Maria del Rosario Castañeda

53

3. AGROBIODIVERSIDAD DE LEÑOSAS MULTIPROPÓSITO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS CAFETEROS

MULTIPURPOSE WOODY PLANTS DIVERSITY IN PRODUCTIVE COFFEE SYSTEMS

Iván A. Delgado-Vargas, William Ballesteros Possú, Vanessa Arellano Chungana

67



4. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RIZOBACTERIAS NATIVAS FIJADORAS DE NITRÓGENO DE *Capsicum* sp. DE LA REGIÓN CARIBE COLOMBIANA

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF NATIVE NITROGEN-FIXING RHIZOBACTERIA FROM Capsicum sp. IN CARIBBEAN REGION OF COLOMBIA

María Serrano, Liliana Pérez, Hilda Estrada-López, Rosnairy Benítez, Yani Aranguren

81

5. RELACIÓN ENTRE NUTRIENTES CON CARBONO, NITRÓGENO Y MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA ZONA BANANERA DE COLOMBIA

RELATIONSHIP BETWEEN NUTRIENT WITH CARBON, NITROGEN, AND ORGANIC MATTER IN SOILS OF BANANA ZONE IN COLOMBIA

Sonia Esperanza Aguirre Forero, Nelson Virgilio Piraneque Gambasica, Rosmery Cruz O'Byrne

93

6. EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS Y ANTAGONISTAS PARA EL MANEJO DE *Eurhizococcus colombianus* EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

EVALUATION OF BIOCONTROLLERS ENTOMOPATHOGENIC AND ANTAGONISTIC FUNGI FOR THE MANAGEMENT OF Eurhizococcus colombianus IN VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Astrid Beatriz Narváez Benítez, Herney Dario Vásquez Amariles, Pedro Antonio Zapata Ospina, Ana Milena Caicedo Vallejo

113

7. TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Vochysia lehmannii* EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

125

PREGERMINATIVE SEED TREATMENTS AND SEEDLING OF *Vochysia lehmannii* IN THE EASTERN PLAINS OF COLOMBIA

Ildefonso Narváez Ortiz, Leonela Torres, Zoleidy Granados, Iván Delgado

8. POULTRY MANURE INCREASES SOIL FERTILITY, GROWTH AND NUTRITIONAL STATUS OF YERBA MATE SEEDLING

137

EL ESTIÉRCOL DE AVES AUMENTA LA FERTILIDAD DEL SUELO, EL CRECIMIENTO Y EL ESTADO NUTRICIONAL DE LAS PLÁNTULAS DE YERBA MATE

Mônica Moreno Gabira, Delmar Santin, Ivar Wendling, Eliziane Luiza Benedetti

9. IDENTIFICACIÓN DE ACEITES ESENCIALES Y PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE *Mentha spicata* CULTIVADA EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS Y CAMAS CONTENIDAS

149

ESSENTIAL OILS IDENTIFICATION AND PRODUCTIVE PARAMETERS OF *Mentha spicata* GROWN IN AQUAPONIC SYSTEMS AND BEDS OF SEEDING

Diego Fernando Cárdenas, Ana Constanza Torres Mesa, Edwin Gómez Ramírez

Área Pecuaria

12

10. EFECTO DE LA HARINA DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao*) SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE POLLO DE ENGORDE

165

EFFECT OF (*Theobroma cacao*) SHELL FLOUR COCOA ON THE PRODUCTIVE PERFORMANCE OF BROILERS

Dixon Fabián Flórez Delgado, Yingrid Marbelt Velásquez Prada

Área Ambiental

11. BISFENOL A Y EFECTOS DE DISRUPCIÓN ENDOCRINA EN HUMANOS Y ANIMALES: REVISIÓN SISTEMÁTICA

175

BISPHENOL A AND ENDOCRINE DISRUPTION EFFECTS ON HUMANS AND ANIMALS: A SYSTEMATIC REVIEW

Fernando Tamayo Cabarcas, Jorge Agaméz Fuentes, Dilía Aparicio Marengo, Johana Márquez Lázaro

12. ELECTROCOAGULACIÓN CON RADIACIÓN UV PARA REMOVER DQO, COT Y SDT EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EMPLEANDO ELECTRODOS DE GRAFITO

201

ELECTROCOAGULATION INTENSIFIED BY UV RADIATION TO REMOVE COD, COT AND TDS IN WASTEWATER OF THE TEXTILE INDUSTRY USING GRAPHITE ELECTRODES

María Alejandra Rodríguez Oviedo, Ángela Daniela Sánchez Suárez, Rafael Nikolay Agudelo Valencia

CÓMO CITAR - HOW TO CITE

221

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES - GUIDE FOR AUTHORS

223

EDITORIAL

Estimados lectores

Deseamos que todos se encuentren muy bien. Bajo esta nueva realidad que nos ha dejado la pandemia del COVID 19, a pesar de que en algunos casos hemos perdido familiares o amigos, hemos también continuado todos con nuestras labores de enseñanza, investigación y trabajo. Nos hemos adaptado a todos los cambios, incrementando nuestro conocimiento en medios virtuales de comunicación. Damos gracias a todos nuestros autores y lectores por su confianza. Continuaremos nuestra labor, intentando mejorar cada día. 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.

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 del efecto de diferentes enmiendas orgánicas en cultivos agrícolas, así como estudios de caracterización de diferentes cultivos y coberturas. En el área pecuaria, se presenta un artículo sobre forrajes hidropónicos y una interesante revisión sobre vacunas en el ámbito veterinario. Finalmente, en el área ambiental presentamos artículos relacionados con la calidad del agua, su depuración y su aprovechamiento como sitio de cultivo.



Esperamos que los artículos presentados aquí, ayuden a avanzar un paso más hacia un mayor conocimiento de las diferentes áreas del saber científico, incluidas en la revista.

¡Saludos cordiales!

Gerardo Ojeda

Editor en jefe – Editor in chief

Margarita Bonilla

Co-editora – Co-editor



ENFERMEDADES EMERGENTES Y REEMERGENTES DE PLANTAS EN LATINOAMÉRICA: UNA REVISIÓN

EMERGING AND REEMERGING PLANT DISEASES IN LATIN AMERICA: A REVIEW

Luz Adriana Pedraza • lapedrazah@unal.edu.co

Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias - Fitopatología, Universidad Nacional de Colombia Grupo Microbiología Agrícola, Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia Grupo BioGRID, Sociedad de Doctores e Investigadores de Colombia SoPhiC, Colombia.

Fernanda Sánchez • fersafra@gmail.com

Magister en investigación y Avances en microbiología, Universidad de Granada, España
Grupo Ceparium – Semillero Neonature, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia.

Valeria Arias • variasa@unicolmayor.edu.co

Bacterióloga y laboratorista clínico Grupo Ceparium – Semillero Neonature Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia.

María Fernanda Moreno • mfernandamoreno@unicolmayor.edu.co

Bacterióloga y laboratorista clínico Grupo Ceparium – Semillero Neonature, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia.

Ligia Consuelo Sánchez • lconsuelosanchez@unicolmayor.edu.co

Docente investigadora. Grupo Ceparium, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia.

Citación: Pedraza, L., Sánchez, F., Arias, V., Moreno, M. y Sánchez, L. (2022). Enfermedades emergentes y reemergentes de plantas en Latinoamérica: Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 15 – 51. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4639>



RESUMEN

Contextualización: Una enfermedad en plantas es el resultado de la interacción entre un hospedero susceptible, un patógeno virulento y condiciones medioambientales favorables. Diversos factores direccionadores, antropogénicos y ambientales, han favorecido la emergencia y reemergencia de enfermedades que han conllevado a pérdidas en los cultivos. A nivel mundial, en los últimos años se ha presentado una serie de primeros reportes de patógenos que han aparecido en determinadas zonas geográficas o atacando diferentes hospederos, incluso la aparición de variantes, cepas y nuevas especies de algunos patógenos.


Vacío de la investigación: Sin embargo, adicional a estas revisiones que describen factores direccionadores o que explican la emergencia de patógenos particulares, no existe una que destaque la emergencia de enfermedades en plantas en América Latina. Tampoco una actualización de los grupos de patógenos de los géneros *Candidatus Liberibacter* y *Phytoplasma* que permitan un conocimiento amplio de los mismos.

Propósito del estudio: Revisar de manera exhaustiva la presencia de enfermedades emergentes y reemergentes de plantas en Latinoamérica en los últimos cinco años,

destacar algunos patógenos de bastante importancia en la región y actualizar la información de los grupos de *Ca. Liberibacter* y *Ca. Phytoplasma*.

Metodología: Se realizó una búsqueda en diferentes bases de datos bibliográficas, acotando la información respecto a la región geográfica y a los últimos diez años, destacando los resultados de los últimos cinco años, sin excluir artículos base para los diferentes grupos de patógenos. Adicionalmente, se hizo búsqueda específica para los géneros *Ca. Liberibacter* y *Ca. Phytoplasma*.

Resultados y conclusiones: América Latina presenta enfermedades emergentes y reemergentes de plantas evidenciado en un gran número de primeros reportes para

diferentes países; además de estudios que indican la expansión geográfica, el rango de hospederos de patógenos, aparición de nuevas razas, cepas y variantes, e incluso especies de virus, viroides, bacterias, hongos y oomycetos. Para los géneros *Ca. Liberibacter* y *Ca. Phytoplasma* se encontraron nuevos hospederos de los grupos con relación a las reportadas inicialmente. Se concluye que Latinoamérica presenta un gran número de reportes para patógenos emergentes, pero también siguen causando inconvenientes algunas enfermedades reemergentes y es clave la información resumida en esta revisión para dar a conocer la presencia de dichas problemáticas en la región. 

Palabras clave: agentes infecciosos; fitopatógeno; aparición; plantas; enfermedad; Latinoamérica

ABSTRACT


16

Context: A plant disease is the result of the interaction between a susceptible host, a virulent pathogen and favorable environmental conditions. Several anthropogenic and environmental factors have favored the emerging and re-emerging of diseases that have led to crop losses. Globally, in recent years there have been a series of first reports of pathogens that have appeared in certain geographical areas or attacking different hosts, including the development of variants, strains and new species of some pathogens.

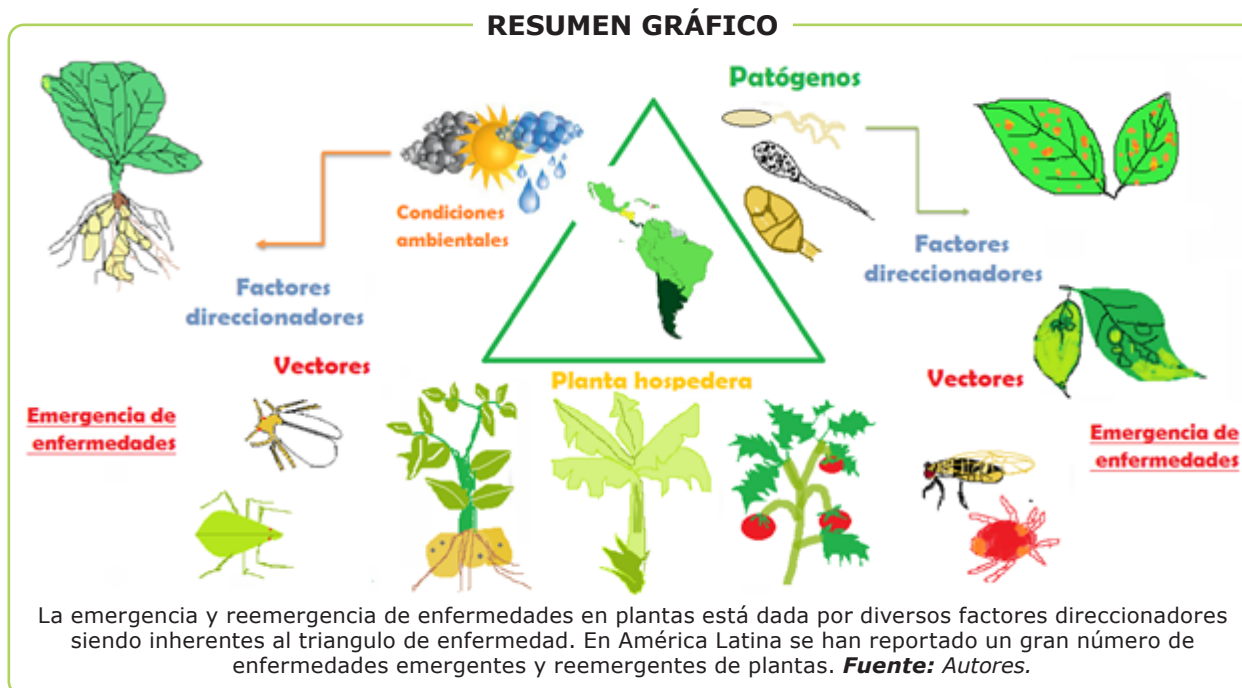
Knowledge Gap: However, in addition to these reviews that describe the factors that direct or explain the emerging of particular pathogens, there is no review that highlights the emerging of plant diseases in Latin America. Neither is there an update of the pathogen groups of the genera *Candidatus Liberibacter* and *Phytoplasma* that would allow a comprehensive knowledge of them.

Study purpose: To comprehensively review the occurrence of emerging and re-emerging plant diseases in Latin America in the last five years, to highlight some pathogens of considerable importance in the region and to update the information on the groups of *Ca. Liberibacter* and *Ca. Phytoplasma*.

Methodology: A search was made in different bibliographic databases, limiting the information to the geographic region and the last ten years, highlighting the results of the last five years, without excluding basic articles for the different groups of pathogens. Additionally, a specific search was made for the genera *Ca. Liberibacter* and *Ca. Phytoplasma*.

Results and conclusion: Latin America experiences emerging and re-emerging plant diseases evidenced in a large number of first reports for different countries; in addition to studies indicating geographic expansion, host range of pathogens, appearance of new races, strains and variants, and even species of viruses, viroids, bacteria, fungi and oomycetes. For the genera *Ca. Liberibacter* and *Ca. Phytoplasma* new hosts of the groups were found in relation to those initially reported. It is concluded that Latin America presents a large number of reports for emerging pathogens, but also some reemerging diseases continue to cause problems, and the information summarized in this review is key to make known the existence of these problems in the region. 

Keywords: infectious agents; phytopathogen; emergence; plants; disease; Latin America



1. INTRODUCCIÓN

La susceptibilidad de la planta hospedera, la virulencia del patógeno y el impacto del medio ambiente en la patogénesis definen el triángulo de la enfermedad (Scholthof, 2007). Una enfermedad es la afectación de una o más funciones en la planta, siendo enfermedad emergente un caso original o grupo de casos que son reconocidos por primera vez o han aparecido por primera vez en un área y pueden incrementar rápidamente en incidencia y severidad, produciendo pérdidas dramáticas en los cultivos (Milgroom, 2017; Ristaino et al., 2021). Las enfermedades emergentes, son causadas por patógenos que: a) han incrementado su incidencia, su localización geográfica o su rango de hospederos; b) han tenido cambios en su patogénesis; c) han evolucionado de manera reciente; d) se han descubierto o se han reconocido de manera reciente (Anderson et al., 2004; Daszak et al., 2000; Institute of Medicine, 1992). Por otro lado, una enfermedad reemergente es aquella que, aun siendo conocida y teniendo control, da lugar a epidemias en determinados momentos (Batista et al., 2012; Ristaino et al., 2021).

Existen factores direccionadores de emergencia y reemergencia de enfermedades en plantas como lo son la introducción antropogénica de patógenos a diferentes

áreas, el cambio climático, el desequilibrio en la agricultura por intensificación, diversificación y globalización, y la evolución de la interacción planta – patógeno (Anderson et al., 2004; McDonald y Stukenbrock, 2016; Velásquez et al., 2018).

El conocimiento de la presencia de determinados microorganismos patógenos resulta importante para el diagnóstico de las enfermedades en campo, así como la nueva aparición de éstos en determinada región geográfica o en un nuevo hospedero dan lugar a primeros reportes (Garibaldi et al., 2011). A la fecha, se cuenta con primeros reportes de diferentes patógenos de plantas en Latinoamérica, sin embargo, no es claro el panorama global de las problemáticas causadas por éstos que permitan establecer cuales grupos están presentes en la región.

En la misma vía, apariciones de nuevas especies de los géneros bacterianos *Candidatus Liberibacter* y *Candidatus Phytoplasma* se han presentado en los últimos años (Melgoza et al., 2018; Caicedo et al., 2020), reportando especificidad a hospederos y vectores (Hogenhout et al., 2008). Sin embargo, los grupos definidos para estos géneros están desactualizados, como es el caso de *Ca. Phytoplasma* donde Lee et al., (2000) reportan para esa época 15

grupos, pero en la actualidad se sabe que hay muchos más grupos (Foissac et al., 2019) por lo cual, la probabilidad que existan nuevas especies en Latinoamérica es muy alta.

Por otra parte, algunas epidemias de grupos de fitopatógenos en Latinoamérica han dado lugar a considerar la presencia de enfermedades reemergentes, es el caso del tizón tardío de la papa, el cual sigue ocasionando problemáticas a nivel mundial (Fry et al., 2015). Bajo estos criterios, existen otros patógenos dentro de bacterias, hongos y oomycetes que son agentes causales de enfermedades, los cuales, a pesar de tener un manejo, no han dejado de ser una preocupación para los cultivos (Nabhan et al., 2013) y los cuales consideramos incluir en esta revisión para América latina.

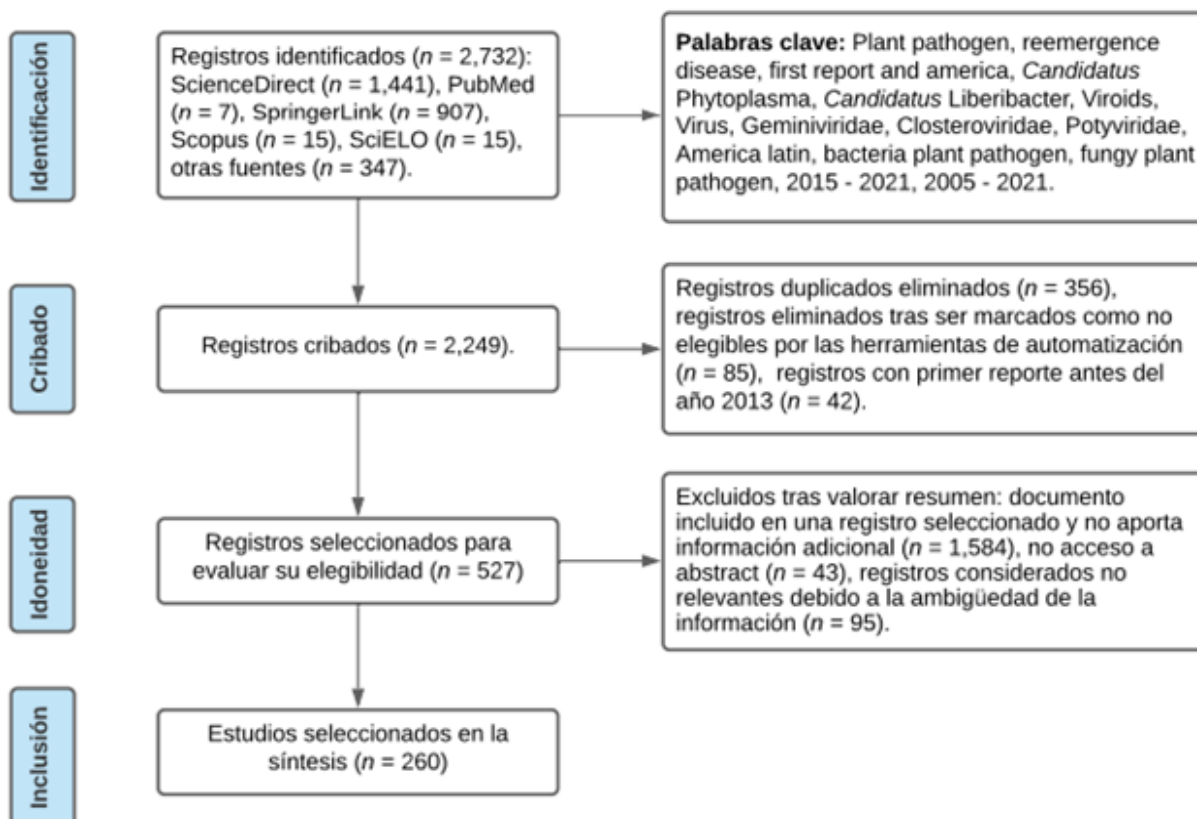
El objetivo de este artículo fue revisar la presencia de enfermedades emergentes y reemergentes, y los diferentes grupos de patógenos de plantas en Latinoamérica. Además, actualizar la información taxonómica

de los grupos de *Ca. Liberibacter* y *Ca. Phytoplasma*, y su rango de hospederos y sus vectores, destacando su presencia en la región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología consistió en la revisión de literatura bajo los criterios de grupos de patógenos, enfermedades emergentes y epidemias en los últimos diez años en Latinoamérica, destacando los reportes de los últimos cinco años. Adicionalmente, se incluyeron otros artículos que son literatura base en cada una de las temáticas y en la ampliación de la información de los géneros *Ca. Phytoplasma* y *Ca. Liberibacter*. Para la búsqueda de los artículos se usaron diferentes recursos electrónicos y bases de datos, incluyendo las palabras clave propuestas en la figura 1, pero además nombres de géneros y especies de patógenos.

Bajo los criterios se lograron recopilar un total de 2 249 artículos, de los cuales el cribado y los criterios de selección nos



Fuente: Autores

Figura 1. Diagrama de flujo metodología de búsqueda de literatura para la generación de este artículo de revisión.



dejaron en un total de 521, que se utilizaron para el planteamiento de la revisión y de estos se citaron 260 artículos. Las razones de exclusión de los demás artículos, desde los 2 249 elementos, es que no datan de primeros reportes en la región de interés, poseen solo estudios filogenéticos, no se refieren a primeros reportes, sino a métodos de diagnóstico, métodos de inoculación, estudio de biología básica del patógeno, interacción planta-microorganismo, entre otros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Enfermedades emergentes y reemergentes de plantas causadas por hongos y oomycetos

Los hongos fitopatógenos son los principales responsables de enfermedades emergentes y reemergentes en plantas (Anderson et al., 2014). En este mismo sentido, se ha demostrado, a través de diferentes ejemplos históricos, que la introducción de patógenos a nuevas áreas es el factor direccionador más importante de emergencia de enfermedades en las plantas (Talhinhas et al., 2017; Anderson et al., 2014). Dentro de las enfermedades ocasionadas por estos patógenos en la región tenemos:

El mal de Panamá

Una enfermedad de plantas de la familia *Musaceae* causada por el ascomyceto *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc) (Ploetz, 2015) del cual se han caracterizado cuatro razas: FocR1, que afecta las variedades de banano Gros Michel y Lady Finger; FocR2, ataca las mismas variedades que R1 y plátanos de cocción; FocR3, ataca el género *Heliconia*; y FocR4, que afecta todas las variedades comerciales (Ploetz, 2006), esta última se divide en la raza 4 tropical FocR4T y la raza 4 subtropical. Esta enfermedad fue descrita por primera vez en Panamá en 1949, donde una epidemia de FocR1 causó que la variedad Gros Michel fuera reemplazada por la variedad resistente Cavendish (Thangavelu et al., 2021). No obstante, esta enfermedad se hizo recurrente en 1970 en el sur de Asia y Australia, donde se detectó la nueva raza 4 tropical (Foc R4T) causando daños devastadores. En adelante, se extendió del

sureste de Asia a India, Pakistán y África (Ordóñez et al., 2015; Zheng et al., 2018) llegando a América en 2019, donde se reportó la raza FocR4T en Colombia (García-Bastidas et al., 2020) no encontrando nuevos reportes en otros países en la región. Esta raza se reclasificó a la especie *F. odoratisinum* (Maryani et al., 2019).

El ciclo de la enfermedad, causada por FocR4T, comienza con el inóculo que pueden ser microconidias consideradas los principales propagulos infectivos, y clamidosporas, que permanecen hasta 30 años en el suelo (Ploetz, 2006). Estas luego germinan sobre las raíces y penetran hasta el tejido vascular limitándose al xilema, en el que ocasionan decoloración y posterior marchitez de la parte aérea (Warman y Aitken, 2018). Se debe resaltar que las fuentes de diseminación del patógeno son el material de propagación vegetal, las herramientas de trabajo, el agua de riego y las malezas (Pegg et al., 2019), por lo cual el conocimiento de estas fuentes ha permitido el establecimiento de planes de contingencia en diferentes países que incluyen el diagnóstico, erradicación, confinamiento, contención, entre otros de Foc, y están diseñados para evitar un brote eventual de FocR4T en la región (Pérez-Vicente, 2015).

La antracnosis

El género fúngico *Colletotrichum* causa antracnosis y otras enfermedades en diferentes cultivos en Latinoamérica, tal es el caso de las especies: *C. truncantum*, reportado por primera vez afectando tomate en México (Sánchez et al., 2019), *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*, ocasionando ramulosis en algodón en Colombia (Moreno y Burbano, 2016), *C. grossum*, agente causal de antracnosis en mango en Cuba (Manzano-León et al., 2018), y *C. gloeosporioides* en *Oxalis corniculata* en Brasil (Bellé et al., 2019).

Colletotrichum cuenta con cerca de 200 especies, todas fitopatógenas (Marin-Felix et al., 2017). La enfermedad más recurrente es la antracnosis (de Silva, 2019), que se caracteriza por el desarrollo de lesiones oscuras y hundidas, presentes en hojas, tallos y frutos, con una masa de esporas de color

rosado a salmón en el centro (Kumar, 2015). Esta enfermedad reemergente es común a muchos cultivos en diferentes países del mundo (Kumar, 2015; Da Silva et al., 2020).

Las especies de *Colletotrichum* se agrupan en 14 complejos (*caudatum*, *graminicola*, *spaethianum*, *destructivum*, *acutatum*, *dematium*, *gigasporum*, *gloeosporioides*, *boninense*, *truncatum*, y *orbiculare*, *dracaenophilum*, *magnum*, *yorchidearum*) (Marin-Felix et al., 2017; Damm et al., 2019), los cuales se han definido con la combinación de marcadores moleculares y características de patogenicidad, metabólicas y ecológicas (Liu et al., 2016) dado que difieren en su estilo de vida, encontrando así fitopatógenos, endófitos, saprófitos e incluso patógenos de humanos (Da Silva et al., 2020).

La pudrición del cogollo de la palma aceitera

Esta enfermedad reemergente fue descrita por primera vez en Latinoamérica, en Surinam en 1920 (Malaguti, 1953). Posteriormente se extendió a Panamá (Richardson, 1995), Colombia (De Rojas y Ruíz, 1972), Ecuador, Perú y Brasil (De Franqueville, 2003). *Phytophthora palmivora* fue reconocido como el agente causal en Colombia (Torres et al., 2010) y en 2014 se le atribuyó una nueva epidemia en este mismo país (Mosquera et al., 2014).

P. palmivora es un Oomycete [del orden *Peronosporales*] que forma esporangios ovalados sobre el tejido de la palma, así como clamidosporas, las cuales funcionan como estructuras de resistencia en el suelo e infectan raíces que actúan como fuente de inóculo. Así, la infección inicia en las hojas con zoosporas que se enquistan, germinan y penetran a través de los estomas de la planta (Sarria et al., 2016; Vélez et al., 2014). La sintomatología inicia en los bordes de las hojas más jóvenes con lesiones húmedas café y de forma irregular que, posteriormente, aumentan en número y tamaño y que con la emergencia de los tejidos foliares se extienden hasta la zona meristemática de la hoja donde pueden llegar al corazón y terminar con la destrucción de la yema (Torres et al., 2016; Torres et al., 2010). Condiciones de lluvias y humedad altas son esenciales para el desarrollo de la enfermedad (Torres et al., 2016).

Tizón tardío de la papa

Es la enfermedad más devastadora en el cultivo de papa y es ocasionada por *Phytophthora infestans*, que también afecta otras Solanáceas (Céspedes et al., 2013). Este patógeno se introdujo en Europa en 1840 causando la hambruna irlandesa de la papa (Goss et al., 2014) y en América se sugiere que su origen puede estar en sudamérica (Gomez-Alpizar et al., 2007; Berkeley, 1846) o en México (Goss et al., 2014).

P. infestans es un oomycete hemibiotrófo, heterotálico de micelio diploide y con reproducción sexual y asexual (Fry et al., 2008). El ciclo de enfermedad inicia con la llegada de esporangios que liberan zoosporas que se enquistan, germinan y penetran a través de células epidermales o de estomas foliares (Grenville-Briggs y West, 2005). La sintomatología inicia con lesiones necróticas acuosas sobre el borde de la hoja y el tallo, que avanzan hasta producir un tizón sobre la planta, días después el micelio emerge a través de los estomas y se forman nuevos esporangios (Widmark, 2007). Los esporangios se dispersan por agua y viento, pero, cuando ocurre reproducción sexual hay formación de oosporas que sobreviven en el suelo (Drenth et al., 1995). El tizón tardío de la papa se considera una enfermedad emergente y reemergente, debido a las apariciones del patógeno en nuevas localizaciones y el cambio frecuente en las poblaciones mundiales que imposibilitan su manejo (Fry et al., 2015; Milgroom, 2017).

Diferentes especies de hongos y oomycetos fitopatógenos obedecen a otros factores direccionadores, como es el caso de la evolución de la interacción planta-patógeno, ocasionando que los microorganismos tengan diferentes mecanismos de evolución y especiación. Estos mecanismos han permitido el salto y la expansión de hospederos, dentro de los que se incluyen mutaciones, transferencia horizontal de genes, hibridación, eventos de recombinación sexual e intercambio nuclear (Corredor-Moreno, 2020). Algunos últimos reportes de enfermedades emergentes y reemergentes causadas por hongos y oomycetos durante los años 2018 a 2019 en Latinoamérica son presentados en la tabla 1.



Tabla 1. Algunos primeros reportes de enfermedades causadas por hongos y oomycetes en cultivos de América Latina en los años 2018-2019.

Enfermedad	Patógeno	Tipo	Cultivo	Distribución geográfica	Referencia
Pudrición del aguacatero	<i>Pythium</i> sp. "Amazonianum"	Oomyceto	Aguacate	México	Ochoa et al., (2018)
Tristeza del aguacatero	<i>Phytophthora vexans</i>	Oomyceto	Aguacate	México	Pérez et al., (2019)
Enfermedades causadas por <i>Alternaria</i> spp.	<i>Alternaria alternata</i>	Hongo	Chirimoya	Ecuador	Guevara et al., (2019)
	<i>Alternaria tomato</i>	Hongo	Girasol	México	Poudel et al., (2019)
Roya de la hoja del arándano	<i>Thekopsora minima</i>	Hongo	Arándano	Perú	Huarhwa et al., (2020)
Cancro del tallo del Eucalipto	<i>Teratosphaeria zuluensis</i>	Hongo	Eucalipto	Paraguay	Silva et al., (2020)
Mancha negra de la granada	<i>Pseudocercospora punicae</i>	Hongo	Granada	México	Ayala et al., (2019)

Fuente: Este estudio

Enfermedades emergentes y reemergentes causadas por bacterias fitopatógenas

Las bacterias adquieren rasgos novedosos mientras interactúan con su hospedero, presentando una alta tasa de mutación. Así mismo, éstas tienen la capacidad de obtener material genético nuevo a través de reordenamiento o transferencia de plásmidos entre diferentes especies bacterianas o mediante fagos, logrando así adaptación a nuevos entornos, irrumpir las defensas del hospedero y adquirir nuevos factores de virulencia (Gootz, 2010; Greger, 2007). Adicional a estos procesos, la evolución de la interacción planta-bacteria patógena se da a partir de interacciones coercitivas mediante manipulación sensorial (Rowe et al., 2018). Algunas enfermedades causadas por patógenos bacterianos son:

Enfermedades causadas por el género *Pectobacterium*

Pectobacterium (antes *Erwinia carotovora*) es un género de bacterias Gram negativas, anaerobias facultativas (Adeolu et al., 2016). Contiene 17 especies fitopatógenas reconocidas: *actinidiae*, *aquaticum*,

aroidearum, *atrosepticum*, *betavascularum*, *brasiliense*, *cavascularum*, *carotovorum*, *fontis*, *odoriferum*, *parmentieri*, *parvum*, *polaris*, *polonicum*, *punjabense*, *versatile* y *wasabiae*, y dos especies propuestas aún no validadas: *peruviense* y *zantedeschiae* (Alcorn et al., 1991; Gallois, et al., 1992; Dees et al., 2017; Gardan et al., 2003; Nabhan et al., 2013; Khayi et al., 2016; Sarfraz et al., 2018; Portier et al., 2019; Pédrón et al., 2019; Oulghazi et al., 2019; Waleron et al., 2019; Portier, et al., 2020; Pasanen et al., 2020).

Las cepas de este género se adaptan a un amplio rango de hospederos, ocasionando diversas enfermedades (Meng et al 2017; van der Wolf et al., 2017). Así, se ha reportado *P. carotovorum* afectando tomate y espatifilo en Argentina (Alippi y López, 2009). *P. aroidearum* en lechuga, col china y pimiento en Brasil (Barroso et al., 2019; Moraes et al., 2020). En tanto, las especies *P. atrosepticum*, *P. brasiliense*, *P. carotovorum*, *P. odoriferum*, *P. parmentieri*, *P. peruviense*, *P. polaris* y *P. punjabense* son asociadas a papa (Nabhan et al., 2013), siendo la más relevante *P. brasiliense* (Duarte et al., 2004).

que además causa enfermedad en calabacín (Brasil), tomate (Colombia) (Jaramillo et al., 2017) y pimiento (Venezuela) (Gillis et al., 2017).

Una enfermedad relevante generada por especies del género *Pectobacterium* es la pata negra de la papa, aunque también hay otros agentes causales asociados como la bacteria *Dickeya solani* (Cardoza et al., 2016). Esta enfermedad se caracteriza por una decoloración negra de los tallos y un rápido marchitamiento, amarillamiento y necrosis de las hojas por la presencia de bacterias en el tubérculo madre (Kim et al., 2009; Charkowski, 2015; Pérombelon, 2002; Yap et al., 2004). Por su parte, los tubérculos infectados desarrollan lesiones acuosas, sufren pudrición blanda y son de color cremoso o negro, además de presentar mal olor en infecciones secundarias (Kim et al., 2009; Yap et al., 2004).

Rayado bacteriano del maíz

Xanthomonas vasicola pv. *vasculorum* es el agente causal del rayado bacteriano del maíz (Studholme et al., 2020), enfermedad reportada por primera vez en Sudáfrica en 1949 (Dyer, 1949) y en Brasil y Argentina en el año 2018 (Leite et al., 2018; Plazas et al., 2018). Esto último le atribuye su carácter de emergente.

El ciclo de enfermedad de esta bacteria inicia con el inóculo del patógeno en residuos del cultivo, que se dispersa en gotas de lluvia o por el riego, infectando nuevas plantas donde penetra a través de aberturas naturales o heridas y posteriormente colonizando el tejido (Castro et al., 2020). La sintomatología inicia con pequeñas lesiones en las hojas inferiores y luego en el dosel medio superior, las cuales coalescen para formar líneas delgadas, largas, con márgenes ondulados, de color amarillo o naranja y con un halo amarillo a contraluz (Dyer, 1949). Esta bacteria sobrevive en suelo y hospederos alternos, de los que se han identificado 15 nuevos, sugiriendo que el manejo de malezas y la rotación de cultivo son claves para controlar el patógeno (Hartman et al., 2020).

Enfermedades causadas por *Xylella fastidiosa*

Xylella fastidiosa es una especie de bacteria Gram negativa, la cual fue reportada inicialmente en Estados Unidos, causa la enfermedad de Pierce (PD) en la vid y es transmitida por vectores de la subfamilia Cicadellinae, superfamilia Cercopoidea y potencialmente de la superamilia Cicadoidea (Mazzaglia et al., 2020) que se alimentan del xilema (Almeida & Nunney, 2015; Chen et al., 2007). *X. fastidiosa* presenta seis subespecies, cada una con un rango y distribución geográfica específicos: *X. fastidiosa* subsp. *fastidiosa*, causante de la enfermedad de Pierce (EP) y quemadura foliar del almendro (ALF), originaria de Centro y Suramérica; *X. fastidiosa* subsp. *sandyi*, causante de la quemadura de la hoja de adelfa y reportada inicialmente en EE. UU; *X. fastidiosa* subsp. *multiplex*, asociada con enfermedades de más de 30 especies de plantas y nativa de zonas templadas y subtropicales de norte y Sudamérica; *X. fastidiosa* subsp. *pauca*, originaria de Sudamérica, presente en Centroamérica, causante de la clorosis variegada de los cítricos (CVC) y la crespada de la hoja de café (CLS) (Lopes et al., 2020; Nunney, 2014; Saponari et al., 2017); *X. fastidiosa* subsp. *morus*, asociada a quemadura foliar de morera en EE. UU; y *X. fastidiosa* subsp. *tashke*, causando la quemadura de la hoja de chitalpa en EE. UU (Mazzaglia et al., 2020). La distribución geográfica del género *Xylella* sugiere que las diferentes especies evolucionaron separadamente, aumentando su variabilidad genética por introducción de cepas de *X. fastidiosa* a nuevas áreas geográficas y recombinación con cepas endémicas (Mazzaglia et al., 2020; Nunney et al., 2014).

En los insectos vectores, las bacterias colonizan el intestino anterior, pero no sistémicamente, por lo cual, el ciclo de enfermedad de *X. fastidiosa* inicia con la inoculación realizada por el insecto vector en la planta hospedera y la posterior colonización y multiplicación en el xilema, donde los haces vasculares son atacados por enzimas degradadoras de pared celular vegetal



(Roper et al., 2007). Finalmente se presentan los síntomas de enfermedad de acuerdo con el patosistema (Rapicavoli et al., 2018). Actualmente se han descrito 343 especies de plantas, 163 géneros y 64 familias hospederas

de *X. fastidiosa* (Chatterjee et al., 2008). En la tabla 2 se presentan otras enfermedades emergentes y reemergentes causadas por bacterias y reportadas en Latinoamérica a partir del 2019.

Tabla 2. Enfermedades emergentes y reemergentes causadas por bacterias fitopatógenas y reportados en Latinoamérica.

Enfermedad	Patógeno	Cultivo	Distribución geográfica	Referencia
Marchitez bacteriana	<i>Dickeya chrysanthemi</i>	Maguey	México	(Cabrera-Huertas et al., 2019)
Mancha de la planta de sésamo	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Sesami</i>	Sésamo	México	(Félix-Gastélum et al., 2019)
Podredumbre negra	<i>Xanthomonas campestris</i>	Acelga	Cuba	(Corzo., 2019)
Cancro bacteriano	<i>Pseudomonas syringae</i>	Manzana	Brasil	(Araujo et al., 2020)
Marchitez bacteriana	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Eucalipto	Ecuador	(Álvarez et al., 2021)
Marchitez bacteriana	<i>Ralstonia solanacearum</i> filotipo IIB secuevar 1	Tomate	Chile	(Vasconez et al., 2020)
Cancro bacteriano	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>	Tomate	Chile	(Sepúlveda-Chavera et al., 2013)
Tizón de la hoja del arroz	<i>Pantoea agglomerans</i>	Arroz	Venezuela	(González., 2015)

Fuente: Este estudio

Enfermedades causadas por *Candidatus liberibacter*

Candidatus liberibacter es un género de bacterias Gram negativas que se alojan en los tubos cribosos del floema de las plantas. Son biótrofes obligadas, difícilmente cultivables y transmitidas por insectos vectores de hábito chupador, que se alimentan de la

savia del floema (Haapalainen, 2014). El rango de hospederos de *Ca. Liberibacter* está restringido a los de su insecto vector, que son Pysilidos (Hemíptera) (Sarkar y Ghamin, 2020). En la tabla 3 se exponen las especies hasta ahora reportadas, su rango de hospederos y sus respectivos vectores.

Tabla 3. Especies de *Candidatus Liberibacter* reportadas hasta la actualidad.

Especies	Vector	Cultivo	Distribución geográfica	Referencia
<i>Ca L solanacearum</i>	<i>Bactericera cockerelli</i>	Familia <i>solanácea</i>	Norteamérica y Centroamérica, Nueva Zelanda	Nelson et al., (2013)
Haplotipo A				
Haplotipo B			Norteamérica y Centroamérica	Melgoza et al., (2018)
Haplotipo C	<i>Trioza apicalis</i>	Familia <i>apiaceae</i>	Norte de Europa	Nelson et al., (2011); Nelson et al., (2013)
Haplotipos D y E	<i>Bactericera trigonica</i>		España, Marruecos y Francia	Teresani et al., (2014)
Haplotipo F	Vector desconocido	<i>Solanum tuberosum</i>	Estados Unidos	Swisher Grimm y Garczynski, (2019)
Haplotipo G	Vector desconocido	<i>Solanum umbelliferum</i>	Estados Unidos	Mauck et al., (2019)
Haplotipo U	<i>Trioza uricae</i>	<i>Urtica dioica</i>	Finlandia	Haapalainen et al., (2018)
<i>Ca L asiaticus</i>	<i>Diaphorina citri</i>	Familia <i>Rutaceae</i> especialmente <i>Citrus</i> sp	Sur de Asia, Brasil, Caribe y Estados Unidos	Li et al., (2006)
<i>Ca L africanus</i>	<i>Trioza erytreae</i>	Familia <i>Rutaceae</i>	África	Pietersen et al., (2010)
<i>Ca L americanus</i>	<i>Diaphorina citri</i>		Brasil	Texeira et al., (2005)
<i>Ca L europaeus</i>	<i>Cacopsylla species</i>	Familia <i>Rosaceae</i>	Europa	Raddadi et al., (2011)
	<i>Arytainilla sparticophila</i>	Familia <i>Fabaceae</i>	Europa y Nueva Zelanda	Thompson et al., (2013)
<i>Ca L crescens</i>	Vector desconocido	Papaya (<i>Carica papaya</i>)	Puerto Rico	Leonard et al., (2012)
<i>Ca L brunswickensis</i>	<i>Acizzia solanicola</i>	Berenjena (<i>Solanum melongena</i>)	Australia	Morris et al., (2017)

Fuente: Este estudio

Las especies de *Ca. Liberibacter* son específicas, tanto para su hospedero como para su vector (tabla 3). Por ejemplo, *Ca L. solanacearum* afecta plantas de la familia *Solanaceae*, causando la punta morada de la papa, el Zebra chip, el variegado del chile

y el permanente del tomate; estas especies han sido emergentes en Sudamérica, así como sus haplotipos A y B (Melgoza et al., 2018). De igual manera, Caicedo et al (2020) reportó por primera vez a *Ca L. solanacearum* (haplotipo A) causando decoloración de la



hoja en uchuva y tomate de árbol en Ecuador, cuyo vector es *Bactericera cockerelli*. Todos los reportes de *Ca Liberibacter* en Latinoamérica se consideran emergentes, dado que los agentes causales aumentan su localización geográfica o rango de hospederos (Anderson et al., 2004), sumado a que la expansión de la enfermedad depende de la capacidad de dispersión del vector, como el caso de HLB (Huangbloating o enfermedad del dragón amarillo) en cítricos causada por *Ca. L. asiaticus* y cuyo vector es *Diaphorina citri* (Hall, 2013).

Enfermedades causadas por *Candidatus phytoplasma*

Candidatus phytoplasma es un género de bacterias fitopatógenas de la clase Mollicutes que carecen de pared celular, por lo cual adquieren formas pleomórficas (Namba, 2019). Los fitoplasmas pueden colonizar el floema de las plantas y son transmitidos por hemípteros de las familias *Cicadellidae*, *Cixidae*, *Cercopidae*, *Psyllidae* y *Fulgoridae*, en los cuales invaden sus glándulas salivales y el sistema digestivo (Ferriol-Marchena et al., 2013).

Hasta el año 2000 se conocían 15 grupos y más de 40 subgrupos de fitoplasmas, debido al uso del análisis de secuencia del gen del ARNr 16S y la región espaciadora (Lee et al., 2000; Lee et al., 2006), pero actualmente hay 27 grupos que presentan una amplia distribución a nivel mundial (tabla 4), la cual depende del rango de hospederos y vectores, siendo Latinoamérica una de las regiones más afectadas (Pérez-López et al., 2016). Dentro de estos encontramos a *Ca. P. asteris* (tabla 4), reportado en Cuba afectando caña de azúcar (Acosta et al., 2011), hoja de albahaca (Arocha, Piñol, Picornell, Almeida, Jones & Boa, 2006), papaya (Acosta et al., 2011), fresa (Ferriol-Marchena et al., 2013) y pasto napier (Acosta et al., 2018); mientras que en Colombia se ha encontrado asociado a marchitez letal de la palma aceitera (Álvarez et al., 2014), enfermedades en árboles urbanos (Franco-Lara et al., 2020) y elefantiasis del banano (Aliaga et al., 2018).

Por su parte, *Ca. P. aurantifolia* se ha reportado causando escoba de bruja en Tilo, en México; (Taheri et al., 2011), en guayacán, en Brasil; (Mafia et al., 2008), en

papaya (Arocha, Piñol, Picornell, Almeida & Jones, 2006) y en níspero, en Cuba (Arocha et al., 2009). Síntomas de escoba de bruja también son causados por *Ca. P. brasiliense* en hibisco, en Brasil (Montano et al. 2001) y por *Ca. P. hispanicum* en Calafate, en Chile (Madariaga y Ramírez, 2019). *Ca. P. pruni* (tabla 4) está presente en Latinoamérica afectando diferentes cultivos: En Bolivia, al pimiento marrón, fresa, molle y arracacha (Arocha et al., 2010); en Chile, a la cereza (González et al., 2011); en Argentina, a la remolacha (Fernández et al., 2020) y a la ciruela (Bongiorno et al., 2020); en México, al amaranto (Rojas-Martínez et al., 2009) y en Brasil, a *Melothria pendula* (Guglielmi y Arocha, 2019).

Varias enfermedades causadas por fitoplasmas han dado lugar a numerosos primeros reportes, por tanto, se consideran emergentes. La sintomatología causada por fitoplasmas varía según el patosistema (Hogenhout et al., 2008), aunque existen algunos síntomas generales como filodia, retraso en el crecimiento, formación de escobas de bruja, amarillamiento, entre otros (Oshima et al., 2013).

Enfermedades de plantas causadas por virus

Los virus son agentes no vivos, constituidos por una o más moléculas de ácidos nucleicos empaquetadas dentro de una cubierta proteica, que por su imposibilidad de replicarse fuera del hospedero son patógenos obligados (Gergerich y Dolja, 2006). El primer virus vegetal descrito fue el mosaico del tabaco (TMV) en el siglo XIX (van Regenmortel, 2004) y desde entonces se han reportado más de 1000 especies diferentes en cultivos de importancia económica (Roossinck, 2011), se destaca su abundancia en plantas silvestres (Roossinck, 2012; Hopkins et al., 2014).

Un factor importante para los virus vegetales es la dispersión y la transmisión en el que los vectores tienen un papel fundamental (Morin et al. 1999). Los vectores son principalmente insectos, destacando la mosca blanca, trips y áfidos, los cuales son transmisores de varias especies de virus en un amplio rango de hospederos (Roossinck, 2015), pero también existen nematodos, quitridios y plasmodioforidos. De acuerdo

con la variabilidad genética y la constante emergencia de enfermedades causadas por virus, se conocen cuatro escenarios que favorecen este fenómeno, los cuales tienen que ver con cambios en: (a) la planta hospedera y/o ecología del virus; (b) la composición genética de la población del hospedero; (c) la composición genética de la población del virus; y (d) la ecología y la composición genética del vector (Jones et al., 2009). De manera más reciente, McLeish et al., (2019) afirman que los cambios en el rango de hospederos de virus vegetales son fundamentales para la emergencia de estos. A su vez, estos procesos evolutivos están dados por factores intrínsecos, como los rasgos genéticos, y extrínsecos, como la distribución, abundancia e interacción de especies.

Dentro de los virus vegetales se destaca la familia *Geminiviridae* con 10 géneros, resaltando los *begomovirus* con más de 320 especies; están conformados por un ADN circular bipartita de cadena sencilla (Pei et al., 2020) con dos variables: ADN – A y ADN – B. Afectan varios cultivos de importancia económica (Tamime, 2019), mencionándose el virus del rizado amarillo de la hoja del tomate (TYLCSV), el virus Chino del tomate (CdTV), virus del enrollamiento de la hoja de la papaya de China (PaLCuCNV), virus de Tailandia (TYLCTHV), virus del rizado de la hoja de algodón Multan (CLCuMuV), virus del mosaico amarillo de la Euphorbia (EuMV), entre otros (Chowda-Reddy et al., 2012; Guo et al., 2015; Weng et al., 2015).

De otra parte, los virus de la familia *Closteroviridae* son virus filamentosos, compuestos de ARN monocatenario de cadena positiva. Entre estos destaca el virus de la tristeza de los cítricos (CTV), que causa una enfermedad de importancia económica a nivel mundial (Candresse y Fuchs, 2020) y la cual es transmitida por áfidos (*Toxoptera citricida* y *Aphis gossypii*), presentes en Centro y Sur América (Yokomi, 2019). La sintomatología de la enfermedad provocada por CTV se presenta en una tríada: decaimiento del árbol generalizada (tristeza), agujeros en el tronco y finalmente clorosis en las hojas. Aún sin síntomas puede ser devastadora en pocos días, dependiendo de variables como la cepa viral, el hospedero, el

injerto y las condiciones ambientales (Rivas-Valencia et al., 2017; 2020). Se considera una enfermedad emergente en Latinoamérica debido a su rápida expansión geográfica y la presencia de nuevos casos (Contreras-Maya y Villegas-Monter, 2020).

También cabe mencionar la familia *Potyviridae*, compuestos de ARN monocatenario de cadena positiva (Tatineni, 2017) y representados por 8 géneros (Valli et al., 2015), los cuales afectan muchos cultivos (Tatineni, 2017). Su transmisión es por áfidos, artrópodos, plasmodioforidos (Wylie et al., 2017) y por semillas. Se ha reportado esta familia en aproximadamente 20 especies vegetales, incluyendo los virus del mosaico de la soja (SMV), mosaico de la lechuga (LMV), mosaico de calabacín amarillo (ZYMV), mosaico transmitido por semillas de guisantes (PSbMV), mosaico de la sandía y el virus Y de la papa (PVY) (Revers y García, 2015).

Enfermedades causadas por viroides

Los viroides son patógenos exclusivos de plantas constituidos por ARN circular no codificante (246 a 463 nucleótidos) y, a diferencia de los virus, carecen de cápside (Tsagris et al., 2008). La transmisión de viroides puede darse por daño mecánico de la planta, por semilla y/o polen, pero no por vectores (Singh et al., 2003; Kryczyński et al., 1988). Las especies de viroides se asignan en dos familias taxonómicas, según sus propiedades estructurales y funcionales. Estas son *Pospiviroidae* y *Asunviroidae* (Flores y Owens, 2021), con 29 y cuatro especies respectivamente (Di Serio et al., 2014).

En Latinoamérica se destacan diversas enfermedades causadas por viroides, como el viroide del tubérculo fusiforme de la papa (PSTVd) (*Pospiviroidae*), aislado por primera vez en árboles de aguacate en Perú (Querci, 1995). Este viroide afecta plantas ornamentales (*Solanaceae* y *Asteraceae*) (Verhoeven et al., 2010), papa y tomate (Seigner et al., 2008; Ling et al., 2014). Los síntomas típicos de PSTVd son acortamiento de entrenudos y pecíolos, enanismo, epinastia severa y arrugamiento de las hojas (Owens, 2007); en la papa, los tubérculos se elongan tras la infección, con aparición de ojos prominentes, y ahusamiento de estos.



En la misma vía, el viroide del enanismo del lúpulo (HSVd) es de importancia en cultivos de cítricos en Latinoamérica, ha sido reportado en Cuba y es transmitido por material agrícola contaminado o lesiones causada por áfidos en cítricos como el toronjo (Soto et al., 2008). Además de cítricos (Rutaceae), el HSVd se ha identificado en un amplio rango

de familias de plantas (Moraceae, Rosaceae, Anacardiaceae y Malvaceae) (Maddahian et al., 2019; Luigi et al., 2013; Vamenani et al., 2019). En la tabla 5, se presentan algunos primeros reportes para especies de virus y viroides causando enfermedad en plantas en Latinoamérica.

Tabla 4. Clasificación actual de los grupos de *Candidatus* Phytoplasma

Grupo	Especies	Enfermedad asociada	Cultivo	Vector	Referencia
16SrI: Amarillamiento del Aster	Ca P. asteris	Amarillamiento del Aster	Cebolla, canola, arroz, naranja	<i>Macrosteles quadripunctulatus</i> Kirschbaum y <i>Euscelidius egatus</i> Kirschbaum	Lee et al., (2004) Galletto et al., (2011)
	Ca. P. japonicum	Filoda de la hortensia japonesa	Hortensia	Desconocido	Sawayanagi et al., (1999)
	Ca P. lycopersici	Hoja de perejil del tomate	Tomate	Desconocido	Arocha et al., (2007)
16SrII: Escoba de bruja del maní	Ca. P. aurantifolia	Escoba de bruja del limón	Haba, limón, Bakraee	<i>Hishimonus phycitis</i>	Al-Saleh y Amer., (2014) Salehi et al., (2007)
16srIII: Enfermedad X	Ca. P. pruni	Enfermedad X	Cereza, melocotón, durazno, nectarino, almendro	<i>Cacopsylla pruni</i>	Davis et al., (2013) Mcclure, (1980) González et al., (2011)
16srIV: Amarillamiento letal de la palma	Ca. P. palmae, Ca. P.cocostanzaniae, Ca P cocosnigeriae	Amarillamiento letal del coco en México, Tanzania y Nigeria	Palmilla de tabaco Palma colorada	<i>Haplaxius crudus</i>	Poghosyan et al., (2019)
16SrV: Amarillamiento del olmo	Ca. P. ulmi	Amarillamiento del olmo	Olmo	<i>Amplipcephalus curtulus</i> Linnavuori y DeLong; <i>Scaphoideus titanus</i> y <i>Hishimonus selletus</i> Uhle	Hodgetts et al., (2015) Arismendi et al., (2015) Li et al., (2014)
	Ca. P. vitis	Flavescencia dorada	Uva		
	Ca. P. ziziphi	Escoba de bruja del azufaifo	Azufaifo		
16SrVI: Proliferación del trébol	Ca. P. trifolii	Proliferación del trébol	Repollo, pimentón	<i>Ceratagallia itidula</i> y <i>Empoasca abrupta</i>	Serge y Yilmaz, (2020) Mauricio-Castillo et al., (2015)
16SrVII: Amarillo ceniza	Ca. P. fraxinii	Amarillo ceniza	Alfalfa y especies del género <i>Fraxinus</i>	Desconocido	Conci et al., (2005) Perilla-Henao y Franco-Lara (2014)

16SrVIII: Escoba de bruja de la Luffa	Ca. P. luffae	Escoba de bruja de la luffa	Estropajo o luffa	<i>Orosius albicinctus</i>	Davis et al., (2017)
16SrIX: Escoba de bruja del Guandú (PPWB)	Ca. P. phoenicium	Enfermedad letal del almendro	Almendro Guandú	<i>Asymmetrasca decedens Tachycixius viparina y Tachycixius cypricus</i>	Verdin et al., (2003)
16SrX: Proliferación de la manzana	Ca. P. mali	Proliferación de la manzana	Manzana	<i>Cacopsylla melanoneura Fieberiella florii</i>	Tedeschi y Alma, (2006)
	Ca. P. pyri	Decline de la pera	Pera	<i>Cacopsylla pyricola</i>	Sabaté et al., (2014)
	Ca. P. prunorum	Amarillamiento europeo de los frutos de hueso	Durazno, nectarino	Psylido (<i>Cacopsylla pruni</i>)	Etropolska y Lefort, (2019)
	Ca. P. spartii	Escoba de bruja del esparto	Esparto	Desconocido	Torres et al., (2002)
16SrXI: Arroz enano y amarillo (RYD)	Ca. P. oryzae	Enfermedad del arroz enano y amarillo (RYD)	Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	<i>Nephotettix cincticeps, Nephotettix virescens y Nephotettix nigropictus</i>	Jung et al., (2003)
16SrXII Stolbur	Ca. P. australiense	Amarillamiento australiano de la uva Muerte negra de la papaya Muerte negra de Coprosma	Uva, lino de Zelanda, col de Nueva Zelanda Papaya Karamu y Coprosma	<i>Oliarus atkinsoni y Zeoliarus atkinson</i>	Liefting et al., (1998) Winks et al., (2014) Beever et al., (2004)
	Ca P. fragariae	Amarillamiento letal de la fresa	Fresa, Uva	<i>Amplipcephalus funzaensis</i>	Valiunas et al., (2006)
		Stoil boir y Bois noir	Más de 100 especies de plantas incluyendo la familia Solanaceae y manzana	<i>Hyalesthes obsoletus, Reptalus panzeri y Reptalus quinquecostatus</i>	Quaglino et al., (2013) Maixner et al., (1994) Jović et al., (2007) Chucho et al., (2016)
16SrXIII: Virescencia del bígaro Mexicano	Ca. P. hispanicum	Virescencia del bígaro Mexicano	Carantus	<i>Balclutha hebe</i>	Davis et al., (2016); Canale y Bedendo, (2020)



16SrXIV: Hoja blanca del pasto Bermuda (BMWV)	Ca. P. cynodontis	Hoja blanca del pasto Bermuda	Pasto Bermuda	<i>Exitianus indicus</i> <i>Distant</i>	Marcone et al., (2004b) Kumar et al., (2015)
		Huanglongbing	Pomelo		Ghosh et al., (2019)
16SrXV: Ca. P. brasiliense	Ca. P. brasiliense	Escoba de bruja del hibisco Papaya bunchy top	Hibisco Papaya	Desconocido	Montano et al., (2001) Wei et al., (2017)
16SrXVI: Hoja amarilla de la caña de azúcar	Ca. P. graminis	Hoja amarilla de la caña de azúcar	Caña de azúcar	<i>Saccharosydne saccharivora</i>	Arocha et al., (2005)
16SrXVII: Papaya bunchy top	Ca. P. caricae	Papaya bunchy top	Papaya	<i>Empoasca papayae</i>	Arocha et al., (2005)
16SrXVIII: Punta morada de la papa	Ca. P. americanum	Punta morada de la papa	Papa	<i>Circulifer tenelus</i> , <i>Macrostes sp</i> y <i>Bactericera spp.</i>	Lee et al., (2006)
16SrXIX: Escoba de bruja de la del castaño	Ca. P. castaneae	Escoba de bruja del castaño	Castaño	Desconocido	Jung et al., (2002)
16SrXX: Escoba de bruja del cerval	Ca. P. rhamni	Escoba de bruja del espino cerval	Espino cerval	<i>Cacopsylla rhamnicola</i>	Jović et al., (2011)
16SrXXI: Proliferación de los brotes de pino	Ca P. pini	Proliferación de los brotes de pino	Pino	Desconocido	Schneider et al., (2005)
16SrXXII: Amarillamiento letal del coco	Ca. P. palmicola	Amarillamiento letal del coco	Coco	<i>Diosmombus mkurangai</i>	Harrison et al., (2014) Bila et al., (2017)
16SrXXIX: Escoba de bruja de la Cassia	Ca. P. omanense	Escoba de bruja de la Cassia	Cassia	<i>Cixiidae</i>	Al-Saady et al., (2008) Foissac et al., (2019)
16SrXXX: Escoba de bruja de cedro salado	Ca P. tamaricis	Escoba de bruja de cedro salado	Cedro salado	Desconocido	Zhao et al., (2009)
16SrXXXI: Atrofiamiento de la soya	Ca P. costaricanum	Atrofiamiento de la soya	Soya	Desconocido	Lee et al., (2011)

16SrXXXII: Virescencia y la filodia del Bígaro	Ca P. malaysianum	Virescencia y la filodia del Bígaro	Bígaro	Desconocido	Nejat et al., (2013)
16SrXXXIII Amarillamiento de la casuarina	Ca. P. allocasuarinae	Amarillamiento de la casuarina	Cusarina de costa	Desconocido	Marcone et al., (2004)

Fuente: Este estudio

Tabla 5. Primeros reportes de enfermedades emergentes y causadas por virus en Latinoamérica entre los años 2012-2020.

Familia	Especie	Vector	Cultivo	Distribución geográfica	Referencia
<i>Benyviridae</i>	Virus del mosaico de rayas del trigo (WhSMV)	Hongo parásito <i>Polymyxa graminis</i>	Trigo	Brasil	(Valente et al., 2019)
<i>Betaflexiviridae</i>	Virus de la vid Pinot gris (GPGV)	Ácaro eriófito (<i>Colomerus vitis</i>)	Uva roja	Argentina, Brasil, Chile y Uruguay	(Debat et al., 2020)
<i>Geminiviridae</i>	Virus del mosaico dorado de Boerhavia (BoGMV)	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> MEAM1)	Familia Nyctaginaceae y <i>Boerhavia erecta</i>	Puerto rico	(Malgarejo et al., 2019)
	Virus del entorchamiento de la hoja del tomate (ToTLV)	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> MEAM1)	Tomate, frijol y tabaco	Colombia y Venezuela	Rodríguez-Negrete et al., (2019); Martínez-Marrero et al., (2020); Vaca-Vaca et al., (2019)
<i>Potyviridae</i>	Virus de la distorsión de la hoja de la maracuyá (PLDV)	Mosca blanca, (<i>B. tabaci</i> , biotipo B)	Ají y maracuyá	Colombia	(Vaca-Vaca et al., 2019).
	Virus Y de la papa Complejo PVY	Mosca blanca y áfidos	<i>Calibrachoa hybrida</i> y papa	Argentina, Brasil y Chile	(Tombion et. al., 2019)
	Virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV)	Propagación vegetativa	Achira	Colombia	(Betancourt et al., 2020)
<i>Rhabdoviridae</i>	Pitaya badnavirus 1 (PiBV1) y virus asociado al moteado de <i>epiphyllum</i> (EpMoaV)	Chinche patón (<i>Leptoglossus zonatus</i>), Picudo negro (<i>Metamasius sp.</i>),	Pitaya roja	Brasil	(Zheng et al., 2020)
	<i>Badnavirus A</i> de la batata (SPV-A)	Áfidos (<i>Aphididae</i>) y cigarritas (<i>Cicadellidae</i>)	Papa dulce	Brasil, Guatemala y Honduras	Maich et al., (2020)
	Virus del mosaico leve del cacao (CaMMV)	Posiblemente escarabajos (<i>Coleoptera</i>)	Cacao	Puerto rico	Chingandu et al., (2017)



<i>Rhabdoviridae</i>	Virus C de la leprosis de los cítricos (CiLV-C)	Ácaros Brevipalpus (BTV) <i>B. yothersi</i>	Cítricos	Colombia, Uruguay, Brasil, Bolivia, Argentina, Venezuela, Perú	Nunes et al., (2020); Rodríguez-Ramírez et al., (2019)
<i>Apocaviridae</i>	Viroide de la piel cicatrizada de la manzana (ASSVd)	No aplica	Manzana		(Nome et al., 2012)
	Viroide 1 del moteado amarillo de la vid (GYSVd-1)	No aplica	Vid	Brasil	(Fajardo et al., 2016)
<i>Pospiviroidae</i>	Viroide del enanismo de los cítricos (CVd-III) y Viroide IV de los cítricos (CVd-IV)	No aplica	Limón tahiti	Colombia	(Murcia et al., 2010)
	Viroide del tubérculo fusiforme de la papa (PSTVd)	No aplica	Uchuva, tomate, pimentón	República Dominicana	(Ling et al., 2014)
	Viroide del enanismo del crisantemo (CSVd)	No aplica	Crisantemo	Brasil	(Gobatto et al., 2014)

Fuente: este estudio

De acuerdo con los resultados de esta revisión, América Latina presenta un gran número de primeros reportes de enfermedades en plantas en los últimos cinco años y, de acuerdo con los criterios presentados por Anderson et al., (2004), son consideradas emergentes porque son causadas por patógenos de nueva aparición; tanto hongos, como oomycetes, bacterias, virus y viroides. En esta misma vía se lograron evidenciar cambios con respecto a su distribución geográfica, rango de hospederos e incluso la aparición de nuevas especies, variantes, cepas y patovares de los patógenos, lo cual también son factores que permiten incluir a estas enfermedades como emergentes (Nunley et al., 2014; Daszak et al., 2000; Pérez-López et al., 2016). Este es el caso de los grupos de fitoplasmas (tabla 4), los cuales, además de producir la enfermedad descrita inicialmente y en el hospedero inicial, han tenido una ampliación en el rango de especies hospederas (Franco-Lara et al., 2020; Aliaga et al., 2018). Por otra parte, debe mencionarse el caso contrario. Algunas especies patógenas se especializan en determinado número de especies de

plantas e incluso se encuentran circunscritas dentro de determinada región geográfica dando lugar a nuevos grupos, como es el caso de *Xylella fastidiosa* y sus subespecies (Mazzaglia et al., 2020).

En términos de enfermedades reemergentes cabe mencionar aquellas históricas como el tizón tardío de la papa, que sigue causando problemas a pesar de la aplicación de programas de manejo (Fry et al., 2015). En esta misma dirección, la antracnosis sigue siendo un problema para Latinoamérica, en especial porque hay diferentes especies y complejos de *Colletotrichum* que causan esta enfermedad dependiendo del cultivo (Silva et al., 2020); encontrando además otras problemáticas asociadas a este género de hongos (Moreno-Moran y Burbano-Figueroa, 2016). Dentro de este mismo ejemplo, se puede mencionar las especies bacterianas del género *Pectobacterium* cuyas estrategias de control a veces no son efectivas, dando lugar a epidemias que son favorecidas bajo el escenario del cambio climático (Nabhan et al., 2013), además de la variabilidad del patógeno, lo que ha conllevado a la identificación de nuevas especies y subespecies que generan

enfermedades en un mismo hospedero o en otros (Charkowski, 2018).

Varios factores que han favorecido la emergencia y reemergencia de enfermedades en plantas en Latinoamérica se identificaron en esta revisión, pudiéndose mencionar, entre ellos, la biología de los vectores, ya que en algunos casos la transmisión de enfermedades se ha dado por procesos de especificidad (tabla 3), pero en otros de inespecificidad, como para *X. fastidiosa*, en el que varios vectores pueden transmitir una misma subespecie que es el caso de CVC en Sao Paulo (Almeida et al., 2005).

La evolución de la interacción planta-patógeno es otro factor para mencionar, debido a que los patógenos pueden generar cepas más virulentas, existiendo una ruptura de la resistencia en la planta. A manera de ejemplo, el Virus Y de la papa (PVY) y sus cepas necrogenicas son consideradas

reemergentes, debido a los filogrupos R1 y R2 que se originaron por procesos de recombinación (Karasev et al., 2013; Gibbs et al., 2017). En Sudamérica, R2 ha desplazado las cepas no recombinantes y tanto R1 como R2 han superado los genes de resistencia presentes en plantas de papa a nivel mundial (Gibbs et al., 2017).

Finalmente, se encontraron especies de virus y viroides causando emergencia y reemergencia de enfermedades en Latinoamérica. Esto se evidencia no solo a través de los primeros reportes (tabla 5), sino en el estudio de los posibles vectores y de la imposibilidad de establecer estrategias de manejo, debido a la gran velocidad de evolución, el salto y expansión de hospederos y a los cambios en la distribución geográfica, lo cual obedece a diferentes factores direccionadores (Jones et al., 2009; Debat et al., 2020; Gobatto et al., 2014; McLeish et al., 2019).

CONCLUSIONES

Latinoamérica es una región afectada por enfermedades emergentes y reemergentes de plantas, lo cual se ve reflejado en una cantidad importante de nuevos reportes, epidemias e incluso pérdidas en términos productivos y económicos.

A través de la revisión de emergencia y reemergencia de enfermedades de plantas en Latinoamérica en los últimos cinco años, se logró evidenciar diferentes procesos de los patógenos como la ampliación del rango de hospederos, aparición en nuevas áreas geográficas, aparición de nuevas especies, variantes, cepas y patovares

De acuerdo con los resultados de la revisión se encontró que en la actualidad hay nuevos grupos de bacterias *Candidatus Liberibacter* y *Candidatus Phytoplasma*, de los cuales varios cuentan con primer reporte en Latinoamérica en los últimos cinco años y que por su ampliación en el rango de hospederos y aparición en nuevas áreas geográficas son considerados emergentes

El conocimiento y estudio de enfermedades emergentes y sus factores direccionadores permitirán en el futuro reducir el impacto de estas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Luz Adriana Pedraza Herrera generó la idea de este artículo y de su objetivo. Revisó artículos sobre las enfermedades emergentes y reemergentes en general y las causadas por hongos, oomycetos, *Candidatus Phytoplasma*, *Candidatus Liberibacter* y viroides; escribió lo correspondientes a estos temas y elaboró las tablas, la discusión y conclusiones. Realizó los ajustes del artículo y la bibliografía al

formato de la revista. Corrigió y acotó los temas revisados por los demás autores.

Fernanda Sánchez revisó artículos sobre las enfermedades emergentes y reemergentes en general, y las causadas por bacterias, escribió lo correspondientes a estos temas y elaboró las tablas, unió toda la información escrita reestructurando el artículo, organizó la bibliografía y propuso el resumen.



Valeria Arias Ávila revisó artículos de virus y viroides, escribió y elaboró las tablas correspondientes a este tema.

María Fernanda Moreno revisó artículos de *Candidatus* Phytoplasma, escribió el texto sobre este tema, colaboró en recopilar información para la tabla de revisión de los grupos para su actualización.

Ligia Consuelo Sánchez supervisó la elaboración de este artículo por parte de sus estudiantes y realizó las correcciones pertinentes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Ciencia, tecnología e innovación de Colombia [Minciencias] (antes Colciencias) por el crédito-beca otorgado a Luz Adriana Pedraza para sus estudios de doctorado, a través de la Convocatoria 757 de 2016 para doctorados nacionales. Agradecemos también al Programa de doctorado en ciencias agrarias y a sus docentes porque proporcionaron las herramientas conceptuales necesarias en la formación de Luz Adriana, lo cual permitió la generación de esta revisión.

LITERATURA CITADA

Acosta, K. I., Silva, F. N., Peña, L., Leyva, R. M., Piñol, B., Zamora, L., Urquiza, G. P. C., Zerbini, F. M., Carvalho, C. M. & Quiñones, M. (2018). First report of '*Candidatus* Phytoplasma asteris' associated with napier grass in Cuba. *Journal of Plant Pathology*, 100(3), 603. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0108-9>

Acosta, K., Zamora, L., Fernández, A., Arocha, Y. & Martínez, Y. (2011). First report of "*Candidatus* Phytoplasma asteris" (group 16SrI) affecting papaya in Cuba. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(6), 2451–2463. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63797-0>

Adeolu, M., Alnajjar, S., Naushad, S. & Gupta, R. S. (2016). Genome-based phylogeny and taxonomy of the "Enterobacterales": proposal for Enterobacterales ord. nov. divided into the families nov., and Budviciaceae fam. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66, 5575–5599. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001485>

Alcorn, S. M., Orum, T. V., Steigerwalt, A., Foster, J. L., Fogleman, A. & Brenner, D. (1991). Taxonomy and Pathogenicity of *Erwinia cacticida* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 41(2), 197–212. <https://doi.org/10.1099/00207713-41-2-197>

Aliaga, F., Hopp, E., Álvarez, E. & Becerra López-Lavalle, L. A. (2018). First report of a '*Candidatus* Phytoplasma asteris' isolate associated with banana elephantiasis disease in Colombia. *New Disease Reports*, 37, 12. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2018.037.012>

Alippi, A. M. & López, A. C. (2009). First Report of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* on *Spathiphyllum wallisii* in Argentina. *Plant Disease*, 93(8), 842. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-8-0842C>

Almeida, R. P. P., Blua, M. J., Lopes, J. R. S. & Purcell, A. H. (2005). Vector Transmission of *Xylella fastidiosa*: Applying Fundamental Knowledge to Generate Disease Management Strategies. *Annals of the Entomological Society of America*, 98(6), 775–786. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2005\)098\[0775:VTOXFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2005)098[0775:VTOXFA]2.0.CO;2)

Al-Saady, N. A., Khan, A. J., Calari, A., Al-Subhi, A. M. & Bertaccini, A. (2008). '*Candidatus* Phytoplasma omanense', associated with witches'-broom of *Cassia italica* (Mill.) Spreng. in Oman. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 58(2), 461–466. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.65425-0>

Al-Saleh, M. A. & Amer, M. (2014). Molecular characterization of the 16sr ii group of phytoplasma associated with faba bean (*Vicia faba* L.) in Saudi Arabia. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 24(1), 221–228.

Álvarez-Romero, P. I., Grabowski Ocampos, C., Carpio, C., Toro, V. S., Ferreira e Ferreira, A. F. T. A. & Mizubuti, E. S. G. (2021). First Report of *Ralstonia solanacearum* Causing Bacterial Wilt of Eucalyptus in Ecuador. *Plant Disease*, 105(1), 211. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2516-PDN>

- Alvarez, E., Mejía, J. F., Contaldo, N., Paltrinieri, S., Duduk, B. & Bertaccini, A. (2014). "Candidatus phytoplasma asteris" strains associated with oil palm lethal wilt in Colombia. *Plant Disease*, 98(3), 311–318. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-12-1182-RE>
- Anderson, P. K., Cunningham, A. A., Patel, N. G., Morales, F. J., Epstein, P. R. & Daszak, P. (2004). Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends Ecology Evolution*, 19(10), 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.021>
- Araujo, L., Franco, Y., Duarte, V. & Gravina, M. (2020) *Pseudomonas syringae* causing bacterial canker on Apple trees in Brazil. *Plant Protection*, 79(4), 467–473. <http://doi.org/10.1590/1678-4499.20200246>
- Arismendi, N. L., Fiore, N. & Carrillo, R. (2015). Absence of Transovarial Transmission of 'Candidatus Phytoplasma ulmi' in the Vector *Ampliphaeus curtulus* Linnavuori & DeLong (Hemiptera: Cicadellidae): Is It a Rule More Than an Exception? *Neotropical Entomology*, 44(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s13744-014-0249-2>
- Arocha, Y., Antesana, O., Montellano, E., Franco, P., Plata, G. & Jones, P. (2007). 'Candidatus Phytoplasma lycopersici', a phytoplasma associated with 'hoja de perejil' disease in Bolivia. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 57(8), 1704–1710. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64851-0>
- Arocha, Y., Piñol, B., Picornell, B., Almeida, R. & Jones, P. (2006). First report of a 16SrII ('Candidatus Phytoplasma aurantifolia') group phytoplasma associated with a bunchy-top disease of papaya in Cuba. *Plant Pathology*, 55(6), 821. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01480.x>
- Arocha, Y., Plata, G., Franco, J., Maín, G., Veramendi, S., Lazcano, F., Crespo, J. L., Lino, V., Calderón, C., Llerena, R., Andrew, R., Antezana, O., Gutiérrez, A., Coca, M. & Boa, E. (2010). First report of a 16SrIII phytoplasma (X-disease group) affecting bell pepper, strawberry (frutilla), *Schinus molle* and *Arracacia xanthorrhiza* in Cochabamba, Bolivia. *Plant Pathology*, 59(2), 395. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02235.x>
- Arocha, Y., Piñol, B., Picornell, B., Almeida, R., Jones, P. & Boa, E. (2006). Basil little leaf: A new disease associated with a phytoplasma of the 16SrI (Aster Yellows) group in Cuba. *Plant Pathology*, 55(6), 822. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01481.x>
- Arocha, Y., Singh, A., Pandey, M., Tripathi, A. N., Chandra, B., Shukla, S. K., Singh, Y., Kumar, A., Srivastava, R. K., Zaidi, N. W., Arif, M., Narwal, S., Tewari, A. K., Gupta, M. K., Nath, P. D., Rabindran, R., Khirbat, S. K., Byadgi, A. S., Singh, G. & Boa, E. (2009). New plant hosts for group 16SrII, "Candidatus Phytoplasma aurantifolia", in India. *Plant Pathology*, 58(2), 391. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01969.x>
- Arocha, Y., López, M., Piñol, B., Fernández, M., Picornell, B., Almeida, R., Palenzuela, I., Wilson, M. R. & Jones, P. (2005). "Candidatus Phytoplasma graminis" and "Candidatus Phytoplasma caricae", two novel phytoplasmas associated with diseases of sugarcane, weeds and papaya in Cuba. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(6), 2451–2463. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63797-0>
- Ayala-Escobar, V., Pérez-López, A., Suaste-Dzul, A. P., Leyva-Mir, S. G. & Tovar-Pedraza, J. M. (2019). First report of *Pseudocercospora punicae* causing black spot of pomegranate fruit in Mexico. *Journal of Plant Pathology*, 101(2), 403. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0181-0>
- Barroso, K. A., Moraes, A. J. G., Mariano, R. L. R., Gama, M. A. S., Souza, E. B., Queiroz, M. F., Silva, G. S. P., Da Paz, C. D. & Peixoto, A. R. (2019). First Report of *Pectobacterium aroidearum* Causing Soft Rot in Lettuce and Chinese Cabbage in Brazil. *Plant Disease*, 103(12), 3274. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-18-2237-PDN>
- Batista, J. G., Melo, F. L., Pereira-Carvalho, R. C., Alves-Freitas, D. M. T. & Ribeiro, S. G. (2019). First report of tomato apical leaf curl virus infecting tomato in Brazil. *Plant Disease*, 103(6), 1443. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1636-PDN>



- Beever, R. E., Wood, G. A., Andersen, M. T., Pennycook, S. R., Sutherland, P. W. & Forster, R. L. S. (2004). "Candidatus phytoplasma australiense" in *Coprosma robusta* in New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 42(4), 663–675. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2004.9512918>
- Bellé, C., Ramos, R. F., Gabriel, M., Kaspary, T. E. & de Brida, A. L. (2019). *Colletotrichum gloeosporioides* causing leaf anthracnose on *Oxalis corniculata* in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes*, 14(1), 36. <https://doi.org/10.1007/s13314-019-0367-0>
- Berkeley, M. J. (1948). *Observations, Botanical and Physiological, on the Potato Murrain*. The American Phytopathological Society. <https://doi.org/10.1094/9780890545232>
- Betancourt, C., Salomón, C., Moreno Henao, J. M., Montaña, S., Salazar, C., Uribe, P., Martínez, A., Muñoz, L. & Cuervo, M. (2020). First report of Sugarcane mosaic virus in achira (*Canna edulis* Ker.) in Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1), 1–8. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1461>
- Bila, J., Modjana, A., Samils, B., Hogberg, N., Wilson, M. & Santos, L. (2017). First report of 'Candidatus Phytoplasma palmicola' detection in the planthopper *Dioscumbus mkurangai* in Mozambique. *Bulletin of Insectology*, 70(1): 45–48
- Bongiorno, V., Alessio, F., Curzel, V., Nome, C., Fernández, F. D. & Conci, L. R. (2020). 'Ca. Phytoplasma pruni' and 'Ca. Phytoplasma meliae' are affecting plum in Argentina. *Australasian Plant Disease Notes*, 15(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13314-020-00406-8>
- Cabrera-Huerta, E., Arandas-Ocampo, S., Hernandez-Castro, E., Nava-Díaz, C., Mora-Aguilera, A. & Vasquez-Lopez, A. (2019). First Report of Bacterial Wilt Caused by *Dickeya chrysanthemi* on Agave-Mezcal (*Agave cupreata*) in Mexico. *Plant Disease*, 103, 6. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0877-PDN>
- Caicedo, J., Vallejo, M., Simbaña, L. & Rivera, L. (2020). First report of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' causing leaf discoloration and wilting in tamarillo and cape gooseberry in Ecuador. *New Disease Reports*, 41(30). <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2020.041.030>
- Canale, M. C. & Bedendo, I. P. (2020). Report of 'Candidatus Phytoplasma hispanicum' (16SrXIII-E) Associated with Cauliflower Stunt in São Paulo State, Brazil, and *Balclutha hebe* as Its Potential Vector. *Plant Disease*, 104(3), 967. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-19-2111-PDN>
- Candresse, T. & Fuchs, M. (2020). Closteroviridae. *Els*, 1–10. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0000747.pub4>
- Cardoza, Y. F., Duarte, V. & Lopes, C. A. (2017). First Report of Blackleg of Potato Caused by *Dickeya solani* in Brazil. *Plant Disease*, 101(1), 243–243. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-16-1045-PDN>
- Céspedes, M., Cárdenas, M., Vargas, A., Rojas, A., Morales, J., Jiménez, P., Bernal, A. & Restrepo, S., (2013). Physiological and molecular characterization of *Phytophthora infestans* isolates from the Central Colombian Andean Region. *Revista Iberoamericana de Micología*. 30(2), 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2012.09.005>
- Charkowski, A. O. (2018). The Changing Face of Bacterial Soft-Rot Diseases. Annual review of phytopathology, 56, 269–288. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045906>
- Charkowski, A. O. (2015). Biology and control of *Pectobacterium* in potato. *American Journal of Potato Research*, 92(2), 223–229. <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9447-7>
- Chatterjee, S., Almeida, R. P. P. & Lindow, S. (2008). Living in two Worlds: The Plant and Insect Lifestyles of *Xylella fastidiosa*. *Annual Review of Phytopathology*, 46(1), 243–271. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto.45.062806.094342>
- Chen, J., Groves, R., Civerolo, E. L., Viveros, M., Freeman, M. & Zheng, Y. (2007). Two *Xylella fastidiosa* Genotypes Associated with Almond Leaf Scorch Disease on the

Same Location in California. *Phytopathology*, 95(6), 708–714. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0708>

Chingandu, N., Zia-ur-rehman, M., Sreenivasan, T. N., Surujdeo-Maharaj, S., Umaharan, P., Gutierrez, O. A. & Brown, J. K. (2017). Molecular characterization of previously elusive Badnaviruses associated with symptomatic cacao in the New World. *Archives of Virology*, 162(5), 1363–1371. <https://doi.org/10.1007/s00705-017-3235-2>

Chowda-Reddy, R. V., Kirankumar, M., Seal, S. E., Muniyappa, V., Valand, G. B., Govindappa, M. R. & Colvin, J. (2012). *Bemisia tabaci* Phylogenetic Groups in India and the Relative Transmission Efficacy of Tomato leaf curl Bangalore virus by an Indigenous and an Exotic Population. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(2), 235–248. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60008-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60008-2)

Chuche, J., Danet, L., Salar, P., Foissac, X. & Thiéry, D. (2016). Transmission of 'Candidatus Phytoplasma solani' by *Reptalus quinquecostatus* (Hemiptera:Cixiidae). *Annals of Applied Biology*, 169(2), 214–223. <https://doi.org/10.1111/aab.12291>

Conci, L., Meneguzzi, N., Galdeano, E., Torres, L., Nome, C., & Nome, S. (2005). Detection and molecular characterisation of an alfalfa phytoplasma in Argentina that represents a new subgroup in the 16S rDNA Ash Yellows group ('Candidatus Phytoplasma fraxini'). *European Journal of Plant Pathology*, 113(3), 255–265. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-0298-9>

Contreras-Maya, R. & Villegas-Monter, A. (2020). First report VT isolate of Citrus Tristeza Virus in Veracruz, Mexico. *Horticulture International Journal*, 4(3), 75–76. <https://doi.org/10.15406/HIJ.2020.04.00161>

Corredor-Moreno, P. & Saunders, D.G.O. (2020). Expecting the unexpected: factors influencing the emergence of fungal and oomycete plant pathogens. *New Phytologist*, 225, 118–125. <https://doi.org/10.1111/nph.16007>

Corzo, M., Quiñones, M.L. & Paul, K. P. (2019). First report of *Xanthomonas*

campestris causing black rot of chard in Cuba. *New Disease Reports*, 39, 13. <http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2019.039.013>

Cvrković, T., Jović, J., Mitrović, M., Krstić, O. & Toševski, I. (2014). Experimental and molecular evidence of *Reptalus panzeri* as a natural vector of bois noir. *Plant Pathology*, 63(1), 42–53. <https://doi.org/10.1111/ppa.12080>

Da Silva, L. L., Moreno, H., Correia, H., Santana, M. F. & de Queiroz, M. V. (2020). *Colletotrichum*: species complexes, lifestyle, and peculiarities of some sources of genetic variability. *Applied microbiology and biotechnology*, 104(5), 1891–1904. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10363-y>

Damm, U., Sato, T., Alizadeh, A., Groenewald, J. Z. & Crous, P. W. (2019). The *Colletotrichum dracaenophilum*, *C. magnum* and *C. orchidearum* species complexes. *Studies in mycology*, 92, 1–46. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.04.001>

Da Paz, S. L., Neves, C. G., De Souza, I. T., Bescerra, M., Nascimento, F., & Ribeiro, D. (2020). Detection and Partial Molecular Characterization of a Badnavirus Isolate in Brazil. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 52787–52796. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-794>

Daszak, P., Cunningham, A. A. & Hyatt, A. D. (2000). Emerging Infectious Diseases of Wildlife-- Threats to Biodiversity and Human Health. *Science*, 287(5452), 443–449. <https://doi.org/10.1126/science.287.5452.443>

Davis, R. E., Zhao, Y., Wei, W., Dally, E. L. & Lee, I. M. (2017). 'Candidatus Phytoplasma luffae', a novel taxon associated with witches' broom disease of loofah, *Luffa aegyptica* Mill. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67(8), 3127–3133. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001980>

Davis, R. E., Harrison, N. A., Zhao, Y., Wei, W. & Dally, E. L. (2016). 'Candidatus Phytoplasma hispanicum', a novel taxon associated with Mexican periwinkle virescence disease of *Catharanthus roseus*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(9), 3463–3467. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001218>



- Davis, R. E., Zhao, Y., Dally, E. L., Lee, I. M., Jomantiene, R. & Douglas, S. M. (2013). "Candidatus Phytoplasma pruni", a novel taxon associated with X-disease of stone fruits, *Prunus* spp.: Multilocus characterization based on 16S rRNA, secY, and ribosomal protein genes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(2), 766–776. <https://doi.org/10.1099/ijse.0.041202-0>
- De Rojas, E. y Ruíz, E., (1972). *Investigaciones sobre la pudrición del cogollo y pudrición de la flecha de la palma africana en la plantación de la Arenosa de Colcesa S.A (Turbo, Ant)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- De Silva, D. D., Groenewald, J. Z., Crous, P. W., Ades, P. K., Nasruddin, A., Mongkolporn, O. & Taylor, P. (2019). Identification, prevalence and pathogenicity of *Colletotrichum* species causing anthracnose of *Capsicum annuum* in Asia. *IMA fungus*, 10(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s43008-019-0001-y>
- Debat, H., Luna, F., Moyano, S., Zavallo, D., Asurmendi, S. & Gomez-Talquenca, S. (2020). First report of grapevine *Pinot gris virus* infecting grapevine in Argentina. *Journal of Plant Pathology*, 102, 42161. <https://doi.org/10.1007/s42161-020-00608-0>
- Dees, M. W., Lysøe, E., Rossmann, S., Perminow, J., & Brurberg, M. B. (2017). *Pectobacterium polaris* sp. nov., isolated from potato (*Solanum tuberosum*). *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 67(12), 5222–5229. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.002448>
- Di Serio, F., Flores, R., Verhoeven, J. Th. J., Li, S.-F., Pallás, V., Randles, J. W., Sano, T., Vidalakis, G. & Owens, R. A. (2014). Current status of viroid taxonomy. *Archives of Virology*, 159(12), 3467–3478. <https://doi.org/10.1007/s00705-014-2200-6>
- Drenth, A., Janssen, E.M. & Govers, F. (1995). Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology*, 44, 86–94. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02719.x>
- Duarte, V., De Boer, S. H., Ward, L. J. & De Oliveira, A. M. R. (2004). Characterization of atypical *Erwinia carotovora* strains causing blackleg of potato in Brazil. *Journal of Applied Microbiology*, 96, 535–545. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02173.x>
- Dyer, R. A. (1949). Botanical surveys and control of plant diseases. *Farming in South Africa*, 24(275), 119–121.
- Etropolska, A. & Lefort, F. (2019). First report of *Candidatus Phytoplasma prunorum*, the European stone fruit yellows phytoplasma on peach trees on the territory of Canton of Geneva. Switzerland. *International Journal of Phytopathology*, 8(2), 63–67. <https://doi.org/10.33687/phytopath.008.02.2965>
- Fajardo, T. V. M., Eiras, M. & Nickel, O. (2016). Detection and molecular characterization of Grapevine yellow speckle viroid 1 isolates infecting grapevines in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 41(4), 246–253. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0097-1>
- Félix-Gastélum, R., Maldonado-Mendoza, I., Olivas-peraza, N., Peñuelas-Rubio, O., Leyva-Madrigal, K., Cervantes-Gámez, R., Lizarraga-Sanchez, G. & Longoria-Espinoza, R. (2019). First report of sesame spot caused by *Xanthomonas campestris* pv. *sesami* in Sinaloa, Mexico. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 41, 2019. <https://doi.org/10.1080/07060661.2019.1566181>
- Fernández, F. D., Guzmán, F. A., Baffoni, P., Reinoso, L., Kiehr, M., Delhey, R., Favere, V. M., Galdeano, E. & Conci, L. R. (2020). Phytoplasmas of subgroup 16SrIII-J associated with *Beta vulgaris* in Argentina. *Tropical Plant Pathology*, 45(2), 143–147. <https://doi.org/10.1007/s40858-019-00317-9>
- Ferriol-Marchena, X., Hernández-Rodríguez, L., Luis-Pantoja, M., García-García, G., Banguela-Castillo, A. & Pérez, J. M. (2013). First report of a 'Candidatus Phytoplasma asteris' isolate affecting a strawberry nursery in Cuba. *New Disease Reports*, 28(1), 19. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2013.028.019>
- Flores, R. & Owens, R. A. (2021). Viroids (Pospiviroidae and Avsunviroidae).

Encyclopedia of Virology, 3, 852-861.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.21257-0>

Foissac, X., Jreijiri, F., Salar, P., Wakim, S., Danet, J. L. & Choueiri, E. (2019). A 'Candidatus Phytoplasma omanense'-related strain detected in yellowing grapevine, stunted bindweed and Cixiidae planthoppers in Lebanon. *European Journal of Plant Pathology*, 153(1), 265-272. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1525-5>

Franco-Lara, L., García, J. A., Bernal, Y. E. & Rodríguez, R. A. (2020). Diversity of the 'Candidatus Phytoplasma asteris' and 'Candidatus Phytoplasma fraxini' isolates that infect urban trees in Bogotá, Colombia. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(12), 6508-6517. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004553>

Fry, W. E., Birch, P. R., Judelson, H. S., Grünwald, N. J., Danies, G., Everts, K. L., Gevens, A. J., Gugino, B. K., Johnson, D. A., Johnson, S. B., McGrath, M. T., Myers, K. L., Ristaino, J. B., Roberts, P. D., Secor, G. & Smart, C. D. (2015). Five Reasons to Consider *Phytophthora infestans* a Reemerging Pathogen. *Phytopathology*, 105(7), 966-981. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-15-0005-FI>

Fry W. (2008). *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular plant pathology*, 9(3), 385-402. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x>

Galetto, L., Bosco, D., Balestrini, R., Genre, A., Fletcher, J. & Marzachi, C. (2011). The major antigenic membrane protein of "Candidatus Phytoplasma asteris" selectively interacts with ATP synthase and actin of leafhopper vectors. *Plos one*, 6(7), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022571>

Gallois, A., Samson, R., Ageron, E. & Grimont, P. A. D. (1992). *Erwinia carotovora* subsp. *odorifera* subsp. nov., Associated with Odorous Soft Rot of Chicory (*Cichorium intybus* L.). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 42(4). <https://doi.org/10.1099/00207713-42-4-582>

García-Bastidas, F. A., Quintero-Vargas, J. C., Ayala-Vasquez M., Shermer, T., Sedl, M.F., Santos-Paiva, M., Noguera, A.M., Aguilera-Galvez, C., Wittenberg, R., Sorensen, A. & Kema, G.H. (2020). First Report of *Fusarium* Wilt Tropical Race 4 in Cavendish Bananas Caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. *Plant Disease*, 104(3). <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-1922-PDN>

Gardan, L., Gouy, C., Christen, R. & Samson, R. (2003). Elevation of three subspecies of *Pectobacterium carotovorum* to species level: *Pectobacterium atrosepticum* sp. nov., *Pectobacterium betavasculorum* sp. nov. and *Pectobacterium wasabiae* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(2), 381-391. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.02423-0>

Garibaldi, A., Berletti, D., Rapetti, S. & Gullino, M. L. (2011) First report of a new *Fusarium oxysporum* causing carnation wilt in Colombia. *Journal of plant pathology*, 93(4), 1.

Gergerich, R. C. y Dolja V. V. (2008). Introducción a los Virus Vegetales, el Enemigo Invisible. *The Plant Health Instructor*. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2008-0122-01>

Ghosh, D. K., Motghare, M., Kokane, A., Kokane, S., Warghane, A., Bhose, S., Surwase, D. & Ladaniya, M. S. (2019). First report of a 'Candidatus Phytoplasma cynodontis'-related strain (group 16SrXIV) associated with Huanglongbing disease on *Citrus grandis*. *Australasian Plant Disease Notes*, 14(1), 9. <https://doi.org/10.1007/s13314-019-0340-y>

Gibbs, A. J., Ohshima, K., Yasaka, R., Mohammadi, M., Gibbs, M. J. & Jones, R. (2017). The phylogenetics of the global population of *potato virus Y* and its necrogenic recombinants. *Virus evolution*, 3(1). <https://doi.org/10.1093/ve/vex002>

Gillis, A., Santana, M. A., Rodríguez, M. & Romay, G. (2017). First Report of Bell Pepper Soft-Rot Caused by *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* in Venezuela. *Plant Pathology*, 101(9), 27-29. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-17-0361-PDN>



- Gobatto, D., Chaves, A. L. R., Harakava, R., Marque, J. M., Daròs, J. A. & Eiras, M. (2014). Chrysanthemum Stunt Viroid in Brazil: survey, identification, biological and molecular characterization and detection methods. *Journal of Plant Pathology*, 96(1), 111-119. <http://dx.doi.org/10.4454/JPP.V96I1.037>
- Gómez-Alpizar, L., Carbone, I. & Ristaino, J. B. (2007). An Andean origin of *Phytophthora infestans* inferred from mitochondrial and nuclear gene genealogies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(9), 3306-3311. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611479104>
- González, A. D., Franco, M. A., Contreras, N., Galindo-Castro, I., Jayaro, Y. & Graterol, E. (2015). First Report of *Pantoea agglomerans* Causing Rice Leaf Blight in Venezuela. *Plant Disease*, 99(4). <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-14-0736-PDN>
- González, F., Zamorano, A., Pino, A. M., Paltrinieri, S., Bertaccini, A. & Fiore, N. (2011). Identification of phytoplasma belonging to X-disease group in cherry in Chile. *Bulletin of Insectology*, 64.
- Gootz, T. D. (2010). The Global Problem of Antibiotic Resistance. *Critical Reviews in Immunology*, 30(1), 79-93. <https://doi.org/10.1615/critrevimmunol.v30.i1.60>
- Goss, E. M., Tabima, J. F., Cooke, D. E., Restrepo, S., Fry, W. E., Forbes, G. A., Fieland, V. J., Cardenas, M. & Grünwald, N. J. (2014). The Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans* originated in central Mexico rather than the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(24), 8791-8796. <https://doi.org/10.1073/pnas.1401884111>
- Greger, M. (2007). The Human/Animal Interface: Emergence and Resurgence of Zoonotic Infectious Diseases. *Critical Reviews in Microbiology*, 33(4), 243-299. <https://doi.org/10.1080/10408410701647594>
- Grenville-Briggs, L. J. & West, P. van. (2005). The Biotrophic Stages of Oomycete-Plant Interactions. *Advances in Applied Microbiology*, 57, 217-243. [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(05\)57007-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(05)57007-2)
- Guevara, F. E., Oviedo, M. A., Corral, M., Viera, W. F., Garrido, P. A., Leon-Reyes, A. & Flores, F. J. (2019). First Report of Alternaria Brown Spot in Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) Caused by *Alternaria alternata* in Ecuador. *Plant Disease*, 103(11), <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-19-0416-PDN>
- Guglielmi Montano, H. & Arocha Rosete, Y. (2019). First report of the identification of a 'Candidatus Phytoplasma pruni'-related strain of phytoplasma in *Melothria pendula*. *New Disease Reports*, 39(1), 5. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2019.039.005>
- Guo, T., Guo, Q., Cui, X. Y., Liu, Y. Q., Hu, J. & Liu, S. S. (2015). Comparison of transmission of Papaya leaf curl China virus among four cryptic species of the whitefly *Bemisia tabaci* complex. *Scientific Reports*, 5, 1-9. <https://doi.org/10.1038/srep15432>
- Haapalainen, M., Wang, J., Latvala, S., Lehtonen, M. T., Pirhonen, M. & Nissinen, A. I. (2018). Genetic Variation of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' Haplotype C and Identification of a Novel Haplotype from *Trioza urticae* and Stinging Nettle. *Phytopathology*, 108(8), 925-934. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-17-0410-R>
- Haapalainen, M. (2014). Biology and epidemics of *Candidatus Liberibacter* species, psyllid-transmitted plant-pathogenic bacteria. *Annals of Applied Biology*, 165(2), 172-198. <https://doi.org/10.1111/aab.12149>
- Hall, D. G., Richardson, M. L., Ammar, E.-D. & Halbert, S. E. (2013). Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus huanglongbing disease. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 146(2), 207-223. <https://doi.org/10.1111/eea.12025>
- Harrison, N. A., Davis, R. E., Oropeza, C., Helmick, E. E., Narváez, M., Eden-Green, S., Dollet, M. & Dickinson, M. (2014). 'Candidatus Phytoplasma palmicola', associated with a lethal yellowing-type disease of coconut (*Cocos nucifera* L.) in Mozambique. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 64(6), 1890-1899. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.060053-0>

- Hartman, T., Tharnish, B., Harbour, J., Yuen, G. Y. & Jackson-Ziems, T. A. (2020). Alternative Hosts in the Families Poaceae and Cyperaceae for *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum*, Causal Agent of Bacterial Leaf Streak of Corn. *Phytopathology*, 110(6), 1147–1152. <https://doi.org/10.1094/PHTO-04-19-0132-R>
- Hodgetts, J., Flint, L. J. & Fox, A. (2015). First report of 'Candidatus phytoplasma ulmi' (16SrV-A) associated with *Ulmus* cultivar Morfeo (elm) in the United Kingdom. *New Disease Reports*, 32(1), 26. <http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2015.032.026>
- Hogenhout, S. A., Oshima, K., Ammar, E. D., Kakizawa, S., Kingdom, H. N. & Namba, S. (2008). Phytoplasmas: Bacteria that manipulate plants and insects. *Molecular Plant Pathology*, 9(4), 403–423. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00472.x>
- Hopkins, D. W., Swanson, M. M. & Taliansky, M. E. (2014). What Do We Know About Viruses in Terrestrial Antarctica? En D. A. Cowan (Ed.). *Antarctic Terrestrial Microbiology* (pp. 79-90). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-45213-0_5
- Institute of Medicine (1992). *Emerging Infections: Microbial Threats to Health in the United States*. En J. Lederberg, R. E. Shope & S. C. Oaks (Eds). National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/2008>
- Jaramillo, A., Huertas, C. A. & Gomez, E. (2017). First Report of Bacterial Stem Rot of Tomatoes Caused by *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* in Colombia. *Plant Disease*, 101(5), 10–11. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-16-1184-PDN>
- Jones, R. A. C. (2009). Plant virus emergence and evolution: Origins, new encounter scenarios, factors, driving emergence, effects of changing world conditions, and prospect for control. *Virus Research*, 141(2), 113-130. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.07.028>
- Jović, J., Krstić, O., Toševski, I., & Gassmann, A. (2011). The occurrence of 'Candidatus phytoplasma rhamni' in *Rhamnus cathartica* L. without symptoms. *Bulletin of Insectology*, 64.
- Jović, J., Cvrković, T., Mitrović, M., Krnjajić, S., Redinbaugh, M. G., Pratt, R. C., Gingery, R. E., Hogenhout, S. A. & Toševski, I. (2007). Roles of stolbur phytoplasma and *Reptalus panzeri* (Cixiinae, Auchenorrhyncha) in the epidemiology of Maize redness in Serbia. *European Journal of Plant Pathology*, 118(1), 85-89. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9105-0>
- Jung, Hee-Young, Sawayanagi, T., Kakizawa, S., Nishigawa, H., Miyata, S., Oshima, K., Ugaki, M., Lee, J.-T., Hibi, T. & Namba, S. (2002). «Candidatus Phytoplasma castaneae», a novel phytoplasma taxon associated with chestnut witches' broom disease. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52(5), 1543-1549. <https://doi.org/10.1099/00207713-52-5-1543>
- Jung, H. Y., Sawayanagi, T., Wongkaew, P., Kakizawa, S., Nishigawa, H., Wei, W., Oshima, K., Miyata, S. I., Ugaki, M., Hibi, T. & Namba, S. (2003). "Candidatus phytoplasma oryzae", a novel phytoplasma taxon associated with rice yellow dwarf disease. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(6), 1925–1929. <https://doi.org/10.1099/ijjs.0.02531-0>
- Karasev, A. V. & Gray, S. M. (2013). Continuous and emerging challenges of Potato virus Y in potato. *Annual review of phytopathology*, 51, 571–586. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102332>
- Khay, S., Cigna, J., Chong, T. M., Quêtu-Laurent, A., Chan, K.-G., Hélias, V. & Faure, D. (2016). Transfer of the potato plant isolates of *Pectobacterium wasabiae* to *Pectobacterium parmentiere* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(12), 5379–5383. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001524>
- Kim, H. S., Ma, B., Perna, N. T. & Charkowski, A. O. (2009). Phylogeny and virulence of naturally occurring type III secretion system-deficient *Pectobacterium* strains. *Applied and environmental microbiology*, 75(13), 4539–4549. <https://doi.org/10.1128/AEM.01336-08>
- Kryczyński, S., Paduch-Cichal, E. & Skrzeczkowski, L. (1988). Transmission of Three Viroids Through Seed and



- Pollen of Tomato Plants. *Journal of Phytopathology*, 121(1), 51–7. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1988.tb00952.x>
- Kumar, A. (2015). Anthracnose diseases of some common medicinally important fruit plants. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 4(3), 233–236.
- Kumar, S., Jadon, V., Tiwari, A. K., & Rao, G. P. (2015). *Exitianus indicus* (Distant): a putative vector for 'Candidatus Phytoplasma cynodontis' in India. *Phytopathogenic Mollicutes*, 5(1). <http://dx.doi.org/10.5958/2249-4677.2015.00021.3>
- Lee, I. M., Bottner-Parker, K., Zhao, Y., Villalobos, W. & Moreira, L. (2011). 'Candidatus Phytoplasma costaricanum' a novel phytoplasma associated with an emerging disease in soybean (*Glycine max*). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61, 2822–2826. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.029041-0>
- Lee, I. M., Bottner, K. D., Secor, G. & Rivera-Varas, V. (2006). "Candidatus Phytoplasma americanum", a phytoplasma associated with a potato purple top wilt disease complex. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 56(7), 1593–1597. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64251-0>
- Lee, I. M., Gundersen-Rindal, D. E., Davis, R. E., Bottner, K. D., Marcone, C. & Seemüller, E. (2004). "Candidatus Phytoplasma asteris", a novel phytoplasma taxon associated with aster yellows and related diseases. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(4), 1037–1048. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02843-0>
- Lee, I. M., Davis, R. E. & Gundersen-Rindal, D. E. (2000). Phytoplasma: phytopathogenic mollicutes. *Annual review of microbiology*, 54, 221–255. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.54.1.221>
- Leite, R., Custódio, A. A. P., Madalosso, T., Robaina, R. R., Duin, I. & Sugahara, V. (2018). First report of the occurrence of bacterial leaf streak of corn caused by *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum* in Brazil. *Plant Disease*, 103(1), 1–4. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-1100-PDN>
- Leonard, M. T., Fagen, J. R., Davis-Richardson, A. G., Davis, M. J. & Triplett, E. W. (2012). Complete genome sequence of *Liberibacter crescens* BT-1. *Standards in genomic sciences*, 7(2), 271–283. <https://doi.org/10.4056/sigs.3326772>
- Li, Z. N., Bai, Y. B., Liu, P., Zhang, L. & Wu, Y. F. (2014). Occurrence of "Candidatus Phytoplasma ziziphi" in apple trees in China. *Forest Pathology*, 44(5), 417–419. <https://doi.org/10.1111/efp.12126>
- Li, W., Hartung, J. S. & Levy, L. (2006). Quantitative real-time PCR for detection and identification of *Candidatus Liberibacter* species associated with citrus huanglongbing. *Journal of microbiological methods*, 66(1), 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2005.10.018>
- Liefting, L. W., Padovan, A. C., Gibb, K. S., Beever, R. E., Andersen, M. T., Newcomb, R. D., Beck, D. L. & Forster, R. L. S. (1998). 'Candidatus Phytoplasma australiense' is the phytoplasma associated with Australian grapevine yellows, papaya dieback and Phormium yellow leaf diseases. *European Journal of Plant Pathology*, 104, 619–623. <https://doi.org/10.1023/A:1008693904427>
- Ling, K. S., Li, R., Groth-Helms, D. & Assis-Filho, F. M. (2014). First Report of Potato spindle tuber viroid Naturally Infecting Field Tomatoes in the Dominican Republic. *Plant Disease*, 98(5), 701. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-13-0992-PDN>
- Liu, F., Wang, M., Damm, U., Crous, P. W. & Cai, L. (2016). Species boundaries in plant pathogenic fungi: A *Colletotrichum* case study. *BMC Evolutionary Biology*, 16(1), 81. <https://doi.org/10.1186/s12862-016-0649-5>
- Lopes, S. A., Raiol-Júnior, L. L., Torres, S., Martins, E. C., Prado, S. S. & Beriam, L. (2020). Differential Responses of Tobacco to the Citrus Variegated Chlorosis and Coffee Stem Atrophy Strains of *Xylella fastidiosa*. *Phytopathology*, 110(3), 567–573. <https://doi.org/10.1094/PHTO-10-19-0374-R>
- Luigi, M., Manglli, A., Tomassoli, L. & Faggioli, F. (2013) First report of Hop stunt viroid in *Hibiscus rosa-sinensis* in Italy. *New*

Disease Reports, 27, 14. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2013.027.014>

Maddahian, M., Massumi, H., Heydarnejad, J., Hosseinipour, A., Khezri, A. & Sano, T. (2019). Biological and molecular characterization of hop stunt viroid variants from pistachio trees in Iran. *Journal of Phytopathology*, 167(3), 163–173. <https://doi.org/10.1111/jph.12783>

Madariaga, M. & Ramírez, I. (2019). Identification of a phytoplasma associated with witches' broom symptoms in calafate (*Berberis microphylla* G. forst.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(3), 493–498. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000300493>

Mafia, R. G., Barreto, R. W., Vanetti, C. A., Hodgetts, J., Dickinson, M. & Alfenas, A. C. (2008). A phytoplasma associated with witches' broom disease of *Tabebuia pentaphylla* in Brazil. *Plant Pathology*, 57(2), 365. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01745.x>

Maixner, M. (1994). Transmission of German grapevine yellows (Vergilbungskrankheit) by the planthopper *Hyalesthes obsoletus* (Auchenorrhyncha: Cixiidae). *Vitis*, 33, 103–104.

Malaguti G. (1953). "Pudrición del cogollo" de la palmera Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Venezuela. *Agronomía Trópica*, 3, 13–31.

Manzano León, A. M., Serra Hernández, W., García Pérez, L. Crespo, K., & Guarnaccia, V. (2018). First report of leaf anthracnose caused by *Colletotrichum grossum* on mango (*Mangifera indica*) in Cuba. *J Plant Pathology*, 100, 329. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0040-z>

Marcone, C., Gibb, K., Streten, C. & Schneider, B. (2004). 'Candidatus Phytoplasma spartii', 'Candidatus Phytoplasma rhamni' and 'Candidatus Phytoplasma allocasuarinae', respectively associated with spartium witches'-broom, buckthorn witches'-broom and allocasuarina yellows diseases. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*,

54(4), 1025–1029. <https://doi.org/10.1099/IJS.0.02838-0>

Marcone, C., Schneider, B. & Seemüller, E. (2004). 'Candidatus Phytoplasma cynodontis', the phytoplasma associated with Bermuda grass white leaf disease. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(4), 1077–1082. <https://doi.org/10.1099/ijss.0.02837-0>

Marin-Felix, Y., Hernández-Restrepo, M., Iturrieta-González, I., García, D., Gené, J., Groenewald, J. Z., Cai, L., Chen, Q., Quaedvlieg, W., Schumacher, R. K., Taylor, P., Ambers, C., Bonthond, G., Edwards, J., Krueger-Hadfield, S. A., Luangsa-Ard, J. J., Morton, L., Moslemi, A., Sandoval-Denis, M., Tan, Y. P ... Crous, P. W. (2019). Genera of phytopathogenic fungi: GOPHY 3. *Studies in mycology*, 94, 1–124. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2019.05.001>

Martínez-Marrero, N., Avalos-Calleros, J. A., Chiquito-Almanza, E., Acosta-Gallegos, J. A., Ambríz-Granados, S., Anaya-López, J. L. & Argüello-Astorga, G. R. (2020). A new begomovirus isolated from a potyvirus-infected bean plant causes asymptomatic infections in bean and *N. benthamiana*. *Archives of Virology*, 165(7), 1659–1665. <https://doi.org/10.1007/s00705-020-04646-y>

Maryani, N., Lombard, L., Poerba, Y. S., Subandiyah, S., Crous, P. W. & Kema, G. (2019). Phylogeny and genetic diversity of the banana Fusarium wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. *Studies in mycology*, 92, 155–194. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.06.003>

Mauck, K. E., Sun, P., Meduri, V. & Hansen, A. K. (2019). New Ca. Liberibacter psyllaureous haplotype resurrected from a 49-year-old specimen of *Solanum umbelliferum*: A native host of the psyllid vector. *Scientific Reports*. 9(1), 9530. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45975-6>

Mauricio-Castillo, J. A., Salas-Muñoz, S., Velásquez-Valle, R., Ambríz-Granados, S. & Reveles-Torres, L. R. (2015). "Candidatus Phytoplasma trifolii" (16SrVI) en Chile mirasol (*Capsicum annuum* L.) cultivado en zacatecas,



- México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 389–396. <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.4.389>
- Mazzaglia, A., Rahi, Y. J., Taratufolo, M. C., Tati, M., Turco, S., Ciarroni, S., Tagliavento, V., Valentini, F., D'Onghia, A. M. & Balestra, G. M. (2020). A new inclusive MLVA assay to investigate genetic variability of *Xylella fastidiosa* with a specific focus on the Apulian outbreak in Italy. *Scientific Reports*, 10(1), 10856. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68072-5>
- Mcclure, M. S. (1980). Spatial and Seasonal Distributions of Leafhopper Vectors of Peach X-Disease in Connecticut. *Environmental Entomology*, 9(5), 668–672. <https://doi.org/10.1093/ee/9.5.668>
- McDonald, B. A. & Stukenbrock, E. H. (2016). Rapid emergence of pathogens in agro-ecosystems: Global threats to agricultural sustainability and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1709). <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0026>
- McLeish, M. J., Fraile, A. & García-Arenal, F. (2019). Evolution of plant-virus interactions: Host range and virus emergence. *Current Opinion in Virology*, 34, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2018.12.003>
- Melgarejo, T. A., Rojas, M. R. & Gilbertson, R. L. (2019). A bipartite begomovirus infecting *Boerhavia erecta* (Family Nyctaginaceae) in the Dominican Republic represents a distinct phylogenetic lineage and has a high degree of host specificity. *Phytopathology*, 109(8), 1464–1474. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-19-0061-R>
- Melgoza, V. C. M., León, S. C. R., López, V. J. A., Hernández, E. L. A., Velarde, F. S. & Garzón, T. J. A. (2018). Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Bactericera cockerelli* Sulc. asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9, 499–509. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.267>
- Meng, X., Chai, A., Shi, Y., Xie, X., Ma, Z. & Li, B. (2017). Emergence of Bacterial Soft Rot in Cucumber Caused by *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* in China. *Plant disease*, 101(2), 279–287. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-16-0763-RE>
- Milgroom M. (2017). Population Biology of Plant Pathogens: Genetics, ecology, and evolution. *The American Phytopathological Society*. <https://doi.org/10.1094/9780890544525>
- Montano, H. G., Davis, R. E., Dally, E. L., Hogenhout, S., Pimentel, J. P. & Brioso, P. S. T. (2001). *Candidatus* Phytoplasma brasiliense, a new phytoplasma taxon associated with hibiscus witches' broom disease. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51(3), 1109–1118. <https://doi.org/10.1099/00207713-51-3-1109>
- Moraes, A. J. G., Baia, A. D. B., Souza, E. B., Peixoto, A. R., Barroso, K. A., Almeida, C. O., Balbino, V. Q., Silva, W. J., & Gama, M. A. S. (2020). First Report of *Pectobacterium aroidearum* Causing Soft Rot of Pepper (*Capsicum annuum*) Fruits in Brazil. *Plant Disease*, 104(11), 3054. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-20-0403-PDN>
- Moreno-Moran, M. & Burbano-Figueroa, O. (2016). First Report of *Colletotrichum gossypii* va. *cephalosporioides* Causing Cotton Ramulosis in Colombia. *Plant Disease*, 100(3), 653. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-15-0933-PDN>
- Morin, S., Ghanim, M., Zeidan, M., Czosnek, H., Verbeek, M. & van den Heuvel, J. F. (1999). A GroEL homologue from endosymbiotic bacteria of the whitefly *Bemisia tabaci* is implicated in the circulative transmission of tomato yellow leaf curl virus. *Virology*, 256(1), 75–84. <https://doi.org/10.1006/viro.1999.9631>
- Morris, J., Shiller, J., Mann, R., Smith, G., Yen, A. & Rodoni, B. (2017). Novel '*Candidatus* Liberibacter' species identified in the Australian eggplant psyllid, *Acizzia solanicola*. *Microbial biotechnology*, 10(4), 833–844. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12707>
- Mosquera, M., Evans, E., Grogan, K. & Fontanilla, C., (2014). Un modelo de

simulación discreto para determinar la edad óptima de replantación en presencia de la pudrición del cogollo (PC). *Palmas*, 1, 19-32.

Murcia, N., Bernad, L., Caicedo, A. & Duran-Vila, N. (2010). Citrus Viroids in Colombia. *International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings*, 17(17), 158-166. <https://escholarship.org/uc/item/008577nk>

Nabhan, S., De Boer, S. H. Maiss, E. & Wydra, K. (2013). *Pectobacterium aroidearum* sp. nov., a soft rot pathogen with preference for monocotyledonous plants. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63, 2520-2525. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.046011-0>

Namba, S. (2019). Molecular and biological properties of phytoplasmas. *Proceedings of the Japan Academy Series B: Physical and Biological Sciences*, 95(7), 401-418. <https://doi.org/10.2183/pjab.95.028>

Nejat, N., Vadamalai, G., Davis, R.E., Harrison, N.A., Sijam, K., Dickinson, M., Abdullah, S. & Zhao, Y. (2013). 'Candidatus Phytoplasma malaysianum', a novel taxon associated with virescence and phyllody of Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus*). *International Journal Systematic Evolutionary Microbiology*. 63(2),540-548. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.010413-0>

Nelson, W. R., Munyaneza, J., McCue, K. & Bové, J. (2013). The Pangaeian Origin Of "Candidatus Liberibacter" Species. *Journal of Plant Pathology*, 95(3), 455-461. <https://doi.org/10.4454/JPP.V95I3.001>

Nelson, W. R., Fisher, T.W. & Munyaneza, J. E. (2011). Haplotypes of "Candidatus Liberibacter solanacearum" suggest long-standing separation. *Journal of Plant Pathology*, 130, 5-12. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9737-3>

Nome, C., Giagetto, A., Rossini, M., Di Feo, L. & Nieto, A. (2012). First report of Apple scar skin viroid (ASSVd) in apple trees in Argentina. *New Disease Reports*, 25, 3. <https://doi.org/10.5197/j.2044-0588.2012.025.003>

Nunes, M. A., Novelli, V. M., Da Cunha, B. A., Soares, A. J., De Mineiro, J. L. C., Freitas-Astúa, J. & Bastianel, M. (2020). Survey of the

citrus leprosis vector (*Brevipalpus yothersi*) and phytoseiids in spontaneous plants of an organic citrus orchard. *Experimental and Applied Acarology*, 82(2), 199-209. <https://doi.org/10.1007/s10493-020-00543-w>

Nunney, L., Ortiz, B., Russell, S., Ruiz, R. & Stouthamer, R. (2014). The Complex Biogeography of the Plant Pathogen *Xylella fastidiosa*: Genetic Evidence of Introductions and Subspecific Introgression in Central America. *Plos one*, 9(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112463>

Ochoa, Y. M., Hernández, A., Delgado, J. C., Beltrán, M., Tapia, L. M., Hernández Bautista, O. & Cerna Chávez, E. (2018). First report of avocado tree wilt by *Pythium* sp. *amazonianum* in Mexico. *Ciencia e investigación agraria*, 45(3), 301-305. <https://dx.doi.org/10.7764/rcia.v45i3.1905>

Onkendi, E. M. & Moleleki, L. N. (2014). Characterization of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and *brasiliense* from diseased potatoes in Kenya. *European Journal of Plant Pathology*, 139(3), 557-566. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0411-z>

Ordonez, N., Seidl, M. F., Waalwijk, C., Drenth, A., Kilian, A., Thomma, B. P. H. J., Ploetz, R. C. & Kema, G. H. J. (2015). Worse comes to worst: bananas and Panama disease—when plant and pathogen clones meet. *Plos Pathogens*, 11(11).

Ordoñez, N., García-Bastidas, F., Laghari, H. B., Akkary, M. Y., Harfouche, E. N., Al Awar, B. N. & Kema, G. H. J. (2016). First Report of *Fusarium oxysporum* f. Sp. *cubense* Tropical Race 4 Causing Panama Disease in Cavendish Bananas in Pakistan and Lebanon. *Plant Disease*, 100(1), 209. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-14-1356-PDN>

Ortíz-Castro, M., Hartman, T., Coutinho, T., Lang, J. M., Korus, K., Leach, J. E. Broders, K. (2020). Current Understanding of the History, Global Spread, Ecology, Evolution, and Management of the Corn Bacterial Leaf Streak Pathogen, *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum*. *Phytopathology*, 110(6), 1-8. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-20-0018-PER>



- Oshima, K., Maejima, K. & Namba, S. (2013). Genomic and evolutionary aspects of phytoplasmas. *Frontiers in Microbiology*, 4, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00230>
- Oulghazi, S., Cigna, J., Lau, Y. Y., Mounni, M., Chan, K. G. & Faure, D. (2019). Transfer of the waterfall source isolate *Pectobacterium carotovorum* M022 to *Pectobacterium fontis* sp. nov., a deep-branching species within the genus *Pectobacterium*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 69(2), 470–475. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003180>
- Owens R. A. (2007). Potato spindle tuber viroid: the simplicity paradox resolved? *Molecular plant pathology*, 8(5), 549–560. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00418.x>
- Pasanen, M., Waleron, M., Schott, T., Cleenwerck, I., Misztak, A., Waleron, K., Pritchard, L., Bakr, R., Degefu, Y., van der Wolf, J., Vandamme, P. & Pirhonen, M. (2020). *Pectobacterium parvum* sp. nov., having a *Salmonella* SPI-1-like Type III secretion system and low virulence. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 70(4), 2440–2448. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004057>
- Pédrón, J., Claire, B., Géraldine, T., Perrine, P. & Marie-anne, B. (2019). *Pectobacterium aquaticum* sp. nov, isolated from waterways. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(3), 745–751. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003229>
- Pegg, K. G., Coates, L. M., O'Neill, W. T. & Turner, D. W. (2019). The Epidemiology of Fusarium Wilt of Banana. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1395. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01395>
- Pei, S., Dong, R., Bao, Y., He, R. L. & Yau, S. S. T. (2020). Classification of genomic components and prediction of genes of Begomovirus based on subsequence natural vector and support vector machine. *PeerJ*, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.9625>
- Pérez-Vicente, L. (2015). Las mejores prácticas para la prevención de la raza 4 tropical de la marchitez por *Fusarium* y otras enfermedades exóticas en fincas bananeras. *Fitosanidad*, 19(3), 243–250.
- Pérez, H., Chávez, E. C., Ortiz, J.C., Beache, M. B., Vargas, L. T. & Ochoa, Y. M. (2019). First report of *Phytophthora vexans* causing the "Avocado sadness" in Michoacan, Mexico. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 88(1), 11–13. <https://doi.org/10.32604/phyton.2019.04608>
- Pérez-López, E., Luna-Rodríguez, M., Olivier, C. Y., & Dumonceaux, T. J. (2016). The underestimated diversity of phytoplasmas in Latin America. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 66(1), 492–513. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000726>
- Perilla-Henao, L. M. & Franco-Lara, L. (2014). Especies Arbóreas de las Familias Euphorbiaceae, Pittosporaceae y Salicaceae son Infectadas por 'Ca. Phytoplasma fraxini' y 'Ca. Phytoplasma asteris' en Infecciones Mixtas en Bogotá, Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2), 248. <https://doi.org/10.18359/rfcb.386>
- Pérombelon, M. C. M. (2002). Potato diseases caused by soft rot erwinias: an overview of pathogenesis. *Plant Pathology*, 51, 1–12. <https://doi.org/10.1046/j.0032-0862.2001.Shorttitle.doc.x>
- Pietersen, G., Arrebola, E., Breytenbach, J., Korsten, L., Le Roux, H. F., La Grange, H., Lopes, S. A., Meyer, J. B., Pretorius, M. C., Schwerdtfeger, M., van Vuuren, S. P. & Yamamoto, P. (2010). A Survey for 'Candidatus Liberibacter' Species in South Africa Confirms the Presence of Only 'Ca. L. africanus' in Commercial Citrus. *Plant disease*, 94(2), 244–249. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-2-0244>
- Plazas, M. C., De Rossi, R. L., Brücher, E., Guerra, F. A., Vilaró, M., Guerra, G. D., Wu, G., Ortiz-Castro, M. C. & Broders, K. (2018). First Report of *Xanthomonas vasicola* pv. *vasculorum* Causing Bacteria Leaf Streak of Maize (*Zea mays*) in Argentina. *Plant Disease*, 102(5), 1026–1026. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-17-1578-PDN>

Ploetz, R.C. (2015). Fusarium wilt of banana: some history and current status of the disease. *Phytopathology*, 105, 1512-1521. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW>

Ploetz, R. C. (2006). Fusarium Wilt of Banana Is Caused by Several Pathogens Referred to as *Fusarium oxysporum* f. Sp. *cubense*. *Phytopathology*, 96(6), 653-656. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0653>

Poghosyan, A., Hernandez Gonzalez, J., Lebsky, V., Oropeza, C., Narvaez, M., & Leon de la Luz, L. (2019). First Report of 16SrIV Palm Lethal Yellowing Group Phytoplasma ('*Candidatus* Phytoplasma palmae') in Palmilla de Taco (*Brahea brandegeei*) and Palma Colorada (*Washingtonia robusta*) in the State of Baja California Sur, Mexico. *Plant Disease*, 103(8), 2122. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-19-0247-PDN>

Portier, P., Pédrón, J., Taghouti, G., Dutrieux, C. & Barny, M.-A. (2020). Updated Taxonomy of *Pectobacterium* Genus in the CIRM-CFBP Bacterial Collection: When Newly Described Species Reveal "Old" Endemic Population. *Microorganisms*, 8(9), 1441. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091441>

Portier, P., Pédrón, J., Taghouti, G., Fischer-Le Saux, M., Caullireau, E., Bertrand, C., Laurent, A., Chawki, K., Oulgazi, S., Moumni, M., Andrivon, D., Dutrieux, C., Faure, D., Hélias, V. & Barny, M. A. (2019). Elevation of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *odoriferum* to species level as *Pectobacterium odoriferum* sp. nov., proposal of *Pectobacterium brasiliense* sp. nov. and *Pectobacterium actinidiae* sp. nov., emended description of *Pectobacterium carotovorum* and description of *Pectobacterium versatile* sp. nov., isolated from streams and symptoms on diverse plants. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 69(10), 3207-3216. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003611>

Poudel, B., Velázquez-del Valle, M. G., Hernández-Lauzardo, A. N. & Zhang, S. (2019). First Report of *Alternaria* tomato Causing Leaf Spot on Sunflower in Mexico. *Plant Disease*, 103(5), 1029-1029. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1173-PDN>

Quaglino, F., Zhao, Y., Casati, P., Bulgari, D., Bianco, P. A., Wei, W. & Davis, R. E. (2013). '*Candidatus* Phytoplasma solani', a novel taxon associated with stolbur- and bois noir-related diseases of plants. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 63(8), 2879-2894. <https://doi.org/10.1099/ijse.0.044750-0>

Querci, M. (1995). Detection of Potato Spindle Tuber Viroid in Avocado Growing in Peru. *Plant Disease*, 79(2), 196. <https://doi.org/10.1094/pd-79-0196>

Raddadi, N., Gonella, E., Camerota, C., Pizzinat, A., Tedeschi, R., Crotti, E., Mandrioli, M., Bianco, P. A., Daffonchio, D. & Alma, A. (2011). '*Candidatus* Liberibacter europaeus' sp. nov. that is associated with and transmitted by the psyllid *Cacopsylla pyri* apparently behaves as an endophyte rather than a pathogen. *Environmental microbiology*, 13(2), 414-426. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02347.x>

Rapicavoli, J., Ingel, B., Blanco-Ulate, B., Cantu, D. & Roper, C. (2018). *Xylella fastidiosa*: an examination of a re-emerging plant pathogen. *Molecular plant pathology*, 19(4), 786-800. <https://doi.org/10.1111/mpp.12585>

Revers, F. & García, J. A. (2015). Molecular Biology of Potyviruses. En *Advances in Virus Research*, 92, 101-199. <https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2014.11.006>

Richardson, D. (1995). The history of oil palm breeding in the united fruit company. *ASD Oil Palm Papers*, 11, 1-22.

Ristaino, J., Anderson, P., Bebber, D., Brauman, K., Cuniffe, N., Fedoroff, N., Finegold, C., Garrett, K., Gilligan, C., Jones, C., Martin, M., MacDonald, G., Neenan, P., Records, A., Schmale, D., Tateosian, L. & Qingshan Wei. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118, 23. <https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>

Rivas-Valencia, P., Domínguez-Monge, S., Santillán-Mendoza, R., Loeza-Kuk, E., Pérez-Hernández, O., Rodríguez-Quibrera,



- C. G. & Lomas-Barrié, C. (2020). Severe Citrus tristeza virus Isolates from Eastern Mexico Are Related to the T36 Genotype Group. *American Journal of Plant Sciences*, 11(10), 1521–1532. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.1110110>
- Rivas-Valencia, P., Loeza-Kuk, E., Domínguez-Monge, S. & Lomas-Barrié, C. (2017). Chronic infection of the citrus tristeza virus in *Citrus sinensis*/C. *aurantium* trees in a restrictive thermal regime in Yucatán. *Revista Chapingo: Serie horticultura*, 23(3), 188–202. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.028>
- Rodríguez-Negrete, E. A., Morales-Aguilar, J. J., Domínguez-Duran, G., Torres-Devora, G., Camacho-Beltrán, E., Leyva-López, N. E., Voloudakis, A. E., Bejarano, E. R. & Méndez-Lozano, J. (2019). High-throughput sequencing reveals differential begomovirus species diversity in non-cultivated plants in northern-pacific Mexico. *Viruses*, 11(7), 594. <https://doi.org/10.3390/v11070594>
- Rodríguez-Ramírez, R., Santillán-Galicia, M. T., Guzmán-Franco, A. W., Ortega-Arenas, L. D., Teliz-Ortiz, D., Sánchez-Soto, S. & Robles-García, P. L. (2019). Transmission of Citrus leprosis virus C by the Mite, *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae), on Four Species of Citrus. *Journal of Economic Entomology*, 112(6), 2569–2576. <https://doi.org/10.1093/jee/toz201>
- Rojas-Martínez, R. I., Zavaleta-Mejía, E., Lee, I.-M. y Aragón-García, A. (2009). Identificación de un aislamiento del grupo 16SrIII, *Candidatus* Phytoplasma pruni en plantas y semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) en México. *Agrociencia*, 43(8), 851–860.
- Roossinck, M. J., Martin, D. P. & Roumagnac, P. (2015). Plant Virus Metagenomics: Advances in Virus Discovery. *Phytopathology*, 105(6), 716–727. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-14-0356-RVW>
- Roossinck, M. J. (2012). Plant virus metagenomics: biodiversity and ecology. *Annual review of genetics*, 46, 359–369. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-110711-155600>
- Roossinck M. J. (2011). The big unknown: plant virus biodiversity. *Current opinion in virology*, 1(1), 63–67. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2011.05.022>
- Roper, M. C., Greve, L. C., Warren, J. G., Labavitch, J. M. & Kirkpatrick, B. C. (2007). *Xylella fastidiosa* requires polygalacturonase for colonization and pathogenicity in *Vitis vinifera* grapevines. *Molecular plant-microbe interactions*, 20(4), 411–419. <https://doi.org/10.1094/MPMI-20-4-0411>
- Rowe, S. L., Norman, J. S. & Friesen, M. L. (2018). Coercion in the Evolution of Plant-Microbe Communication: A Perspective. *Molecular plant-microbe interactions*, 31(8), 789–794. <https://doi.org/10.1094/MPMI-11-17-0276-CR>
- Sabaté, J., Laviña, A. & Batle, A. (2014). First Report of '*Candidatus* Phytoplasma pyri' Causing Peach Yellow Leaf Roll (PYLR) in Spain. *Plant Disease*, 98(7), 989. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-13-1105-PDN>
- Salehi, M., Izadpanah, K., Siampour, M., Bagheri, A. & Faghihi, S. M. (2007). Transmission of '*Candidatus* phytoplasma aurantifolia' to bakraee (*Citrus reticulata* hybrid) by feral Hishimonus phycitis leafhoppers in Iran. *Plant Disease*, 91(4), 466. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-4-0466C>
- Sánchez, A., Ayala, V., Landero, N. Tlatilpa, I. & Nieto, A. (2019). First Report of *Colletotrichum truncatum* of *Solanum lycopersicum* in Mexico. *Plant Disease*, 107, 7, <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-18-1809-PDN>
- Saponari, M., Boscia, D., Altamura, G., Loconsole, G., Zicca, S., D'Attoma, G., Morelli, M., Palmisano, F., Saponari, A., Tavano, D., Savino, V. N., Dongiovanni, C. & Martelli, G. P. (2017). Isolation and pathogenicity of *Xylella fastidiosa* associated to the olive quick decline syndrome in southern Italy. *Scientific Reports*, 5, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17957-z>
- Sarfraz, S., Riaz, K., Oulghazi, S., Cigna, J., Sahi, S. T., Khan, S. H. & Faure, D. (2018). *Pectobacterium punjabense* sp. nov., isolated from blackleg symptoms of potato plants in Pakistan. *International journal of*

systematic and evolutionary microbiology, 68(11), 3551–3556. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003029>

Sarkar, P. & Ghanim, M. (2020). Unravelling the Pathogenesis and Molecular Interactions of Liberibacter Phytopathogens with Their Psyllid Vectors. *Agronomy*, 10(8), 1132. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081132>

Sarria, G. A., Martinez, G., Varon, F., Drenth, A. & Guest, D. I. (2016). Histopathological studies of the process of *Phytophthora palmivora* infection in oil palm. *European Journal of Plant Pathology*, 145(1), 39–51. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0810-9>

Sawayanagi, T., Horikoshi, N., Kanehira, T., Shinohara, M., Bertaccini, A., Cousin, M.-T., Hiruki, C. & Namba, S. (1999). 'Candidatus Phytoplasma japonicum', a new phytoplasma taxon associated with Japanese Hydrangea phyllody. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 49(3), 1275–1285. <https://doi.org/10.1099/00207713-49-3-1275>

Schneider, B., Torres, E., Martín, M. P., Schröder, M., Behnke, H. D. & Seemüller, E. (2005). 'Candidatus Phytoplasma pini', a novel taxon from *Pinus silvestris* and *Pinus halepensis*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 55(1), 303–307. <https://doi.org/10.1099/ijse.0.63285-0>

Scholthof, K. B. (2007). The disease triangle: pathogens, the environment and society. *Nature Reviews Microbiology*, 5, 152–156. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1596>

Seigner, L., Kappen, M., Huber, C., Kistler, M. & Köhler, D. (2008). First trials for transmission of Potato spindle tuber viroid from ornamental Solanaceae to tomato using RT-PCR and an mRNA based internal positive control for detection. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 115(3), 97–101. <https://doi.org/10.1007/BF03356246>

Sepúlveda, G. F., Salvatierra, R., Sandoval, C., & González, R. (2013). First report of tomato bacterial canker *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* on tomato crops in Arica. *Idesia*, 31(2), 99–101.

Serçe, Ç. U. & Yılmaz, S. (2020). First report of 'Candidatus Phytoplasma trifolii' (16SrVI group) infecting cabbage (*Brassica oleracea*) in Turkey. *Journal of Plant Pathology*, 102(2), 553. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00443-y>

Silva, X., Roux, J. & Asiegbu, F. (2020). Diseases of Eucalypts in Paraguay and First Report of *Teratosphaeria zuluensis* from South America. *Forests*, 11, 10. <https://doi.org/10.3390/f11101035>

Singh, R. P., Ready, K. F. M. & Nie, S. (2003). Viroids of solanaceous species. En: A. Hadidi, R. Flores, J. W. Randles, and J. S. Semancik. (Eds.). Viroids: Properties, Detection, Diseases and their Control. CSIRO Publishing.

Soto, M., González, L., Peralta, E. L. y Pérez, R. (2008). Empleo de plantas de pepino como amplificador biológico para la detección del Viroide del enanismo del lúpulo (hsvd) en cítricos. *Revista de Protección Vegetal*, 23, 1–10.

Studholme, D. J., Wicker, E., Abrare, S. M., Aspin, A., Bogdanove, A., Broders, K., Dubrow, Z., Grant, M., Jones, J. B., Karamura, G., Lang, J., Leach, J., Mahuku, G., Nakato, G. V., Coutinho, T., Smith, J. & Bull, C. T. (2020). Transfer of *Xanthomonas campestris* pv. *arecae* and *X. campestris* pv. *musacearum* to *X. vasicola* (Vauterin) as *X. vasicola* pv. *arecae* comb. nov. and *X. vasicola* pv. *musacearum* comb. nov. and Description of *X. vasicola* pv. *vasculorum* pv. nov. *Phytopathology*, 110(6), 1153–1160. <https://doi.org/10.1094/PHTO-03-19-0098-LE>

Swisher Grimm, K. D. & Garczynski, S. F. (2019). Identification of a New Haplotype of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' in *Solanum tuberosum*. *Plant disease*, 103(3), 468–474. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-0937-RE>

Taheri, F., Nematzadeh, G., Zamharir, M. G., Nekouei, M. K., Naghavi, M., Mardi, M. & Salekdeh, G. H. (2011). Proteomic analysis of the Mexican lime tree response to "Candidatus Phytoplasma aurantifolia" infection. *Molecular BioSystems*, 7(11), 3028. <https://doi.org/10.1039/c1mb05268c>



- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D. N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A. P., Azinheira, H. G., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V., & Silva, M. (2017). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: One and a half centuries around the tropics: Coffee leaf rust caused by *Hemileia vastatrix*. *Molecular Plant Pathology*, 18(8), 1039-1051. <https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Tamime, A. (2019). *Ecogenomic characterization of Begomovirus in Natural and Agricultural ecosystems to understand the origin of new diseases*. [Tesis de doctorado, Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario De Investigación Para El Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa], Repositorio IPN 8(5).
- Tatineni, S. (2017). Wheat streak mosaic virus coat protein is a host-specific long-distance transport determinant in oat. *Virus Research*, 242, 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2017.08.014>
- Tedeschi, R., & Alma, A. (2006). *Fieberiella florii* (Homoptera: Auchenorrhyncha) as a vector of "Candidatus Phytoplasma mali". *Plant Disease*, 90(3), 284-290. <https://doi.org/10.1094/PD-90-0284>
- Teresani, G. R., Bertolini, E., Alfaro-Fernández, A., Martínez, C., Tanaka, F. A., Kitajima, E. W., Roselló, M., Sanjuán, S., Ferrándiz, J. C., López, M. M., Cambra, M. & Font, M. I. (2014). Association of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' with a vegetative disorder of celery in Spain and development of a real-time PCR method for its detection. *Phytopathology*, 104(8), 804-811. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-13-0182-R>
- Texeira, D. C., Ayres, J., Kitajima, E. W., Danet, L., Jagoueix-Eveillard, S., Saillard, C. & Bové, J. M. (2005). First Report of a Huanglongbing-Like Disease of Citrus in Sao Paulo State, Brazil and Association of a New Liberibacter Species, "Candidatus Liberibacter americanus", with the Disease. *Plant disease*, 89(1), 107. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0107A>
- Thangavelu, R., Saraswathi, M. S., Uma, S., Loganathan, M., Backiyarani, S., Durai, P., Raj, E. E., Marimuthu, N., Kannan, G. & Swennen, R. (2021). Identification of sources resistant to a virulent *Fusarium* wilt strain (VCG 0124) infecting Cavendish bananas. *Scientific Reports*, 11(1), 3183. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82666-7>
- Thompson S., Fletcher J.D., Ziebell H., Beard S., Panda P., Jorgensen N., Fowler S.V., Liefting L.W., Berry N. & Pitman A.R. (2013). First report of 'Candidatus Liberibacter europaeus' associated with psyllid infested Scotch broom. *New Disease Reports*, 27(1), 6. <http://dx.doi.org/10.5197/j.2044-0588.2013.027.006>
- Tombion, L., Alderete, L., De La Torre, M., Agrofoglio, Y., Delfosse, V., Distefano, A. & Soto, M. (2019). First Report of Potato Virus Y in Ornamental Calibrachoa in Argentina. *Plant Disease*, 103(7), 1799-1799. <https://doi.org/10.1094/pdis-09-18-1673-pdn>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Varon, F., Coffey, M. D., Elliott, M. L. & Martinez, G. (2010). First Report of Bud Rot Caused by *Phytophthora palmivora* on African Oil Palm in Colombia. *Plant disease*, 94(9), 1163. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-9-1163A>
- Torres, G. A., Sarria, G. A., Martinez, G., Varon, F., Drenth, A. & Guest, D. I. (2016). Bud Rot Caused by *Phytophthora palmivora*: A Destructive Emerging Disease of Oil Palm. *Phytopathology*, 106(4), 320-329. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-15-0243-RVW>
- Torres, E., Botti S, Paltrinieri S, Martin M and Bertaccini A.(2002).First report of Spartium witches' broom disease in Spain. *Plant Pathology*, 51(6), 807. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.00777.x>
- Tsagris, E. M., Martínez de Alba, Á. E., Gozmanova, M. & Kalantidis, K. (2008). Viroids. *Cellular Microbiology*, 10(11), 2168-2179. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2008.01231.x>
- Vaca-Vaca, J. C., Morales-Euse, J., Rivera-Toro, D. M. & Lopez-Lopez, K. (2019). Primer reporte de begomovirus infectando cultivos de ají (*Capsicum* spp.) en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 24(3), 452-462. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n3.79367>

- Valiunas, D., Staniulis, J. & Davis, E. (2006). 'Candidatus Phytoplasma fragariae', a novel phytoplasma taxon discovered in yellows diseased strawberry, *Fragaria x ananassa*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56, 277-281. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63935-0>
- Valente, J. B., Pereira, F. S., Stempkowski, L. A., Farias, M., Kuhnem, P., Lau, D., Fajardo, T. V. M., Nhani Junior, A., Casa, R. T., Bogo, A. & da Silva, F. N. (2019). A novel putative member of the family Benyviridae is associated with soilborne wheat mosaic disease in Brazil. *Plant Pathology*, 68(3), 588-600. <https://doi.org/10.1111/ppa.12970>
- Valli, A., García, J. A. & López-Moya, J. J. (2015). Potyviridae, 1-10. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0000755.pub3>
- Vamenani, R., Rahimian, H., Alavi, S.M., Pakdin Parizi, A. & Mirza Razzaz, T. (2019). Genetic diversity of hop stunt viroid from symptomatic and asymptomatic citrus trees in Iran. *Journal of Phytopathology*, 167, 484-489. <https://doi.org/10.1111/jph.12821>
- Van der Wolf, J. M., De Haan, E. G., Kastelein, P., Krijger, M., De Haas, B. H., Velvis, H., Mendes, O., Kooman-Gersmann, M. & van der Zouwen, P. S. (2017). Virulence of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* on potato compared with that of other *Pectobacterium* and *Dickeya* species under climatic conditions prevailing in the Netherlands. *Plant Pathology*, 66(4), 571-583. <https://doi.org/10.1111/ppa.12600>
- Van Regenmortel, M. H. & Mahy, B. W. (2004). Emerging issues in virus taxonomy. *Emerging infectious diseases*, 10(1), 8-13. <https://doi.org/10.3201/eid1001.030279>
- Vasconez, I., Besoain, X., Vega-Celedón, P., Valenzuela, M. & Seeger, M. (2020). First Report of Bacterial Wilt Caused by *Ralstonia solanacearum* Phylotype IIB Sequevar 1 Affecting Tomato in Different Regions of Chile. *Plant Disease*, 104, 7. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-20-0181-PDN>
- Velásquez, A. C., Castroverde, C. & He, S. Y. (2018). Plant-Pathogen warfare under changing climate conditions. *Current biology*, 28(10), R619-R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>
- Vélez, D., Rodríguez, J., Noreña, C., Varón, F. y Martínez, G., (2014). Desarrollo de *Phytophthora palmivora* en folíolos inmaduros de palma de aceite inoculados en condiciones *in vitro*. *Fitopatología Colombiana*, 37, 1-6.
- Verdin, E., Salar, P., Danet, J., Choueiri, E., Jreijiri, F., El Zammar, S., Ge -lie, B., Bove, J., & Garnier, M. (2003). 'Candidatus Phytoplasma phoenicium' sp. nov., a novel phytoplasma associated with an emerging lethal disease of almond trees in Lebanon and Iran. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(3), 833-838. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02453-0>
- Verhoeven, J. Th. J., Hüner, L., Marn, M. V., Plesko, I. M. & Roenhorst, J. W. (2010). Mechanical transmission of Potato spindle tuber viroid between plants of *Brugmansia suaveolens*, *Solanum jasminoides* and potatoes and tomatoes. *European Journal of Plant Pathology*, 128(4), 417-421. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9675-0>
- Waleron, M., Misztak, A., Waleron, M., Jonca, J., Furmaniak, M., & Waleron, K. (2019). *Pectobacterium polonicum* sp. nov. isolated from vegetable fields. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 69(6), 1751-1759. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003387>
- Warman, N. M. & Aitken, E. A. B. (2018). The Movement of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Sub-Tropical Race 4) in Susceptible Cultivars of Banana. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1748. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01748>
- Wei, W., Pérez-López, E., Davis, R. E., Bermúdez-Díaz, L., Granda-Wong, C., Wang, J. & Zhao, Y. (2017). 'Candidatus Phytoplasma brasiliense'-related strains associated with papaya bunchy top disease in northern Peru represent a distinct geographic lineage. *Crop Protection*, 92, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.024>
- Weng, S. H., Tsai, W. S., Kenyon, L. & Tsai, C. W. (2015). Different transmission efficiencies may drive displacement of tomato



- begomoviruses in the fields in Taiwan. *Annals of Applied Biology*, 166(2), 321–330. <https://doi.org/10.1111/aab.12185>
- Widmark, A., Anderson, B., Lundhagen, A., Sandstrom, M. & Yuen, J. (2007). *Phytophthora infestans* in a single field in southwest Sweden early in spring: Symptoms, spatial distribution and genotypic variation. *Plant Pathology*, 56(4), 573–579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01618.x>
- Winks, C. J., Andersen, M. T., Charles, J. G. & Beever, R. E. (2014). Identification of *Zeoliarus oppositus* (Hemiptera: Cixiidae) as a vector of “*Candidatus* Phytoplasma australiense.” *Plant Disease*, 98(1), 10–15. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-13-0421-RE>
- Wolf, J. M., Haan, E. G., Kastelein, P., Krijger, M., Haas, B. H., Velvis, H., Gersmann, M. & Zouwen, P. (2017). Virulence of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* on potato compared with that of other *Pectobacterium* and *Dickeya* species under climatic conditions prevailing in the Netherlands. *Plant Pathology*, 66, 571–583. <https://doi.org/10.1111/ppa.12600>
- Wylie, S. J., Adams, M., Chalam, C., Kreuze, J., López-Moya, J. J., Ohshima, K., Praveen, S., Rabenstein, F., Stenger, D., Wang, A. & Zerbin, F. M. (2017). ICTV virus taxonomy profile: Potyviridae. *Journal of General Virology*, 98(3), 352–354. <https://doi.org/10.1099/jgv.0.000740>
- Yap, M., Barak, J. D., & Charkowski, A. O. (2004). Genomic Diversity of *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* and Its Correlation with Virulence. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(5), 3013–3023. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.5.3013-3023.2004>
- Yokomi R. (2019). CTV Vectors and Interactions with the Virus and Host Plants. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9558-5_4
- Zhao, Y., Sun, Q., Wei, W., Davis, R.E., Wu, W. & Liu, Q. (2009). ‘*Candidatus* Phytoplasma tamaricis’, a novel taxon discovered in witches'-broom-diseased salt cedar (*Tamarix chinensis* Lour.). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(10), 2496–2504. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.010413-0>
- Zheng, Q., Wang, X., Zhou, J. & Ma, Y. (2020). Complete genome sequence of a new member of the genus Badnavirus from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *Archives of Virology*, 165(3), 749–752. <https://doi.org/10.1007/s00705-019-04503-7>
- Zheng, S.-J., García-Bastidas, F. A., Li, X., Zeng, L., Bai, T., Xu, S., Yin, K., Li, H., Fu, G., Yu, Y., Yang, L., Nguyen, H. C., Douangboup, B., Khaing, A. A., Drenth, A., Seidl, M. F., Meijer, H. J. G. & Kema, G. H. J. (2018). New Geographical Insights of the Latest Expansion of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Tropical Race 4 Into the Greater Mekong Subregion. *Frontiers in Plant Science*, 9, 457. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00457>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

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





EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE FENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE LA CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)

EVALUATION OF THE CONTENT OF TOTAL PHENOLS AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF ETHANOLIC EXTRACTS OF COCOA SHELL (*Theobroma cacao* L.)

Karen Sirley Murcia Artunduaga • ksmurcia47@misena.edu.co

Grupo de Investigación Yamboró, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Pitalito, Huila, Colombia

Maria del Rosario Castañeda • mdcastaneda@sena.edu.co

Grupo de Investigación Yamboró, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Pitalito, Huila, Colombia

Citación: Murcia, K. y Castañeda, M. (2022). Evaluación del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de extractos etanólicos de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 53 – 65. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4717>



RESUMEN

Contextualización: El fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.), se compone de semillas (objeto principal de interés por los productores), placenta y cáscara (residuos agroindustriales) con propiedades desconocidas o desaprovechadas por el agricultor, razón por la cual, son desechadas en los entornos productivos, causando diversos problemas.

Lo anterior, ha conllevado al desarrollo de investigaciones en torno al conocimiento de compuestos con características funcionales, principalmente de la cáscara del cacao por ser el mayor residuo de la postcosecha. La presente investigación evidencia el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante presente en estos residuos.

Vacío de investigación: El desconocimiento de las propiedades de la cáscara residual del cacao y con ello, las metodologías de extracción de estos compuestos, causa un


inadecuado manejo de aproximadamente el 80% del fruto de cacao, convirtiéndose en el origen de problemas que afectan la producción, por su depositado en el suelo.

Propósito del estudio: Evaluar el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de extractos etanólicos de cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.) procedentes del departamento del Huila.

Metodología: Se colectaron frutos de cacao de los municipios de Elías, Oporapa y Timana, ubicados en el sur del departamento del Huila, Colombia; Se llevaron al laboratorio de biotecnología de Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano- sede Yamboró y se caracterizaron físicamente. Luego, se retiró la cáscara del fruto, se llevó a extracción a diferentes concentraciones de solventes y se procedió a cuantificar los fenoles totales por el método de Folín & Ciocalteu y antioxidantes por método

DPPH para ser convertidos a coeficiente de inhibición (IC50).

Resultados y conclusiones: Las cáscaras de los frutos resultaron en promedio de 82,95 % del peso total del fruto de cacao tomados de los 3 municipios. El contenido de fenoles totales varió entre 129,91 y 42,62 mg EAG/ g. La capacidad antioxidante frente

al radical DPPH vario con respecto al IC50 de 4,92 a 12,32 mg/mL. Existió relación entre el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante dependientes del método de extracción, cuantificación y análisis de los mismos. 

Palabras clave: Actividad Antioxidante; subproducto; extracción; compuestos fenólicos

ABSTRACT


Contextualization: The cocoa fruit (*Theobroma cacao* L), is composed of seeds (main object of interest for producers), placenta and shell (agro-industrial waste) with unknown or wasted properties by the farmer, which is why they are discarded in productive environments, causing various problems.

This has led to the development of research on the knowledge of compounds with functional characteristics, mainly the cocoa shell as it is the largest post-harvest residue. The present investigation is evidence of total phenol content and antioxidant capacity present in these residues.

Knowledge gap: Ignorance of the properties of the residual cocoa shell and with it, the extraction methodologies of these compounds, causes an inadequate handling of approximately 80% of the cocoa fruit, becoming the origin of problems that affect the production, by its deposited on the ground.

Purpose of the study: To evaluate the content of total phenols and antioxidant capacity of ethanolic extracts of cocoa fruit shells (*Theobroma cacao* L.) from the department of Huila.

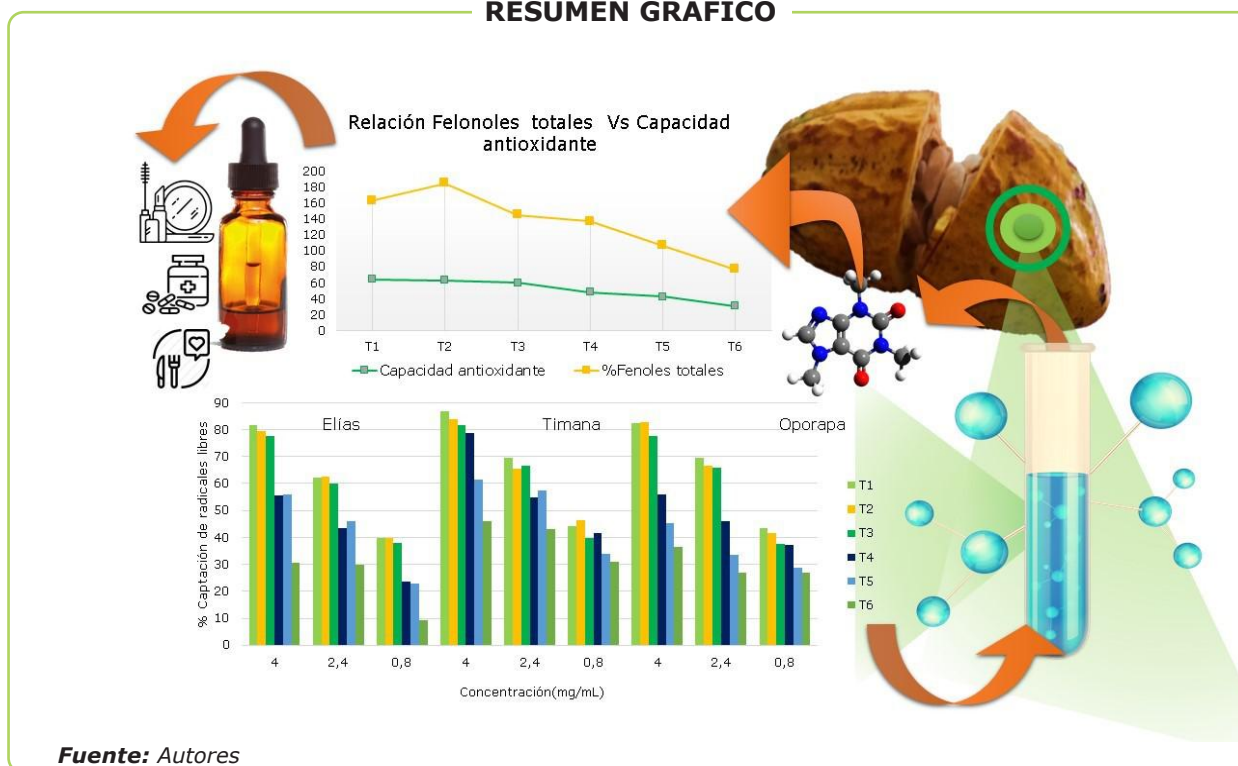
Methodology: Cocoa fruits were collected from the municipalities of Elías, Oporapa and Timana, located in the south of the department of Huila, Colombia; They were taken to the biotechnology laboratory of the Centro de Gestion y Desarrollo Sustainable Surcolombiano- Yamboró headquarters and were physically characterized. Then, the fruit peel was removed, it was extracted at different concentrations of solvents and the total phenols were quantified by the Folín & Ciocalteu method and antioxidants by the DPPH method to be converted to the inhibition coefficient (IC50).

Results and conclusions: The fruit shells resulted in an average of 82.95% of the total weight of the cocoa fruit taken from the 3 municipalities. The content of total phenols varied between 129.91 and 42.62 mg EAG / g. The antioxidant capacity against the DPPH radical varied with respect to the IC50 from 4.92 to 12.32 mg/mL. There was a relationship between the content of total phenols and antioxidant capacity depending on the method of extraction, quantification and analysis thereof. 

Keywords: Antioxidant Activity; by-product; extraction; phenolic compounds



RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) desde su origen Centroamericano, ha sido cultivado principalmente por la obtención del grano, que representa aproximadamente un 10% del peso del fruto fresco (Barazarte et al., 2008). Por ello, la industrialización del cultivo del cacao en su totalidad (incluyendo desechos agroindustriales de la cosecha como cáscaras, aguas mieles, grasas, entre otras), ha sido un camino hacia el desarrollo de productos innovadores, que presenten alta demanda en el mercado nacional e internacional y se han convertido en la materia prima ideal para las industrias que aportan valor a estos subproductos y además son una alternativa de solución a la problemática ambiental generada por este foco de contaminación (Vargas & Pérez, 2018).

Recientemente, el valor de los subproductos agrícolas de frutas como ingredientes alimenticios u otras aplicaciones, están recibiendo una gran atención. El conocimiento de las propiedades, da valor agregado a los mismos y son una puesta en marcha de actividades que ayudan a fortalecer los ingresos de las cadenas agroalimentarias. En la última década han incrementado los estudios sobre

el aprovechamiento de compuestos del fruto de cacao diferentes a la semilla, de manera tal, que no se afecta la materia prima de los productos de alta demanda comercial en el mercado como el chocolate, la manteca y sus derivados (Quiñonez et al., 2016).

En la industria cacaotera, el subproducto de resaltar es la cáscara para la producción de nuevos materiales, ya que se generan diez toneladas húmedas de material vegetal por cada tonelada de cacao en grano seco, es decir en promedio entre 16 a 21 mazorcas, para obtener un solo kilogramo de granos de cacao seco, lo que representa un grave problema de disposición y un recurso subexplotado (Vriesmann et al., 2011; Quintana et al., 2015) reflejando la necesidad de transformación de subproductos del cacao.

Hace más de 2500 años los mayas percibieron que la cáscara poseía propiedades medicinales y terapéuticas (Teneda et al., 2019). Investigaciones recientes han ratificado que ésta es una fuente de compuestos funcionales industriales, farmacéuticos, nutraceuticos y de energía renovable (Martínez et al., 2015; Hutomo et al., 2016; Peñaranda et al., 2017;

Campos et al., 2019; Ordoñez et al., 2019); compuestos entre los que se destacan los fenoles como antioxidantes: moléculas que inhiben la formación descontrolada de radicales libres y sus reacciones con estructuras celulares (proteínas, carbohidratos, lípidos y ADN), fuente de sustancias químicamente inestables que son parte del envejecimiento del organismo humano (Gutiérrez et al., 2007; Martínez et al., 2010).

Los fenoles considerados metabolitos vegetales secundarios, son de gran importancia en la interacción planta-medio; han sido clasificados en flavonoides, isoflavonas, flavonas, flavonoles, flavonoides, flavanonas, chalconas y antocianidinas (Del Rio, 2013; Quiñonez et al., 2016) con un sin número de metodologías para su aislamiento y purificación. Los extractos ricos en compuestos fenólicos, se utilizan en medicina popular como antiséptico, diurético, antiparasitario, antimutagénica, antitumoral, inhibidores de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, la inflamación y anti envejecimiento (Gutiérrez et al., 2007; Us-Medina, 2020; Cereceres et al., 2019; López et al., 2019, Vargas et al., 2020).

Estudios cualitativos y cuantitativos enfocados al aprovechamiento de los subproductos que contengan estos metabolitos, dan fe de la viabilidad de su transformación. De esta manera, la finalidad de la presente investigación es la evaluación del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de extractos etanólicos de cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Origen geográfico. Se analizaron los frutos maduros procedentes de los municipios Elías, Oporapa y Timana de la región sur del Departamento del Huila, Colombia, ubicados en tres franjas altitudinales diferentes para evaluar el comportamiento del material recolectado (Tabla 1). Se realizó la selección de las fincas cuya tendencia fuera la disponibilidad de genotipos clonales de cacao en los cuales el tipo trinitario TSH-565, fue el único material común identificado en un sondeo a 6 municipios y disponible en los 3 municipios seleccionados, que además contaran con plantaciones en periodo de cosecha entre julio y septiembre.

Tabla 1. Características generales de lugares de muestreo.

Ubicación geográfica	Elías	Oporapa	Timana
Coordenadas	2°00'49"N 75°56'23"O	2°01'23"N 75°59'43"O	1°57'00"N 75°54'50"O
Altitud	1350-1450 msnm	1250-1351 msnm	1100-1251 msnm
Temperatura media	20 °C	17.2 °C	19.7 °C
Precipitación promedio anual	1100 mm	1588 mm	1500 mm

Fuente: Gobernación del Huila, 2019

Características físicas de fruto. Los frutos de cacao se llevaron al laboratorio de Biotecnología del CGDSS del Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano Sede Yamboró; se desinfectaron y desgranaron manualmente, luego se determinó la masa total del fruto, se extrajo y peso la pulpa, con placenta y semillas y se tomaron datos del tamaño y diámetro del fruto.

Preparación de extractos. se procedió a hacer la extracción basado en lo propuesto por Jurado et al., (2016), con algunas modificaciones: se lavaron y cortaron las cáscaras y se maceraron durante 5 min. Se tomo como factor diferencial la relación v/v de concentración de etanol al 96% y agua destilada: T1(100:0), T2(80:20), T3 (60:40), T4(40:60), T5(20:80) y T6 (0:100), en un



frasco de vidrio ámbar y se agitaron de forma intermitente con ayuda de un vortex durante 15 min, para ser almacenadas a temperatura ambiente en oscuridad durante siete días. Luego, se filtraron y se concentraron en una estufa a 40°C por tres días.

Caracterización de fenoles totales y capacidad antioxidante

Ensayo de Folín-Ciocalteu: La determinación de fenoles totales se realizó siguiendo el método de Folín-Ciocalteu (Singleton, Orthofer, & Lamuela-Raventós, 1999) por espectrofotometría UV, usando ácido gálico ($C_7H_6O_5$) como estándar, mezclando 450 μ L del reactivo de Folín diluido al 10 % v/v y 90 μ L de la solución de las muestras o patrón de la curva de calibración de ácido gálico en un rango de concentración final de 1 a 7,5 μ g/mL. La mezcla resultante se agitó en vortex durante 30 segundos y se dejó a temperatura ambiente durante 10 minutos. Luego se adicionaron 450 μ L de una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20%, se agitó en vortex durante 30 segundos y se incubó a temperatura ambiente en oscuridad durante 90 minutos. Finalmente se midió la absorbancia a 765 nm. La concentración de fenoles se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por gramos de cáscara de cacao seca (mg EGA/g).

Ensayo de DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo). Usado para determinar la actividad antioxidante, se preparó de acuerdo con lo estipulado por Brand Williams, Cuvelier y Berset (1995), una solución de 20 mg/mL de DPPH en metanol y luego se realizaron diluciones en agua destilada de los extractos etanólicos hasta obtener concentraciones de 0,8 a 4 mg/mL. Se mezcló 0,8 mL de cada una de las diluciones con 1,6 mL de la solución de DPPH y se dejó reaccionar a temperatura ambiente por 30 minutos. Se tomó la absorbancia de la mezcla a 517 nm. Los resultados analizados por triplicado se expresaron como valores de porcentaje de capacidad antioxidante y mg /mL de concentración media inhibitoria (IC₅₀), **es decir concentración necesaria de la muestra problema para inhibir el 50% del radical de DPPH** (Chaouche et al., 2013).

Análisis estadístico

Se realizó con el software InfoStat versión 2017 y las gráficas se obtuvieron con software Microsoft Excel 2010, los datos obtenidos se sometieron a una prueba de normalidad de Shapiro Wilk, corroborando la distribución normal de los valores. Luego, se efectuó un análisis de varianza (Anova), usando la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P \leq 0,05$), previo a ello, se estimó la igualdad de varianzas mediante el ensayo de Levene.

Se evaluaron cinco muestras por tratamiento y cada uno fue realizado por triplicado. Los datos corresponden al promedio de las mediciones. Finalmente, para medir la asociación entre el contenido de polifenoles totales y la concentración media inhibitoria (IC₅₀) por el método DPPH, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson por ser medidas simétricas que no implica causalidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas del fruto.

Los frutos de cacao presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Aquellos frutos, procedentes del municipio de Timana mostraron los pesos más bajos del peso total, cáscara, granos y placenta, y lo más altos se encontraron en las muestras tomadas del municipio de Elías (Tabla 2). Estas diferencias pueden deberse, a las distintas prácticas agrícolas establecidas en cada sitio de muestreo. Las visitas de observación y recolección de información, evidenciaron diferencias en el manejo de malezas, plagas y enfermedades, podas, fertilizaciones y mantenimiento del cultivo, entre otros factores, apreciándose mayor aplicación de estas prácticas en los sitios de muestreo del municipio de Elías y Oporapa que en el municipio de Timana.

Los resultados evidenciaron que el peso en porcentaje de las cáscaras corresponde a 85.2%, 74.7% y 72.3% del peso total de los frutos procedentes de Elías, Timana y Oporapa respectivamente, los cuales no presentaron diferencias significativas y tratándose del mismo clon evaluado en los municipios, el resultado puede estar relacionadas con las condiciones de climáticas similares (Tabla 1)

y edáficas de la zona. No existe relaciones solo entre las características de fruto y las franjas altitudinales de las fincas evaluadas y a pesar de que altura pueda determinar los rangos de temperatura, este es solo un factor secundario del cultivo, pues factores edáficos, agrícolas y climáticos son más determinantes en las plantaciones para desarrollo del cultivo de cacao (Quintana et al., 2015; Velásquez, 2019). Lo anterior, se complementa con los resultados de Martínez (2016), quien encontró diferencias significativas en las características del fruto, resultado de la influencia ejercida por factores climáticos como precipitación y temperatura, variables del suelo y operaciones de manejo del cultivo en el llenado del grano y el tiempo de maduración de los frutos.

Si bien el porcentaje promedio de cáscara hallado en la presente investigación corresponden al 82,9% del total del fruto, se debe tener en cuenta que en el proceso de transformación del grano se generan muchos más residuos del fruto (mucilago, placenta, cascarilla, aguas miles, entre otros); Tan solo del 6% al 10% correspondan al grano (Tabla 2) aprovechado de forma directa; Resultados de Castillo et al. (2018), aproximan este valor con un 8% correspondiente a grano y la cáscara representó el 72,4% de la masa del fruto entero, evidentemente subutilizado, lo que indicó una proporción alta de desechos, residuos voluminosos y de gran masa al que hasta ese momento no se le ha dado la importancia que tiene hoy, por el conocimiento de sus propiedades y características.

Tabla 2. Composición de frutos de cacao evaluados en cada municipio.

Municipio	Peso			
	Total de fruto (g)	Cáscara (g)	Granos (g)	Placenta (g)
Elías	812,01 a	692,25 a	79,52 a	40,23 a
Timaná	602,93 b	498,8 a	79,67 a	46,46 a
Oporapa	739,12 ab	595,25 a	54,12 b	54,75 a
M	718,02	595,43	71,10	47,15
SD	106,1	96,7	12,01	7,3
Porcentaje total del fruto (%)	100,0	82,9	9,9	6,6

Promedios con letras distintas, en la misma variable, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Fuente: autores.

Determinación de Contenido fenólico total

En la Tabla 3, se muestran los resultados de la cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, cuyos resultados se expresan en mg EAG/g de muestra. El análisis indica variaciones significativas ($P < 0,05$) entre los extractos etanólicos T1, T2, T3, T4 y T5, T6 de las muestras tomadas en cada municipio (Tabla 3). El mayor contenido de fenoles totales se encontró en el extracto T2: 80/20 del material procedente de municipio de Elías con 129,91 mg EAG/g, mientras que en orden de importancia le siguió el extracto procedente de Oporapa con 121,53 mg

EAG/g y el menor contenido fue el extracto de Timaná 102,45 mg EAG/ g (Tabla 3), es decir, para esta investigación la manera más eficiente de evaluar el contenido de fenoles totales, es con extractos de relación de solventes v/v de 80 % de etanol al 96% y 20% de agua destilada. Valores similares en cuanto fenoles totales, encontró Cuellar (2010), con extractos de cáscara de cacao en acetato de etilo expresados en mg de fenoles totales sobre g de muestra (mg f. totales/g) que resultaron entre 111.38 y 91.64 mg f. totales/g. Valores menores hallados por Villamizar y López (2017), en la evaluación de polifenoles de extractos etanol: agua 50:50 v/v de la cáscara de cacao del clon CCN-51



con 61 mgEAG/g, para simular una planta piloto y sin embargo valores superiores entre $6,3 \pm 0,2$ y $6,6 \pm 0,3$ EAG g/100g encontrados por Ramírez et al. (2013), de los extractos de granos (no de cáscara), de clones de cacao provenientes de México. Teniendo en cuenta las variaciones de unidades de expresión y que se trata de muestras obtenidas de granos procesados y son en base seca, explicarían la variación de datos obtenidos, clave para seleccionar la forma (sólidas, líquidas, viscosas, entre otras) en que se obtendrán los compuestos y el subproducto a tomar del fruto según la finalidad. Hernández y colaboradores, (2018), afirman para el caso de la obtención de polifenoles, existen métodos oscilantes respecto a la eficiencia de captura de estos compuestos, por lo cual en su estudio evalúan diferentes métodos

de extracción arrojando resultados similares a este ensayo, los extractos etanólicos con concentraciones de 70/30 etanol y agua destilada dieron valores de 49.46 ± 2.50 mg/gr de muestra seca frente a los 9.40 ± 0.25 mg/g muestra seca de otros métodos en los cuales la regulación de pH con ácidos, fue eficiente a la hora de obtener extractos con alto contenido de polifenoles. Así mismo, Cadena y Herrera (2008), afirman que los métodos de extracción y procesamiento de los frutos de cacao influyen significativamente en el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante de los productos obtenidos, por el sometimiento a diferentes compuestos químicos, altas temperaturas y demás, que dan cabida a la disminución de estos compuestos, factores que deben procurar conservarse de la mayor medida posible.

Tabla 3. Contenido de fenoles totales en extractos de cáscara de cacao.

Municipio	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	(Mg EAG* / gr de muestra)					
Elías	101,2b	129,91b	103,54b	94,32b	42,62a	49,45a
Timaná	82,4b	102,45ab	102,4b	88,32b	59,76a	43,2a
Oporapa	99,34b	121,53b	85,23b	89,19b	63,56a	45,62a
M	94,31	117,96	97,06	90,61	55,31	46,09
SD	10,36	14,07	10,26	3,24	11,16	3,15
%CV	10,43	11,58	12,04	3,64	17,55	6,91

* EAG: equivalente de ácido gálico

Promedios con letras distintas en los tratamientos de cada municipio, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). **Fuente:** autores.

Se observa que el extracto etanólicos T2 del fruto proveniente de Elías presentó mayor cantidad de fenoles totales con 129,91 mg EAG/ g y aunque el menor valor obtenido con el extracto T5 es de 42,62 mg EAG /g, sigue siendo un valor muy superior al reportado por Cadena y Herrera (2008), quienes obtuvieron entre 15 mg AG/g y 45 mg AG/g de polifenoles totales en granos de cacao, indicando un porcentaje muy superior del contenido de fenoles de la cáscara frente a los granos aun considerados como fuente rica en antioxidantes (Cadena y Herrera, 2008; Quintana et al., 2015; Fowler y Coutel, 2017), revelando un importante nicho de explotación agroindustrial y fuente de futuras investigaciones enfocadas a la oferta de productos innovadores en la

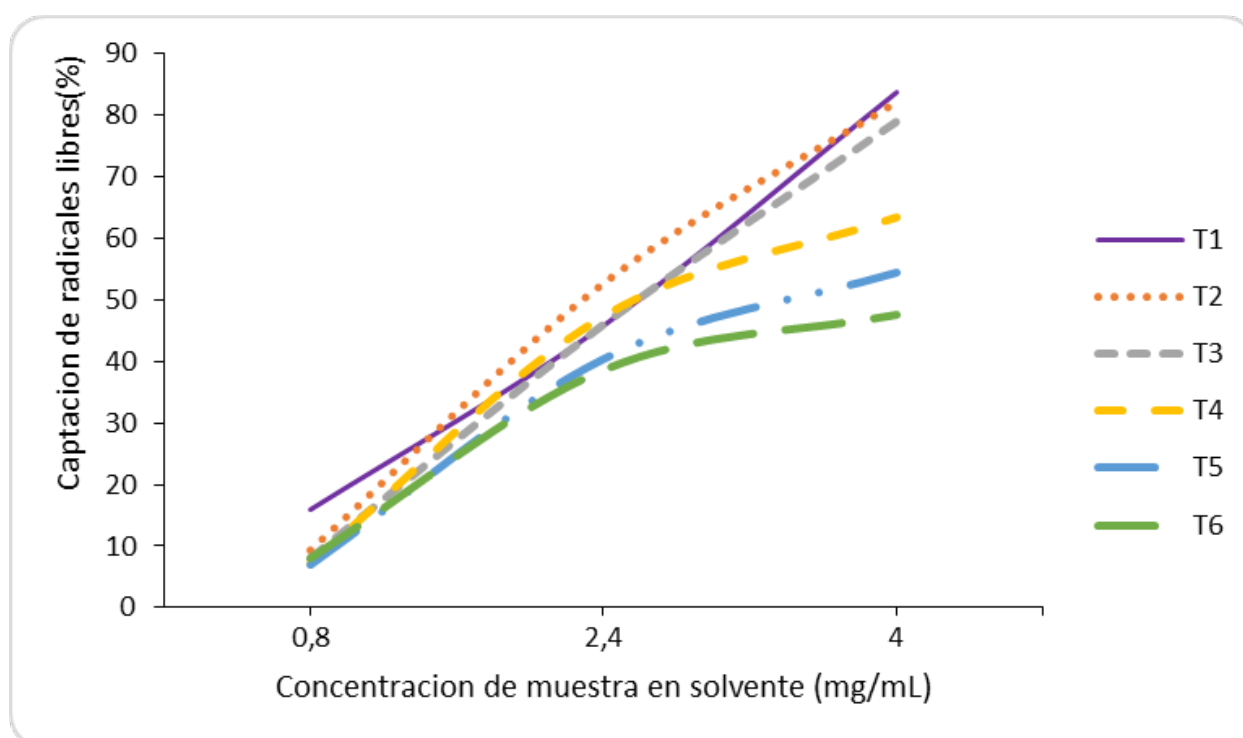
medicina, en la industria manufacturera y alimentaria a base de cáscara de cacao, dado que los compuestos fenólicos, se consideran importantes antioxidantes en la dieta y han sido asociados con efectos en la salud, para la protección de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, y lucha contra el cáncer, enfermedades cardiovasculares y los síntomas de la menopausia, así como, efectos antiinflamatorios y vasodilatadores (Ramírez et al. 2013; Peñarrieta et al. 2014; ; Sotelo et al., 2015; Teneda et al. 2019). Además, compuestos fenólicos juegan una serie de funciones metabólicas en las plantas, en el crecimiento y reproducción, y en la protección contra patógenos externos y el estrés, la radiación UV y los depredadores (Peñarrieta et al., 2014), jugando un papel

muy importante en la industria agrícola, si se aplicaran metodologías de rigor científico para evaluar el efecto de los extractos fenólicos obtenidos, en el tratamiento fitosanitario o fertilización de diversos cultivos.

Determinación de Capacidad antioxidante

En la tabla 4 se presenta los resultados de la capacidad antioxidante requerido para inhibir el radical DPPH. No se encontró diferencia

estadística significativa ($\geq 0,05$) entre los porcentajes de captación de radicales libres de muestras de los municipios, posiblemente debido a las condiciones agroclimáticas son muy similares, afirmación que puede soportarse con la relación del contenido de metabolitos secundarios y la interacción con el medio ambiente que rodea las plantas (Ávalos y Pérez, 2011), reflejo de factores como manejo de podas, riegos, fertilización, suelos entre otros.



*Las líneas de cada uno de los tratamientos representan el valor promedio de inhibición de DPPH los 3 municipios

Figura 1. Porcentaje promedio de captación de radicales libres de extractos etanólicos en diluciones con agua destilada. **Fuente:** autores.

El porcentaje de captación de radicales libres entre los tratamientos y las concentraciones de extractos en disoluciones con agua destilada, presentaron diferencias significativas con un comportamiento directamente proporcional (figura 1); A medida que aumenta el contenido de extracto etanólico en la discusión con agua destilada, aumenta el porcentaje de capacidad antioxidante de diluciones; resultados similares encontrados por Álvarez et al. (2016), quienes evidenciaron diferencias significas en la evaluación de extractos y su capacidad antioxidante por DPPH, con valores

expresados como porcentaje de rendimiento de extracción, con un 20% mejor con solventes etanólicos respecto a los solventes acuosos. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Kang et al. (2003), y López et al. (2010), quienes relacionan la actividad antioxidante, la polaridad de los extractos, las técnicas y metodológicas, como elementos con efecto crítico sobre el rendimiento de extracción, en los cuales, extractos con solventes de mayor polaridad fueron los que presentaron la mayor actividad antioxidante (Kang et al., 2003; López et al., 2010).



Tabla 4. Porcentajes de captación de radicales y valores de IC50 (mg/mL) en extractos de cáscara de cacao.

Extractos (4,0 mg/ mL)	Elías	Timana	Oporapa	X	IC50(mg/mL)
	Porcentaje de captación de radicales (%)				
T1	81,77	86,99	82,54	83,76	4,92
T2	79,64	83,99	82,87	82,17	
T3	77,77	81,64	77,65	79,02	
T4	55,75	78,77	55,99	63,50	
T5	56,09	61,52	45,43	54,35	
T6	30,56	46,09	36,54	37,73	

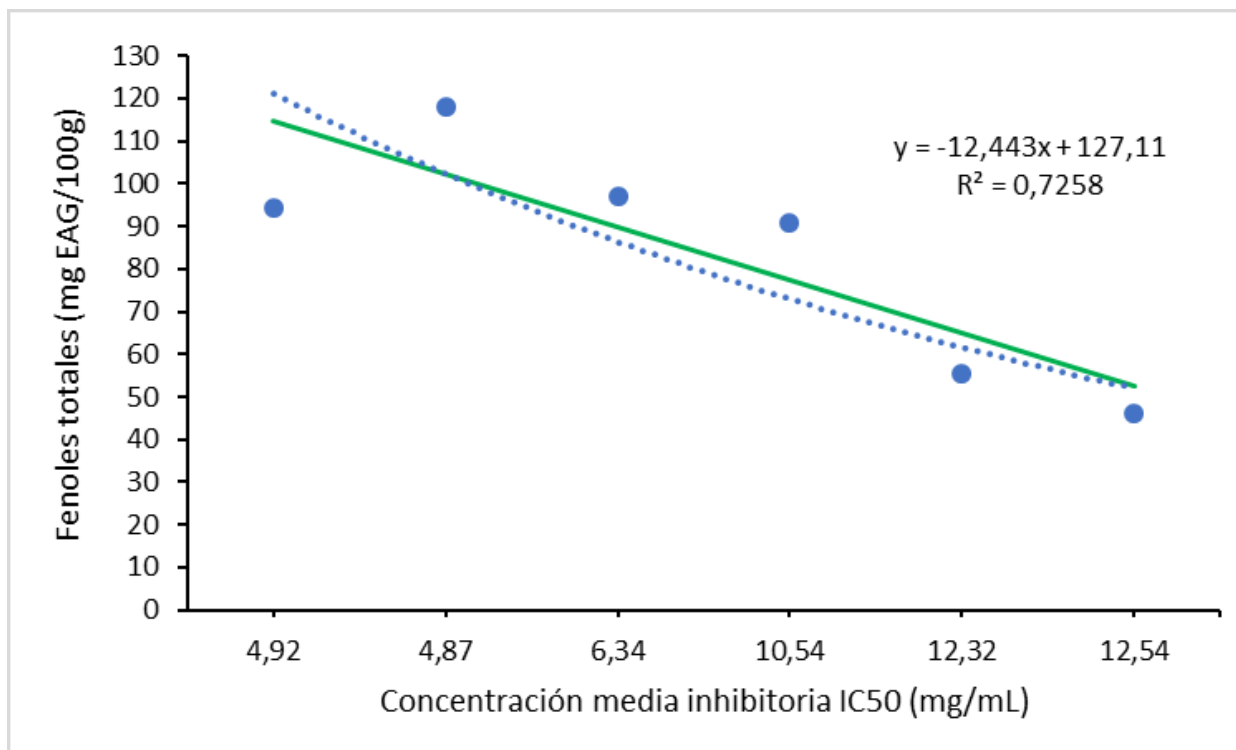
Fuente: autores.

Para obtener los resultados de la evaluación de la actividad antioxidante y determinación del IC50 (Tabla 4), se tomó la dilución de 4 mg/mL de extracto etanólico en agua destilada por presentar mejor comportamiento en la expresión de la capacidad antioxidante (Figura 1), entendiendo que los valores en mg/mL de IC50, son la concentración necesaria de la muestra para disminuir en un 50% la concentración inicial de los radicales libres DPPH+ (Jurado et al., 2016), es decir a menor valor de IC50, mayor es la capacidad antioxidante. Se puede observar en la tabla 4 que el mejor valor IC50(4,92 mg/mL) corresponde al extracto obtenido con 100% etanol y valor inferior IC50(12,54 mg/mL) con el extracto de agua destilada; A mayor concentración de etanol, mayor porcentaje de captación de radicales libres.

Por otro lado, los porcentajes de captación de radicales libres oscilaron entre 30,56 % a 86,99 %, son superiores a los datos de Ramírez, et al. (2013), de 34 extractos de semilla de cacao, donde la más alta fue de 52,5 %. Los métodos de procesamiento de las semillas como sometimiento a productos

químicos, altas temperaturas y reducción del contenido de humedad, disminuyen la capacidad antioxidante de la semilla (Ramírez, et al., 2013)

Finalmente, se evalúa la relación de fenoles totales con la actividad antioxidante; La figura 2 evidencia como los compuestos fenólicos presentaron un comportamiento similar a la actividad antioxidante frente a los extractos evaluados. En el análisis conjunto del total de muestras de la relación v/v de los extractos, se encontró una correlación inversa entre el contenido de polifenoles totales (mg EAG/g) y la actividad antioxidante IC50. El coeficiente de determinación R^2 fue 72,5%, indicando alto grado de asociación entre los dos ensayos; por tanto, existe mayor presencia de polifenoles totales en las muestras a mayor actividad antioxidante o menor IC50. Los fenoles se destacan por poseer actividad antioxidante reafirmando lo descrito por Bowler et al. (1994), quien encontró que se trata de compuestos capaces de oxidarse a sí mismos para retardar, inhibir y prevenir las reacciones de oxidación de las moléculas (Bowler et al., 1994).



*Cada punto representa los extractos tomados como tratamientos por la concentración v/v etanol/agua

Figura 2. Correlación de fenoles totales (mg EAG/100g) vs capacidad antioxidante expresada IC50 (mg/mL).

Fuente: autores.

CONCLUSIONES

Las cáscaras de los frutos resultaron en promedio de 82,95 % del peso total del fruto de cacao tomados de los 3 municipios. El extracto 80:20 v/v etanol al 96% y agua destilada, presenta el mejor comportamiento del compuesto fenólico total y la dilución 4 mg/ml presenta los mayores valores con 81,77 % de captación de radicales, reflejo de la actividad antioxidante determinada por el método DPPH. El contenido de fenoles totales

varió entre 129,91 y 42,62 mg EAG/100 g. La capacidad antioxidante frente al radical DPPH vario con respecto al IC50 de 4,92 a 12,32 mg/m. Existió correlación inversa entre el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante con coeficiente de determinación R^2 72,5%, los cuales son dependientes del método de extracción, cuantificación y análisis de los mismos.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Karen Sirley Murcia: Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original.

María del Rosario Castañeda: Logística, investigación, conceptualización, supervisión, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A SENNOVA, del Centro de gestión y desarrollo sostenible Surcolombiano por la financiación del proyecto bajo el radicado SIGP: 4007 - 2018.

A Liliana Marcela Moreno, por su dedicación y tiempo utilizado para el planteamiento del proyecto.



A Camilo Villegas Yepes, por su apoyo y dedicación en la lectura y aplicación de protocolos de análisis de polifenoles y capacidad antioxidante.

A Ligia Gasca Torres, por su apoyo en la gestión de aprendices del semillero de investigación, que participaron de la ejecución del proyecto.

A los aprendices de contrato, del semillero de investigación de sistemas sostenibles agropecuario por su apoyo en el procesamiento de las muestras.

Al Centro de gestión y desarrollo sostenible Surcolombiano sede Yamboró por la confianza y credibilidad para permitir el acceso a los laboratorios y equipos que dieron lugar a la ejecución de este proceso de investigación.

A los agricultores de cacao de los municipios de Elías, Timana y Oporapa por su disposición y proporción de las muestras de cacao utilizadas para el presente proyecto.

LITERATURA CITADA

Álvarez-Gómez, Félix, Korbee, Nathalie & Figueroa, Félix L. (2016). Análisis de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos en extractos macroalgales y liquénicos mediante la aplicación de diferentes solventes y métodos de evaluación. *Ciencias marinas*, 42(4), 271-288. <https://doi.org/10.7773/cm.v42i4.2677>

Brand-Williams W, Cuvelier M & Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 20, 25-30

Barazarte, Humberto, Sangronis, Elba y Unai, Emaldi. (2008). Cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58 (1), 64-70. Recuperado en 11 de octubre de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222008000100009&lng=es&tlng=en

Bowler, C., Van Camp, W., Van Montagu, M. & Inzé, D. (1994). Superoxide dismutase in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13(3), 199-218.

Cadena, T. & Herrera, Y. M. (2008). Evaluación del efecto de procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su actividad antioxidante (Tesis pregrado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Castillo, Eury., Alvarez, C. y Contreras, Y. (2018). Caracterización fisicoquímica de la cáscara del fruto de un clon de cacao (*theobroma cacao* L.) Cosechados en Caucagua estado Miranda. *Venezuela. Revista de Investigación*, 42 (95), 154-175. ISSN: 0798-0329. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3761/376160247008>

Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. & Oomah, D. (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 172-184, ISSN 0924-2244. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>

Cuellar, O.A. (2010). Obtención del extracto polar etanol: agua (1:1) de la cáscara de cacao y evaluación de su actividad antibacteriana. (Tesis tecnólogo). Universidad tecnológica de Pereira. Colombia.

Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E. & Rodríguez-Tadeo, A. (2019). Ingestión de compuestos fenólicos en población adulta mayor. *Nutrición Hospitalaria*, 36(2), 470-478. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.2171>

Chaouche TM, Haddouchi F, Ksouri R, Medini F, El-Haci IA, Boucherit Z, Sekkal, F. & Atik-Bekara, F. (2013). Antioxidant activity profiling by spectrophotometric methods of phenolic extract of *Prasium majus* L. *Free Radicals and Antioxidants*, 3, 43-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fra.2013.03.004>

Fowler, MS y Coutel, F. (2017). Granos de cacao: del árbol a la fábrica. En *Fabricación y uso de chocolate industrial* de Beckett (eds ST Beckett, MS Fowler y GR Ziegler). pp. 9-49. <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch2>

Gutiérrez Zavala, Ángel, Ledesma Rivero, Luis, García, Isabel, & Grajales Castillejos, Octavio. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y

regionales de Chiapas, México. Revista Cubana de Salud Pública, 33(1) http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662007000100008

Gobernación del Huila. (2019). Contexto de los componentes Físico, Socio-ecosistémico y Socioeconómico Anexo 1 de la memoria técnica de Evaluación de Tierras. Pap 78

Hernández-Hernández, C., Viera-Alcaide, I., Morales-Sillero, A., Fernández-Bolaños, J. & Rodríguez-Gutiérrez, G. (2018). Bioactive compounds in Mexican genotypes of cocoa cotyledon and husk. Food Chemistry, 240, 831-839. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.018>

Hutomo, GS, A. Rahim y S. Kadir (2016). Pectin Isolation from Dry Pod Husk Cocoa with Hydrochloride Acid. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 5 (11), 751 – 756. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.511.086>

Jurado T. B., Aparcana A., I., Villarreal I. L., Ramos L. E., Calixto C. m., Hurtado M. P. & Acosta A. K. (2016). Evaluación del contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) de diferentes lugares del Perú. Revista de la Sociedad Química del Perú, 82(3), 272-279. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000300003&lng=es&tling=es

Kang G.D., Yunk C.K. & Lee H.S. (2003). Screening and comparison of antioxidant activity of solvents extracts of herbal medicines used in Korea. Journal of Ethnopharmacology; 87: 231-236. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(03\)00142-9](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(03)00142-9)

López, A., Rico, M., Rivero A. & Suárez de Tangil, M. (2010). The effects of solvents on the phenolic contents and antioxidant activity of *Stypocaulon scoparium* algae extracts Food Chemistry. 2011 Apr;125(3):1104-1109. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.09.101

López-Muñoz, N., Romero-Bastidas, M., Arce-Amézquita, P.M. & Hernández-Rubio, J. (2019). Actividad antifúngica de antioxidantes derivados de cuatro

cultivares de *Capsicum* spp. contra hongos fitopatógenos. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 6(18), 487-498. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2174>

Martínez, N. (2016). Evaluación de componentes físicos, químicos, organolépticos y del rendimiento de clones universales y regionales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las zonas productoras de Santander, Arauca y Huila. Universidad Nacional de Colombia (Tesis de Maestría). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56670>

Ordoñez, E S, Leon-A, A, Rivera-Rojas, H, & Vargas, El. (2019). Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), tuna (*Opuntia ficus indica* Mill), uva (*Vitis Vinífera*) y uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). Scientia Agropecuaria, 10(2), 175-183. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.02>

Peñarrieta, J. Mauricio; Tejeda, Leslie; Mollinedo, Patricia; Vila, José L.; Bravo, José A. (2014) Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos Revista Boliviana de Química, vol. 31, núm. 2, julio-diciembre. pp. 68-81 Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Bolivia

Quintana Fuentes, L. F., Gómez Castelblanco, S., García Jerez, A., & Martínez Guerrero, N. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia. Revista De Investigación Agraria Y Ambiental, 6(1), 252 - 265. <https://doi.org/10.22490/21456453.1284>

Ramírez González, M. B., Cely Niño, V. H. y Ramírez, S. I. (2013). Actividad antioxidante de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) Finos y aromáticos cultivados en el estado de Chiapas México. Perspectivas en Nutrición Humana, 15(1), 27-40. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-41082013000100002&lng=en&tling=es

Singleton, V., Orthofer, R. & Lamuela-Raventós, R. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation substrates and



Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-179.

Sotelo C., L., Alvis B., A. & Arrázola P., G. (2015). Evaluación de epicatequina, teobromina y cafeína en cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.), determinación de su capacidad antioxidante. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 9(1), 124-134. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3751>

Peñaranda-Gonzalez, L. V., Montenegro-Gómez, S. P. & Giraldo-Abad, P. A. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 141-150. <https://doi.org/10.22490/21456453.2040>

Us-Medina, Ulil, Millán-Linares, María del Carmen, Arana-Argaes, Víctor Ermilo, & Segura-Campos, Maira Rubi. (2020). Actividad antioxidante y antiinflamatoria in vitro de extractos de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnston). *Nutrición Hospitalaria*, 37(1), 46-55. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.02752>

Vargas-Corredor, Y. & Perez-Perez, L. (2018). Aprovechamiento De Residuos Agroindustriales En El Mejoramiento De La Calidad Del Ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>

Vargas, R., Martínez, E., Hernández, J., Torrescano, G. & Sánchez, A. (2020). Effect of physicochemical properties and phenolic compounds of bifloral propolis on antioxidant and antimicrobial capacity. *Nova scientia*, 12(24). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2134>

Villamizar-Jaimes A.R. y López-Giraldo, L.J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22(1), 75-83.

Velásquez, A. (2019). Análisis de la cadena de cacao en la provincia de los ríos, Ecuador, *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 1-17. <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/11/cadena-cacao-ecuador.html>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.







AGROBIODIVERSIDAD DE LEÑOSAS MULTIPROPÓSITO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS CAFETEROS

MULTIPURPOSE WOODY PLANTS DIVERSITY IN PRODUCTIVE COFFEE SYSTEMS

Iván A. Delgado-Vargas • ivan.delgado@udenar.edu.co

M.Sc. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo investigación PIFIL. San Juan de Pasto, Colombia.

William Ballesteros Possú • wballesterosp@udenar.edu.co

Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo investigación ARENA. San Juan de Pasto, Colombia.

Vanessa Arellano Chungana • vanessa.arellano@udenar.edu.co

Ing. Agroforestal. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo investigación PIFIL. Pasto, Colombia.

Citación: Delgado-Vargas, I., Ballesteros, W., y Arellano, V. (2022). Agrobiodiversidad de leñosas multipropósito en sistemas productivos cafeteros. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 67 – 80. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4741>



RESUMEN

Contextualización: Procesos antropogénicos, como el inadecuado manejo de sistemas productivos y la ampliación de la frontera agropecuaria, son causa de la disminución en la productividad, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Como alternativa surge la agroforestería, la cual permite la obtención de bienes y servicios diferenciados en los ecosistemas en los que se aplica.


Vacío del conocimiento: La presencia de leñosas en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) contribuye a múltiples beneficios en las funciones ambientales, productivas, socioeconómicas, biológicas, etológicas, protectoras, estéticas, entre otras, del cultivo. Sin embargo, en el sur del departamento de Nariño se presenta un limitado conocimiento de los índices de biodiversidad y, por ende, de los bienes y servicios que proveen estos tipos de sistemas productivos al caficultor.

Propósito: El objetivo del presente estudio fue comparar 4 tipos de sistemas productivos y caracterizar el dosel de sombra, calcular los índices de diversidad y estimar el porcentaje de sombra para conocer la producción y volumen de madera resultado del asocio de leñosas en sistemas productivos cafeteros de tres municipios de Nariño.

Metodología: Se trabajó en cuatro sistemas productivos: T1: café a pleno sol; T2: café y musáceas; T3: café y leñosas multipropósito; T4: café, musáceas y leñosas perennes multipropósito. El estudio se realizó usando un diseño de bloques completos al azar (con tres bloques) y se midió densidad, índices de diversidad, porcentaje sombra, producción y volumen de madera.

Resultados y conclusiones: Se registró un total de 359 individuos, distribuidos en 37

especies. La mayor densidad se presentó en T4 (108 árboles/ ha) y la mayor abundancia (70 %) se encontró en T3, representado por la especie *Fraxinus chinensis* Roxb. En T4 se observaron índices altos de Shannon y bajos en Simpson (1,9 y 0,2), y mayor porcentaje de sombra (57,7 %). La producción del café osciló entre 1050 - 3300 kg ha⁻¹ año⁻¹. Se concluye que los sistemas productivos agroforestales consiguen una mejor estabilidad económica

y un aumento en los beneficios ambientales y sociales en los cultivos, siendo estos sistemas una herramienta en la adaptación y mitigación al cambio climático en fincas que pueden lograr una participación en el mercado de cafés especiales sostenibles. 

Palabras clave: riqueza; oclusión de sombra; café; agroforestería


ABSTRACT

Contextualization: Anthropogenic processes, as the inadequate management of productive systems, and the increase of the agricultural border are the causes of the reduction in productivity, biodiversity and ecosystemic services. As an alternative come up agroforestry, which allows obtaining different goods and services on the ecosystems where is applied.

Knowledge gap: Woody plants in coffee cultivation (*Coffea arabica* L.), contributes to the sustainable development and conservation of the multiple benefits in the environmental, productive, socioeconomic, biological, ethological, protective, aesthetic functions, among others, of the crops. However, coffee cultivators of the south of the department of Nariño have a lack of knowledge about the biodiversity, and so of the services and goods provided by these kinds of productive systems.

Purpose: The purpose of this work was to compare four kinds of productive systems and characterize the shade canopy, calculate the diversity indices, and estimate the percentage of shade to know the production and volume resulting of woody associating on productive coffee systems in three municipalities of Nariño.

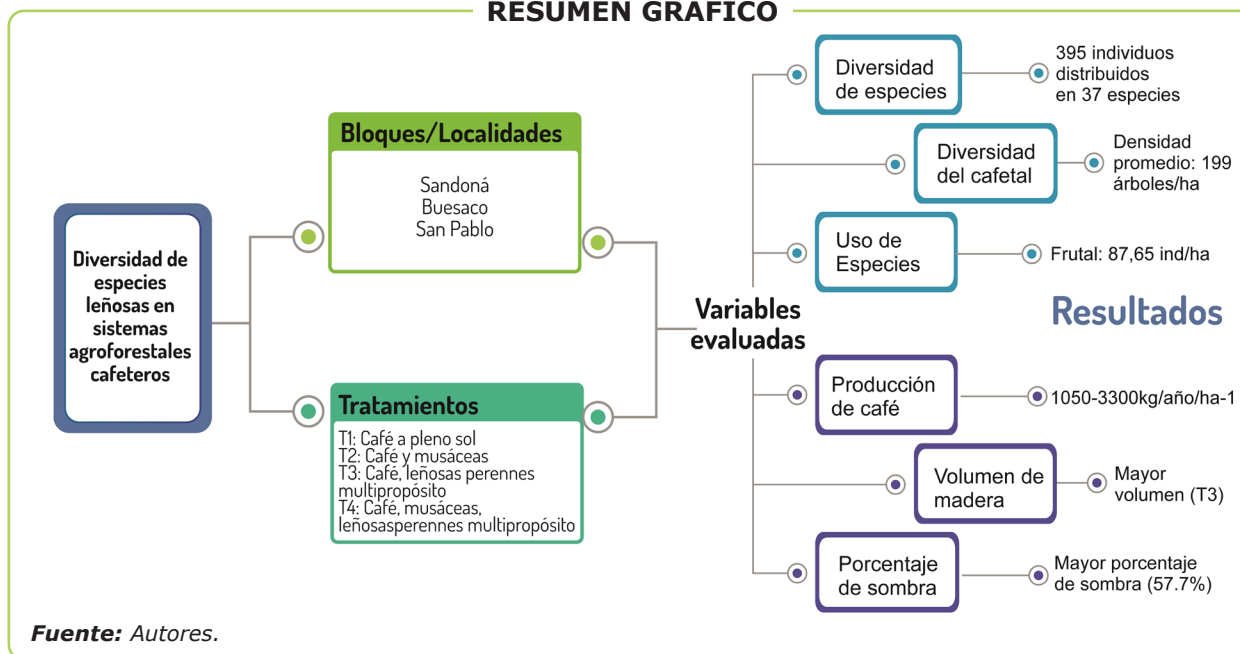
Methodology: Was developed in four productive systems a random complete blocks design (3 x 4), constituted by four treatments: T1: coffee in full sun; T2: coffee and *musaceae*; T3: coffee, woody multipurpose plants; T4: coffee, *musaceae*, woody multipurpose plants. Density, diversity indices, shade percentage, production and volume of wood were measured.

Results and conclusions: A total of 359 individuals were registered, distributed in 37 species. The highest density was obtained in T4 (108 trees/ha). The highest ecological weight (57.7 %) was found in T3, represented by the species *Fraxinus chinensis* Roxb. In T4, high Shannon indices, low Simpson indices (1.9 and 0.2) and a higher percentage of shade (57,7 %) were observed. Coffee production ranged between 1050-3300kg year⁻¹ ha⁻¹. As conclusion, the agroforestry systems obtain a better economic stability and increase the economic and social benefits of the plantations, being a great tool in the adaptation and mitigation of climatic change on farms that can obtain a great participation in the market of sustainable special coffee. 

Keywords: richness; shadow estimation; coffee; agroforestry



RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

La agrobiodiversidad se define como el conjunto de factores bióticos que interactúan en los agroecosistemas, ofreciendo múltiples bienes y servicios a la humanidad (León, 2014). En los últimos años se ha renovado la importancia de los servicios ecosistémicos debido a los retos de la Pandemia del COVID-19 (DiMaio et al., 2020), la amenaza del cambio climático (Cárdenas y Tobón 2016) y la demanda creciente de bienes y servicios (Egal y Berry, 2020). La provisión de servicios ecosistémicos, por parte de la agrobiodiversidad, es innumerable (Phalan et al., 2011) y entre ellos se encuentran: polinización; recursos genéticos y bioquímicos (Cusser, Neff y Jha, 2016); mitigación de plagas (Wan et al., 2013); secuestro de carbono y fijación de nitrógeno (Jarvis et al., 2007); valores culturales y recreación (Landis, 2017), entre otros.

a nivel de paisaje, y específicamente en finca, las leñosas multipropósito (árboles y arbustos), proveen bienes y servicios que no se han cuantificado y que son una oportunidad para una producción más sostenible. Un caso específico son los agroecosistemas de producción cafeteros. En estos, la combinación del café (*Coffea arabica* L.) con diversos árboles provee múltiples funciones ambientales, ya

que son un indicador de seguridad alimentaria, además de un factor de gran relevancia en las características organolépticas del café (Farfán, 2014; Ordóñez et al., 2019). Adicionalmente, proveen protección del suelo (Somarriba, 1992), regulan los flujos hídricos (Lorenz y Lal, 2014), generan microclimas (Sereke et al., 2015), retienen y absorben nutrientes, controlan arvenses, regulan plagas y enfermedades, entre muchos otros servicios ambientales (Pinoargote et al., 2017). Todos estos beneficios contribuyen al desarrollo sostenible y a la conservación de los recursos naturales.

Por otra parte, la agrobiodiversidad de especies en los sistemas productivos de café permite obtener recursos a corto, mediano y largo plazo (Rosales-Adame et al., 2014) con una serie de interacciones que permite el desarrollo de estrategias morfológicas y biológicas para adaptarse a las condiciones ambientales adversas (Gillison et al., 2013). Características que los agricultores utilizan positivamente y que pueden ser un factor clave para el desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático a través de la agricultura climáticamente inteligente (Cámara-Leret et al. 2019). Respecto a esto, en el suroccidente de Colombia se han desarrollado programas de cafés especiales, productos que son muy apreciados en el comercio internacional por su denominación

de origen y por estar sembrados en asocio con árboles y arbustos (Oberthür et al., 2011). Sin embargo, esta caficultura tiene un bajo nivel de tecnología (Criollo et al., 2016), presentando vulnerabilidad a los efectos del aumento de temperatura [en promedio de 2,8 °C y un incremento de las lluvias de 12,03 %] proyectados para el año 2050 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] et al., 2015). Esta vulnerabilidad coloca en riesgo la biodiversidad, los ingresos de los agricultores y el paisaje cafetero de la región andina (Corporación Autónoma Regional de Nariño [CORPONARIÑO] y World Wildlife Fund [WWF], 2016).

En este sentido, y en aras de potenciar la viabilidad de los cultivos de café, hay que prestar especial atención a la correlación que existe entre el nivel de sombra, las fertilizaciones y la productividad del café. Se establece que a medida que incrementa el sombrío en el cultivo de café, por encima del 40%, se disminuye la productividad (Farfán, 2014). Sin embargo, estos no son los únicos factores relevantes, puesto que varios estudios indican que la interacción árbol-cultivo tiene una influencia significativa sobre el crecimiento vegetativo, la floración, el cuajamiento de frutos, la diversificación de la producción y la calidad del grano (Zapata, 2019; Villarreyna et al., 2020). Esto muestra que la interacción entre árboles y cultivos, además de aumentar la resiliencia de los cafetales, puede imprimir características diferenciadoras de sabor y aroma.

Algunos investigadores indican que las pérdidas que se presentan por el exceso de sombrío pueden ser compensadas por el precio de la almendra en pergamino seco, en mercados diferenciados (café de altura), y los productos que se obtienen de los árboles en asocio; por lo anterior, es imperante conocer estos índices de biodiversidad en los sistemas cafeteros en el sur de Nariño, los cuales causan incertidumbres sobre los bienes y servicios que puede proveer al caficultor. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar la agrobiodiversidad de las leñosas como dosel de sombra en diferentes sistemas productivos cafeteros, lo anterior con el fin de conocer los índices de diversidad y

estimar el porcentaje de sombra en la región alto-andina. Para lograr esto, se analizó la producción de café pergamino ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) en los diferentes sistemas productivos y se estimó el volumen comercial de las leñosas en los sistemas agroforestales cafeteros, como bien y servicio que provee el sistema, en los municipios de Buesaco, San Pablo y Sandoná del departamento de Nariño.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. La investigación se desarrolló en los municipios de Sandoná, 1°17'05"N y 77°28'16"W (veredas San Gabriel, Plan Ingenio, San Andrés y San Fernando); San Pablo, 1°36'06"N y 77°00'15"W (veredas El Alto y Alto Llano); y Buesaco, 1°23'05"N y 77°09'23"W (veredas Veracruz, Hatillo Medina y Medina espejo); en la zona norte del departamento de Nariño, Colombia. La región presenta un clima con una temperatura media (de 14 a 18°C), precipitaciones de 765 hasta 1 472 mm y una altitud entre los 1 700 y 1 959 m (IDEAM et al., 2015). Las localidades de estudio se seleccionaron de acuerdo con estos criterios: producción de café de altura, rendimiento, accesibilidad y representatividad cafetera en la región.

Unidades experimentales y medición de variables. Mediante visitas de campo, y en compañía de los caficultores, se seleccionaron los sistemas productivos cafeteros de acuerdo con su edad productiva: entre 4 a 6 años (Los sistemas SAF se establecieron a priori, cabe aclarar que dichos sistemas llevan bastante tiempo en las fincas y el cultivo de café se mantiene por soqueo o renovación completa), y la variedad de café. Se evaluó la composición botánica del dosel de sombra, adaptando las metodologías de Somarriba (2002), López et al. (2003) y Pinoargote et al. (2017) a este estudio.

El estudio se realizó en las localidades Buesaco, Sandoná y San Pablo, en las cuales se evaluaron cuatro tratamientos: T1: café a pleno sol; T2: café y musáceas; T3: café, leñosas multipropósito; T4: café, musáceas, leñosas multipropósito. Se utilizó una parcela útil de 250m² (15,81 x 15,81 m) donde se registraban las especies y se promediaban para 1 hectárea, según la metodología



propuesta por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 2009). Se evaluaron estas variables: diversidad de especies en el cafetal, uso principal de las especies (frutal, forraje, leña, maderable, ornamental y musácea), porcentaje de sombra, producción de café y volumen de madera.

Caracterización de agrobiodiversidad, densidad de plantas y composición florística. Mediante inventario se tomaron las siguientes medidas dasométricas: diámetro del tallo a la altura del pecho (1,30 m), altura y área basal de las especies acompañantes en cada uno de los sistemas. Se determinó el índice valor de importancia (IVI) de las especies (Hurtado et al., 2017) a partir de la abundancia, frecuencia y dominancia relativa. Para caracterizar la composición y estructura de la vegetación se calculó la riqueza y abundancia de especies, los índices de diversidad de especies de Shannon-Weaver, el de dominancia de Simpson y la similitud de Jaccard.

El índice de Shannon-Weaver permite conocer la heterogeneidad de una comunidad con base en dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (González et al. 2018), así:

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i) \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

h = Diversidad de Shannon

pi = (ni/N) Abundancia proporcional (relativa)

El índice de dominancia de Simpson enfatiza en las especies más comunes o aquellas que están mejor representadas (dominan) en el área de muestreo, y representa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie (González et al., 2018):

$$D = \sum P_i^2 \text{ o } D = \frac{n(n-1)}{N(N-1)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde:

pi = Abundancia proporcional

ni = Número de individuos de la iésima especie

N = Número de individuos totales

El índice de Jaccard, por otra parte, expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas (González et al. 2018):

$$I_j = \frac{c}{a+b-c} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde:

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B

Estimación de sombra. La incidencia de especies y la sombra sobre el cultivo de café se estimó con base en la oclusión, diámetro de copa y densidad poblacional de los árboles, para lo cual se tomó: Área total de la plantación o parcela de muestreo (at); número de árboles (n) en at; diámetro de copa promedio (d) o los diámetros de copa de cada árbol (di); oclusión promedio de las copas (o) o la oclusión de la copa de cada árbol (oi); de acuerdo a la metodología propuesta por Somarriba (2002).

Volumen y producción. Teniendo en cuenta el factor «forma» para cada especie evaluada (Cilíndrico: 1. Paraboloide: 0,5. Cono: 0,33. Neiloide: 0,25) y las mediciones dasométricas DAP y altura se realizó la cubicación de la cantidad de madera que se puede extraer (Cancino, 2006). Mediante el seguimiento a los sistemas se calculó la producción de café pergamino (kg ha⁻¹año⁻¹) en los diferentes sistemas productivos evaluados.

Análisis estadístico. Se realizaron análisis de varianza considerando como bloques a las tres localidades, con cuatro tratamientos en cada una (T1: café a pleno sol; T2: café y musáceas; T3: café, leñosas multipropósito; T4: café, musáceas, leñosas multipropósito). Las variables analizadas fueron la diversidad, la densidad de plantas y composición florística del dosel de sombra, la producción y el volumen de madera. Se compararon las medias mediante la prueba de Duncan, con un 5 % de probabilidad de error y se empleó en todos los análisis el software estadístico SAS V.9.4. (Universidad Complutense de Madrid, 2009).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agrobiodiversidad y composición florística del dosel de sombra en cafetales. Se registraron 1 396 individuos, distribuidos en 24 familias y 36 especies, para un promedio de 4,5 especies/cafetal en los diferentes sistemas (Tabla 1). Las especies más abundantes fueron *Trichanthera gigantea* (Bonpl.) Nees, *Musa × paradisiaca* L., *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn, *Citrus limon* (L.) Osbeck, *Carica papaya* L., *Psidium guajava* L., *Ephorbia cotinifolia* L. y *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. Se determinó

que los principales usos de los árboles en asocio con el sistema productivo con café fueron: frutales (77 %), seguidos de forraje (8 %), maderables (8 %), ornamentales (7 %) y leña (1 %), permitiendo inferir la importancia de las especies frutales para las familias caficultoras, pues sus productos (frutos, granos, entre otros) permiten tener en la finca alimentos para el autoconsumo, alimentación para especies pecuarias y obtención de un ingreso adicional diferente al café (Méndez et al., 2013).

Tabla 1. Caracterización de las leñosas multipropósito en asocio con el cultivo de café (*Coffea arabica* L.).

Nombre científico	Nombre común	N.º de individuos	Uso principal
<i>Annona cherimola</i> Miller	Chirimoya	8	Frutal
<i>Bixa orellana</i> L.	Achote	4	Frutal
<i>Carica papaya</i> L.	Papaya	52	Frutal
<i>Citharexylum subflavescens</i> S.F.Blake	Cajeto	3	Ornamental
<i>Citrus latifolius</i> Tanaka ex Q. Jiménez	Lima	3	Frutal
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	Limón	40	Frutal
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Naranja	28	Frutal
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Nogal cafetero	15	Maderable
<i>Cyphomandra betacea</i> (Cav.) Sendtn	Tomate de árbol	36	Frutal
<i>Eugenia jambos</i> L.	Pomarrosa	2	Maderable
<i>Euphorbia cotinifolia</i> L.	Pillo, liberal	27	Ornamental
<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb	Urapán	3	Maderable
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Chicharro	23	Ornamental
<i>Heliocarpus americanus</i> L.	Pillo	16	Maderable
<i>Inga edulis</i> Mart.	Guamo	20	Frutal
<i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Guayacán	8	Maderable
<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	20	Frutal
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Standl	Níspero	29	Frutal
<i>Matisia cordata</i> Bonpl.	Zapote	1	Frutal
<i>Musa × paradisiaca</i> L.	Plátano	712	Frutal
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (K Mc V.)	Arrayan	25	Maderable
<i>Myrciaria dubia</i> (Kunth) McVaugh	Guayabo	7	Ornamental
<i>Myrsine</i> sp	Mote	2	Leña
<i>Persea americana</i> Mill. Var Hass	Aguacate	26	Frutal



Nombre científico	Nombre común	N.º de individuos	Uso principal
<i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham.	Pino	13	Maderable
<i>Pouteria lucuma</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	Maco	3	Ornamental
<i>Psidium guajava</i> L.	Guayaba	31	Frutal
<i>Saurauia parviflora</i> Triana & Planch.	Moquillo	1	Ornamental
<i>Senna pistaciifolia</i> (Kunth) H.S. Irwin & Barneby	Pichuelo	2	Ornamental
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby	Vainillo	5	Ornamental
<i>Solanum ovalifolium</i> Dunal	Cujaco	1	Ornamental
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	Guayacán amarillo	13	Maderable
<i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	Nacedero	70	Forraje
<i>Vasconcellea cundinamarcensis</i>	Chilacuan	1	Frutal
<i>Verbesina arborea</i> Kunth	Colla blanca	27	Forraje
<i>Viburnum pichinchense</i> Benth	Pelotillo	6	Ornamental

Fuente: Autores

La diversidad de especies encontradas en cada finca coincide con lo encontrado por Pinoargote et al. (2017) en su investigación realizada en los municipios de Jinoteca y Matagalpa de Nicaragua, donde reporta un promedio de 4,9 especies/cafetal. En contraste, Gross et al. (2014), en la zona de Pico Duarte en República Dominicana, y De Souza et al. (2012), en la zona de Minas Gerais en el estado de Brasil, reportaron entre 2,8 a 10,8 especies/cafetal, respectivamente; estas cifras son un indicador de la diversidad.

El manejo y cantidad de especies de dosel de sombra varían, debido a que, en muchos casos, estos SAF no presentan un diseño o arreglo espacial específico (distancias de siembra), lo que se denomina sistemas agroforestales tradicionales (Sauvadet et al., 2019). Su implementación se debe a factores como el crecimiento de árboles dispersos (de relictos de bosques en la zona o regeneración) o la siembra de algún árbol de interés para la familia (Pinoargote et al., 2017).

El promedio de individuos de dosel de sombra fue de 115 árboles/ha (Tabla 2), de las cuales en su mayoría fueron especies frutales (20 árboles/ha). En los sistemas productivos

SAF T3 y T4, se reportó como uso principal los frutales. Al respecto, Vega-Orozco et al. (2014) y Van-Rikxoort et al. (2014) en estudios de cafetales en México, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Colombia reportaron un promedio de 221 árboles/ha; mientras De Souza et al. (2012) encontraron 336 árboles/ha para la zona de Mata en Brasil, resultados que discrepan de los valores encontrados en este estudio. Según Zapata (2019), estas diferencias están relacionadas con las preferencias de los productores, asociadas al uso y características de las especies que determinan interacciones favorables en asocio con el café, y a las condiciones económicas, ambientales y sociales del medio. Además, es de resaltar que la zona de estudio se encuentra en zona andina ($1\,700 \pm 1\,959\text{m}$), por lo cual el número de árboles/hectárea disminuye para darle paso a la entrada de luz al cultivo de café.

Cabe resaltar que, en la zona de estudio, la introducción de leñosas multipropósito (cedro, laurel, leucaena, guamo, aguacate, cítricos, entre otros) en sistemas cafeteros es una actividad reciente, debido a que en esta región anteriormente se cultivó el café de forma tradicional, es decir como monocultivo

(Calpa et al., 2019). Esto ocurre porque la zona de estudio presenta una temperatura media ($14\pm 18^{\circ}\text{C}$) que limita la abundancia de especies de asocio con el cultivo de café. No obstante, los sistemas productivos que poseen diferentes leñosas forestales

(madera, leña, frutal, entre otros) permiten tener una diferenciación con respecto a la calidad del grano y una resiliencia de la unidad productiva ante eventos como el cambio climático (Pinoargote et al., 2017; Sauvadet et al., 2019).

Tabla 2. Promedio de las leñosas perennes por sistema productivo

Tipo de sistema/uso	Forraje	Frutal	Leña	Maderable	Ornamental	Promedio
T1	(Monocultivo)					
T2	(Café y musáceas)					
T3	28	208	8	40	24	61,6
T4	80	100	2	72	68	52,8

Fuente: Autores

Los resultados permiten establecer una importante presencia de la especie *Fraxinus chinensis* (70 %) en el sistema de cafetal y árboles multipropósito (T3), y de la especie *Trichanthera gigantea* (28,8 %) en el (T4), compuesto por cafetal, musáceas y árboles multipropósito con nacedero (Figuras 1 y 2). El mayor IVI presente en las especies *F. chinensis* y *T. gigantea* en este estudio estaría relacionado directamente con las preferencias de los productores, asociadas

al uso de estos árboles para sombrío en sus cafetales (Ospina, 2009). Por otro lado, las especies *Myrsine* sp y *S. ovalifolium* en los T3 y T4, presentaron un IVI bajo. Elevitch et al. (2018) afirman que los índices bajos en *Myrsine* sp. y *S. ovalifolium* están relacionados con aspectos productivos y económicos al momento de elegir la especie a sembrar con respecto a las características morfológicas de la especie, como rápido crecimiento, tipo de copa, rápido rebrote, profundidad de la raíz.

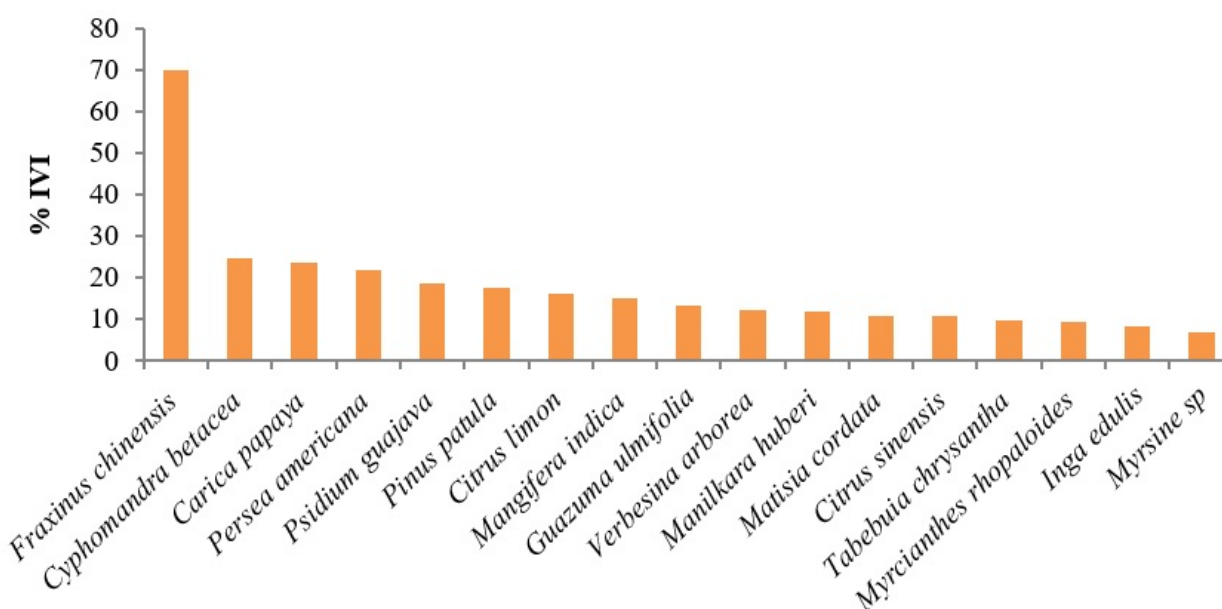


Figura 1. Índice valor de importancia (IVI) en T3. **Fuente:** Autores

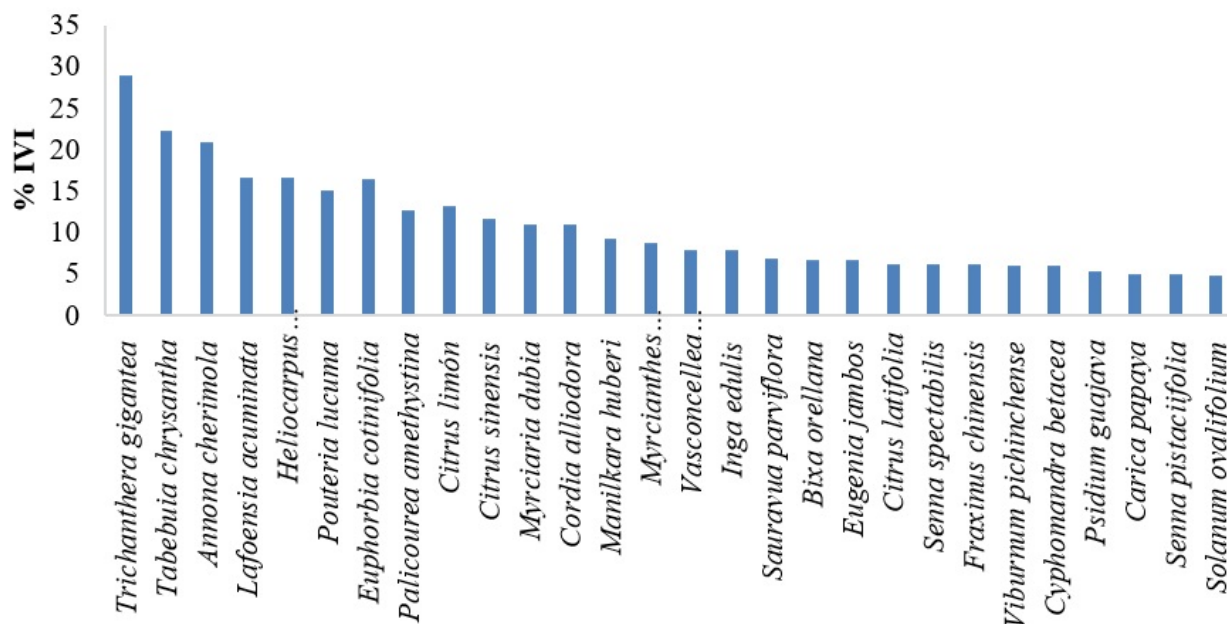


Figura 2. Índice valor de importancia (IVI) en T4. **Fuente:** Autores

El análisis de varianza presentó diferencias significativas para los índices de Shanon-W y Simpson ($P < 0,0001$). El T4 presentó mayor equidad y menor dominancia de especies; T3 presentó equidad y dominancia intermedia; el T2 presenta mayor dominancia y menor

equidad y el T1 no presenta diversidad debido a que existe dominancia de una sola especie (Tabla 3). El coeficiente de Jaccard tuvo un promedio de 0,14, presentando una baja cantidad de especies compartidas entre localidades.

Tabla 3. Índices de diversidad por localidad y tratamiento

ÍNDICES	BUESACO				SANDONÁ				SAN PABLO			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
S-W	0 b	0.65 b	1.4 a	2.2 a	0 b	0.6 b	2.1 a	1.85 a	0 b	0.54 b	1.9 a	1.7 a
S	1 b	0.5 b	0.2 a	0.1 a	1 b	0.5 b	0.12 a	0.21 a	1 b	0.64 b	0.14 a	0.19 a

Donde: **S-W:** Índice de Shannon-Weaver; **S:** Índice de Simpson. Índices estimados con letras diferentes difieren estadísticamente ($p < 0.05$). **Fuente:** Autores.

En concordancia con Campo y Duval (2014), el índice de Simpson fue de 0,10, indicando que no hay especies dominantes; el índice de Shannon-W fue de 2,51. No hay una diferencia notable, sin embargo, existe equidad para ambas investigaciones. Lores et al. (2009) reportaron un rango del índice de Shannon-Weaver entre 1,5 y 3,5, considerándose fincas con diversidad media. Estos servicios pueden potencializarse mediante el turismo rural; fortaleciendo, con esto, la calidad paisajística y ambiental en la región (WWF, 2010) y buscando el cuidado, conservación y reproducción de las leñosas nativas de la zona de estudio.

Maza et al. (2016) presentó similitud de 0,24, muy similar a este estudio, infiriendo la dependencia entre la formación de comunidades vegetales, la capacidad productiva del sitio y las condiciones climáticas. Esto lo corroboran Cano y Stevenson, (2009) cuando indican que, las unidades de paisaje son distintas unas de otras.

Estimación de sombra. No se presentaron diferencias significativas entre las diferentes localidades. Sin embargo, se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,0325$) como se observa en la tabla 4, el mayor porcentaje

de sombra se reporta en el T4 con un valor de 57.70 %. Las especies que presentan mayor porcentaje de sombra en el cafetal son *Citharexylum subflavescens* S.F.Blake y *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) & G.Nicholson con 90 % y 83 % respectivamente.

La mayor interacción del dosel sombra fue en la incidencia de la radiación solar sobre el cultivo del café, este influye directamente en la fisiología de las plantas, mejorando la calidad del grano a través de una maduración del fruto más lenta y disminuyendo el daño por antracnosis y mancha de hierro (Rapidel et al., 2015). Sin embargo, son de resaltar los bienes y servicios que provee el SAF (como leña, madera, frutos, entre otros) que permiten al caficultor contrarrestar la falta de árboles y, por ende, la producción directa del cultivo de café. En esta investigación se observa un impacto sobre estos aspectos, debido a la gran variabilidad fisiográfica y climática de la región cafetera Nariñense, considerada en la zona de estudio como café de altura, por lo cual es difícil generalizar y establecer un único patrón de sombra para el café (Cerdeña et al., 2017).

Tabla 4. Porcentaje de sombra (%) por tipo de sistema

Tipo de sistema	% Sombra
T4	57.70 ^a
T3	45.27 ^b
T2	46.67 ^{ab}
T1	0.0 ^c

Parámetros con letras diferentes difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

Fuente: Autores

Producción y beneficios del SAF con maderables. Para los tratamientos T3 y T4 se puede hacer una inferencia en cuanto a la producción del grano y los bienes y servicios (como la madera); así se puede conocer como el SAF permite equiparar a mediano y largo plazo la ganancia por parte del componente leñoso. Como resultado, el análisis de varianza presentó diferencias significativas

entre los tratamientos ($P < 0,0007$). El T1 evidenció una mayor productividad (2916,7 kg ha⁻¹ año⁻¹); mientras que el valor más bajo se presentó en T3 (1181,3 kg ha⁻¹ año⁻¹), con valores que superan el promedio de sistemas agroforestales de café en el departamento de Nariño (0,9t ha⁻¹) y de Colombia (0,8t ha⁻¹) (MADR, 2014). Por su parte, Farfán (2014) reportó rendimientos de café a plena exposición de 2500 a 4000 kg ha⁻¹ año⁻¹ y en sistemas agroforestales entre 500 y 1 000 kg ha⁻¹ año⁻¹.

El valor de la madera en pie representa para las familias una cuenta de ahorro y actúa como un reductor de riesgo de las actividades agrícolas. Por esto es de gran importancia promover el uso de árboles maderables de valor comercial como la *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.), Oken y *Cedrela odorata* L (Somarriba, 1992; Albertin y Nair, 2004). No se evidenció diferencias significativas entre tratamientos en la producción de madera; sin embargo, se observó una leve tendencia de presentar mayor volumen en T3.


El café obtenido en SAF, de acuerdo con Bosselmann et al. (2009), presenta características especiales (aunque la producción no es tan alta como en el sistema cafetero tradicional, en el que el café se encuentra a plena exposición solar) como cerezas de mayor tamaño y peso, color más oscuro y mayor densidad del mucílago. Esto genera mayor factor de rendimiento y cualidades organolépticas diferentes. Por su parte, los valores bajos de producción son compensados con el valor del café en el mercado, que sobrepasa hasta 3 o 4 veces el precio interno, obteniendo un perfil de taza por encima de 75 % (Agronet, 2011). Por otra parte, la comercialización de madera proveniente de SAF es una buena opción de ingresos, el valor de un árbol en pie oscila entre \$72000 a \$270000 mil pesos colombianos, dependiendo del tipo de madera (Farfán, 2014). Además, los SAF mejoran las condiciones ambientales dentro de los sistemas de producción (Murgueitio, 2009) y aumentan la provisión de servicios ecosistémicos.



CONCLUSIONES

La mayor densidad de especies en T3 y T4 (1396 individuos), en sistemas productivos cafeteros de trópico de altura, permiten inferir la importancia que tiene las leñosas multipropósito y su asocio en finca con el cultivo de café; para así obtener bienes y servicios (para autoconsumo y venta) diferenciados con el sistema de producción en monocultivo. Se presentó mayor agrobiodiversidad (Shannon-Weaver 1.9 y Simpson 0.2) que concuerda con un dosel de sombra alto (84 %). Se encontraron diversas especies, pero con una abundancia baja, sin embargo, es importante la planificación y diseño agroforestal para optimizar la

diversidad de productos y encaminar el sistema cafetero a una producción de calidad diferenciada.

Los sistemas cafeteros en asocio con sistemas agroforestales (T3 y T4) permiten al caficultor obtener mayor diversidad de bienes y servicios (frutales, madera, leña, entre otros), lo que permite una mayor estabilidad económica y un aumento en los beneficios ambientales y sociales. Se constituyen, así, en una herramienta para la adaptación y mitigación al cambio climático, en fincas que pueden beneficiarse con la participación en los mercados de cafés especiales sostenibles. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Iván A. Delgado-Vargas: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, administrador del proyecto, supervisión, revisión y edición.

William Ballesteros Possú: investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Vanessa Arellano Chungana: Borrador original, conceptualización, escritura, logística, análisis de datos.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados [VIPRI] de la Universidad de Nariño por la financiación del presente trabajo. A Gloria Cristina Luna Cabrera, directora del grupo de investigación Plan de Investigación y Fortalecimiento Integral de las Comunidades- PIFIL de la Universidad de Nariño. A las familias caficultoras de los municipios de Buesaco (Corregimiento Medina Espejo, Hatillo Medina), Sandoná (Corregimiento el Ingenio y San Bernardo) y San Pablo (vereda La Chorrera) por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

LITERATURA CITADA

Agronet. (2011). *Nariño huele a cafés especiales*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Noticia438.aspx>

Albertin, A. & Nair, P. K. R. (2004). Farmers' perspectives on the role of shade

trees in coffee production systems: An assessment from the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Human ecology*, 32(4), 443-463. <http://parrotlab.uga.edu/Tropag/CR2010/coffeelib/1farmer.pdf>

Bosselmann, A. S., Dons, K., Oberthur, T., Olsen, C. S., Ræbild, A. & Usma, H. (2009). The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1-3), 253-260. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.09.004>

Calpa, A. C. S., Ruíz, G. A. M. y Moncayo, C. R. T. (2019). Factores clave para el análisis de la responsabilidad social empresarial en el sector cafetero del departamento de Nariño. En S. R. Mondragón, M. Avendaño y J. A. Pacheco (Comp.), *Perspectivas y desafíos para la competitividad: una mirada global desde los territorios* (pp. 236-260). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://doi.org/10.22490/9789586516389.11>

Cámara-Leret, R., Fortuna, M. A. & Bascompte, J. (2019). Indigenous knowledge networks in the face of global change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(20), 9913-9918. <https://doi.org/10.1073/pnas.1821843116>

Campo, A. y Duval, V. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural parque nacional Lihue Calel. *Anales de Geografía de la Universidad*

Complutense, 34(2), 25-42. http://10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071

Cancino, J. (2006). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción.

Cano, A. y Stevenson, P. R. (2009). Diversidad y composición florística de tres tipos de bosque en la Estación Biológica Caparú, Vaupés. *Colombia forestal*, 12(1), 63-80.

Cárdenas, M. F. y Tobón, C. (2016). Evaluación de la vulnerabilidad biofísica de los servicios ecosistémicos ante el cambio climático: una aproximación conceptual y metodológica. *Gestión y Ambiente*, 19(1), 163-178. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169446378011.pdf>

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2009). *Cómo realizar un diagnóstico productivo en nuestro cafetal*. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/819/Como_realizar_un_diagnostico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cerda, R., Allinne, C., Gary, C., Tixier, P., Harvey, C. A., Krolczyk, L. & Avelino, J. (2017). Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, 82, 308-319. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.019>

Criollo, H., Lagos, T., Bacca, T. y Muñoz, J. (2016). Caracterización de los sistemas productivos de café en Nariño, Colombia. *Revista. U. D. C. A: Actualidad. & Divulgación. Científica*, 19(1), 105-113. <http://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.260>

Corporación Autónoma Regional de Nariño. y World Wildlife Fund (2016). *Plan Territorial de Adaptación Climática del departamento de Nariño*. https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion_al_territorio/Narino.pdf

Cusser, S., Neff, J. L. & Jha, S. (2016). Natural land cover drives pollinator abundance and richness, leading to reductions in pollen limitation in cotton agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 226, 33-42. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.020>

De Souza, H. N., De Goede, R. G., Brussaard, L., Cardoso, I. M., Duarte, E. M., Fernandes, R. B. & Pulleman, M. M. (2012). Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146(1), 179-196. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.007>

Dimaio, D., Enquist, W. & Dermody, T. (2020). A new coronavirus emerges, this time causing a pandemic. *Annual Review of Virology*, 7(1), 3-5. <http://doi.org/10.1146/annurev-vi-07-042020-100001>

Egal, F. & Berry, E. (2020). Moving Towards Sustainability—Bringing the Threads Together. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4(9), <http://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00009>

Elevitch, C., Mazaroli, D. & Ragone, D. (2018). Normas agroforestales para agricultura regenerativa. *Sostenibilidad*, 10(9), 33-37. <http://doi.org/10.3390/su10093337>

Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf

Gillison, A. N., Bignell, D. E., Brewer, K. R., Fernandes, E. C., Jones, D. T., Sheil, D. & Nunes, P. C. (2013). Plant functional types and traits as biodiversity indicators for tropical forests: two biogeographically separated case studies including birds, mammals and termites. *Biodiversity and Conservation*, 22(9), 1909-1930. <http://doi.org/10.1007/s10531-013-0517-1>

González, R., Treviño, E. J., González, M. A., Duque, Á., Gómez C, M. y Bautista-Cruz, A. (2018). Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(45), 36-65. <http://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.142>

Gross, L. H., Erickson, J. D. & Méndez, V. E. (2014). Supporting rural livelihoods and ecosystem services conservation in the Pico Duarte Coffee Region of the Dominican



- Republic. *Agroecology and sustainable food systems*, 38(9), 1078-1107. <http://doi.org/10.1080/21683565.2014.932883>
- Hurtado, C., Corte, C. y Triana, M. (2017). Estimación del carbono almacenado en el bosque natural en la cuenca media - baja. Municipio de río quito Chocó, Colombia. *Revista ingeniería e innovación*, 5(1), 32-42.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales., Programa de Naciones Unidas para el desarrollo., Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., Departamento Nacional de Población. y Ministerio de Relaciones Exteriores. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia* http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022963/escenarios_cambioclimaticodepartamental/Estudio_tecnico_completo.pdf
- Jarvis, D. I., Padoch, C. & Cooper, H. D. (2007). Biodiversity, agriculture, and ecosystem services. En D. I. Jarvis, C. Padoch & H. D. Cooper. (Eds.), *Managing biodiversity in agricultural ecosystems* (pp. 1-12). Columbia University Press <http://doi.org/10.7312/jarv13648-003>
- Landis, D. (2017). Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, 18, 1-12. <http://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>
- León, T. (2014). *Perspectiva ambiental de la agroecología. La ciencia de los agroecosistemas*. Universidad Nacional de Colombia.
- López, A., Orozco, L., Somarriba, E. y Bonilla, G. (2003). Tipologías y manejo de fincas cafetaleras en los municipios de San Ramón y Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), 74-79.
- Lorenz, K. & Lal, R. (2014). Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 443-454. <http://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y>
- Lores, A., Leyva, A. y Tejeda, T. (2008). Evaluación espacial y temporal de la agrobiodiversidad en los sistemas campesinos de la comunidad "Zaragoza" en La Habana. *Cultivos Tropicales*, 29(1), 3-10.
- Maza, O. A. J., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C. y Gunter, S. (2016). Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador). *Colombia forestal*, 19(2), 121-142. <http://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a01>
- Méndez, V. E., Bacon, C. M., Olson, M. B., Morris, K. S. y Shattuck, A. (2013). Conservación de agrobiodiversidad y medios de vida en cooperativas de café bajo sombra en Centroamérica. *Revista Ecosistemas*, 22(1), 16-24. <http://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-1.04>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2014). *Evaluaciones agropecuarias municipales*. Bogotá: Grupo de Estadísticas e Información Sectorial - Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Murgueitio, E. (2009). Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 13(1), 3-20.
- Oberthür, T., Läderach, P., Posada, H., Fisher, M. J., Samper, L. F., Illera, J. y Jarvis, A. (2011). Relaciones regionales entre la calidad inherente del café y el entorno de cultivo para las etiquetas de denominación de origen en Nariño y Cauca, Colombia. *Política alimentaria*, 36(6), 783-794. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.07.005> Obtenga derechos y contenido
- Ordóñez, H. R., Navia, J. F. y Ballesteros, W. (2019). Tipificación de sistemas de producción de café en La Unión Nariño, Colombia. *Temas Agrarios*, 24(1), 53-65. <http://doi.org/10.21897/rta.v24i1.1779>
- Ospina, A. (2009). Aproximación a la conservación de las especies vegetales nativas en cafetales ecológicos con sombrío. http://biblioteca.ihatuey.cu/link/libros/sistemas_agroforestales/conservacion.pdf
- Phalan, B., Onial, M., Balmford, A. & Green, R. (2011). Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, 333(6047), 1289-1291. <http://doi.org/10.1126/science.1208742>

Pinoargote, M., Cerda, R., Mercado, L., Aguilar, A., Barrios, M. & Somarriba, E. (2017). Carbon stocks, net cash flow and family benefits from four small coffee plantation types in Nicaragua. *Forests, Trees and Livelihoods*, 26(3), 183-198. <http://doi.org/10.1080/14728028.2016.1268544>

Rapidel, B., Allinne, C., Cerdán, C., Meylan, L., Virginio, E. y Avelino, J. (2015). Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. En: F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, B. Eibl. (Eds.), *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CIRAD.

Rosales-Adame, J., Cuevas-Guzmán, R., Gliessman, S. & Benz, B. (2014). Tree diversity and structure in shaded pineapple agroforestry system in western México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 1-18.

Sauvadet, M., Van den Meersche, K., Allinne, C., Gay, F., Virginio, E., Chauvat, M., Becquer, T., Tixier, P. & Harmand J-M. (2019). Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry. *Science of the Total Environment*, (649), 1065-1074. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.291>

Sereke, F., Graves, A. R., Dux, D., Palma, J. H. & Herzog, F. (2015). Innovative agroecosystem goods and services: key profitability drivers in Swiss agroforestry. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 759-770. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0261-2>

Somarriba, E. (1992). Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. *Agroforestry Systems*, 18, 69-82. <http://doi.org/10.1007/BF00114817>

Somarriba, E. (2002). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería en las Américas*, 9, 35-36.

Universidad Complutense de Madrid. (2009). *Curso de introducción a la programación SAS*. http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Progra/SAS_V8_V1_2.pdf

Villarreyna, R., Avelino, J. y Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499-516.

Van-Rikxoort, H., Schroth, G., Läderach, P. & Rodríguez-Sánchez, B. (2014). Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. *Agronomy for sustainable development*, 34(4), 887-897. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0223-8>

Vega-Orozco, G., Ordoñez-Espinosa, C., Suarez-Salazar, J. y López-Pantoja, C. (2014). Almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), 213-221. <http://doi.org/10.22490/21456453.956>

Wan, N. F., Ji, X. Y., Jiang, J. X., Deng, X., Huang, K. H., & Li, B. (2013). An eco-engineering assessment index for chemical pesticide pollution management strategies to complex agro-ecosystems. *Ecological engineering*, 52, 203-210. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.028>

World Wildlife Fund. (2010). *Propuesta de WWF y SEO/BirdLife para el desarrollo de un plan para luchar contra la pérdida de biodiversidad en España y el planeta*. http://awsassets.wwf.es/downloads/folleto_bio_verde.pdf

Zapata, P. C. (2019). Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciência Florestal*, 29(2), 685-697. <http://doi.org/10.5902/1980509827037>

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 Y CARACTERIZACIÓN DE RIZOBACTERIAS NATIVAS FIJADORAS DE NITRÓGENO DE *Capsicum* sp. DE LA REGIÓN CARIBE COLOMBIANA

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF NATIVE NITROGEN-FIXING RHIZOBACTERIA FROM *Capsicum* sp. IN CARIBBEAN REGION OF COLOMBIA

María Cristina Serrano Hernández • mary.csh98@gmail.com

Laboratorio de Investigación en Microbiología, Facultad de Ciencias Básicas y Biomédicas, Universidad Simón Bolívar, Barranquilla - Colombia.

Liliana del Socorro Pérez Lavalle • lperez70@unisimonbolivar.edu.co

Universidad Simón Bolívar, Barranquilla - Colombia.

Hilda Estrada-López • hileslo@hotmail.com

Facultad de Ciencias Económicas, Universidad del Atlántico, Barranquilla - Colombia.

Rosnairy Mancera Benítez • rosnairys_mancera@hotmail.com

Laboratorio de Investigación en Microbiología, Facultad de Ciencias Básicas y Biomédicas, Universidad Simón Bolívar, Barranquilla - Colombia.

Yani Cristina Aranguren Díaz • yani.aranguren@unisimonbolivar.edu.co

Laboratorio de Investigación en Microbiología, Facultad de Ciencias Básicas y Biomédicas, Universidad Simón Bolívar, Barranquilla - Colombia.



Citación: Serrano, M., Pérez, L., Estrada-López, H., Mancera, R. y Aranguren, Y. (2022). Identificación y caracterización de rizobacterias nativas fijadoras de nitrógeno de *Capsicum* sp. de la región Caribe Colombiana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 81 - 91. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4818>

RESUMEN

Contextualización del tema: El uso de inoculantes biológicos o biofertilizantes basados en bacterias promotoras del crecimiento constituye una alternativa biotecnológica sustentable para mejorar la producción agrícola.

Vacío de información: sin embargo, las características ambientales de los agroecosistemas pueden ser muy diferentes entre regiones y estas pueden tener un efecto sobre el crecimiento y supervivencia de dichos inoculantes.

Propósito del estudio: en el presente estudio se aislaron y caracterizaron microorganismos nativos, con capacidad promotora del crecimiento en plantas, que puedan emplearse en los cultivos de la región Caribe de Colombia.

Metodología: Para ello se aislaron bacterias rizosféricas de *Capsicum* sp. Se identificaron molecularmente por 16S y se determinó su capacidad de fijar nitrógeno en medio Ashby y de solubilizar fosfato en medio NBRIP. Luego se aplicaron inóculos de las bacterias

identificadas a plantas de ají y se evaluó su efecto en la promoción del crecimiento vegetal.

Resultados y conclusiones: Los aislados se identificaron como: *Achromobacter* sp., *Bacillus mycoides*, *Bacillus* sp., y *Paenibacillus dendritiformis*, y su aplicación favoreció el crecimiento vegetal, lo que se evidenció con el aumento de al menos un parámetro de

crecimiento, así como la concentración de nitrógeno en los tejidos de las plantas de ají. Finalmente, *Achromobacter* sp. y *B. mycoides* fueron los inóculos que arrojaron mejores resultados, indicando su potencial para ser empleados en la agricultura de la región.

Palabras clave: agricultura sostenible; ají; bacterias promotoras del crecimiento; microorganismos nativos; rizosfera

ABSTRACT

Context: The use of biological inoculants or biofertilizers based on growth-promoting bacteria constitutes a sustainable biotechnological alternative to improve agricultural production.

Knowledge gap: However, the environmental characteristics of agroecosystems can be very different between regions and these can have an effect on the growth and survival of such inoculants.

Purpose: In this study, native microorganisms with plant growth-promoting capacity that can be used on crops in the Caribbean region of Colombia were isolated and characterized.

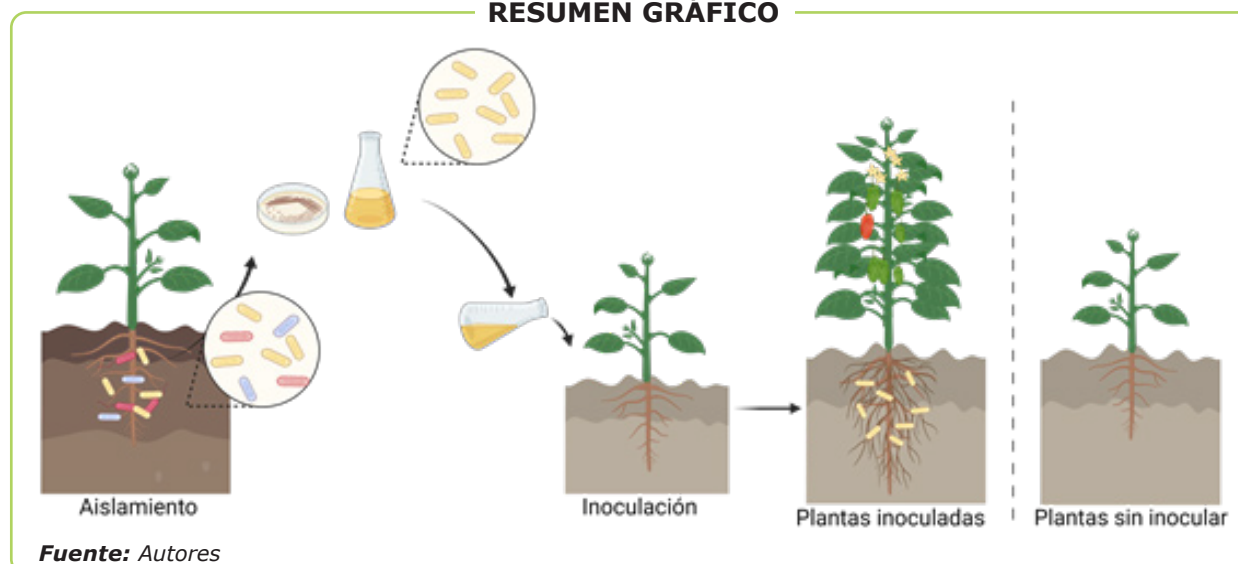
Methodology: Rhizosphere bacteria were isolated from *Capsicum* sp. They were molecularly identified by 16S and their

capacity to fix nitrogen in Ashby medium and to solubilize phosphate in NBRIP medium was determined. Inoculum of the identified bacteria were then applied to chili pepper plants and their effect on plant growth promotion was evaluated.

Results and conclusions: The isolates were identified as *Achromobacter* sp., *Bacillus mycoides*, *Bacillus* sp., and *Paenibacillus dendritiformis*, and their application promoted plant growth, which was evidenced by the increase of at least one growth parameter, as well as nitrogen concentration in the tissues of chili pepper plants. Finally, *Achromobacter* sp. and *B. mycoides* were the inoculums with the best results, indicating their potential for use in agriculture in the region.

Keywords: chili peppers, growth-promoting bacteria; native microorganisms; rhizosphere sustainable agriculture.

RESUMEN GRÁFICO





1. INTRODUCCIÓN

El suelo posee propiedades físico-químicas y biológicas que pueden ser alteradas por el uso intensivo de este, conduciendo a su deterioro y afectando su fertilidad (Jaurixje et al., 2013). Entre estos usos está el agrícola que, además, afecta el suelo por el uso de fertilizantes.

Los fertilizantes químicos son benéficos para el sector agrícola; no obstante, su uso desmesurado genera residuos que producen salinización, acidificación, problemas en el drenaje, compactación del suelo y la emanación de gases tóxicos (Jaurixje et al., 2013; Massah & Azadegan, 2016). Una alternativa es el compostaje de materia orgánica y la producción de biofertilizantes usando microorganismos nativos de la región de cultivo, favoreciendo la recuperación de suelos y la producción agrícola sustentable (Sevilla-Perea & Mingorance, 2015; Vassilev et al., 2015; Pérez-Lavalle et al., 2016).

Los biofertilizantes contienen microorganismos beneficiosos que promueven el crecimiento vegetal garantizando la disponibilidad de nutrientes primarios (Vessey, 2003). Sin embargo, existen factores que afectan la eficiencia de estos, como las condiciones ambientales y el tipo de planta cultivada (Malusà et al., 2016). En Colombia se producen y usan biofertilizantes principalmente en la región andina y en la mayoría de los casos emplean micorrizas de los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, y bacterias de los géneros *Azotobacter* y *Bradyrhizobium* (Pérez-Lavalle et al. 2016).

Entre los microorganismos usados en la agricultura se incluyen bacterias que colonizan raíces denominadas rizobacterias o bacterias promotoras del crecimiento vegetal [BPCV] (Plant growth-promoting rhizobacteria [PGPR]), las cuales estimulan el proceso metabólico de las plantas o facilitan la asimilación de nutrientes y promueven la resistencia sistémica inducida (Márquez et al., 2020; Wang et al., 2012).

Las bacterias de los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Rhizobium* han sido las más empleadas como biofertilizantes por mecanismos que incluyen la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y síntesis

de fitohormonas, que actúan mejorando diferentes estadios del crecimiento vegetal (Jiménez et al., 2011; Pérez-Lavalle et al., 2016). Además, existen otras bacterias promotoras del crecimiento como las pertenecientes a los géneros *Bacillus*, *Enterobacter*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas* y *Serratia* que pueden ser empleadas como inoculantes biológicos (Cabra-Cendales et al., 2017; Vida et al., 2017; Márquez et al., 2020).

La agricultura de cultivos de ají topito, auyama, cebollín, guayaba, limón, mango y melón son esenciales en la economía del departamento del Atlántico, Colombia (Galvis, 2009); sin embargo, la actividad productiva del municipio de Malambo se ve limitada por sus suelos pobres (Osorio, 2012) y estudios referentes al cultivo del ají picante *Capsicum annuum* señalan que requiere altas concentraciones de nitrógeno con relación al fósforo y al potasio (Martínez, 2015). En este sentido, el estudio e identificación de BPCV proveniente de suelos del Atlántico tendría ventajas con respecto a cepas comerciales producidas en otras regiones, dada su capacidad natural de adaptación a las características ambientales de origen. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue aislar e identificar bacterias nativas fijadoras de nitrógeno y a partir de esto evaluar la capacidad de ellas de promover el crecimiento del cultivo de ají topito (*Capsicum* sp.).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento de microorganismos.

Inicialmente se tomaron muestras de suelo rizosférico de plantas de ají en la finca San José de Malambo, departamento del Atlántico (10°50'45,4884" N; 74°52'4,764" W), en donde las temperaturas oscilaron entre 23 y 36 °C. Para ello se tomó suelo a los 15 cm de profundidad de varias plantas, formando una muestra compuesta. A partir de las muestras de suelo se realizaron diluciones seriadas (10^{-1} a 10^{-7}) y se cultivaron en placas con medio Ashby para microorganismos fijadores de nitrógeno (sacarosa, 10 g; NaCl, 0,2 g; KH_2PO_4 , 0,2 g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,2 g; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,1 g; CaCO_3 , 5 g; agar 15 g; pH 7,0 por cada litro) y se incubaron a 30 °C durante 5 días. Posteriormente, se aislaron colonias puras y se cultivaron en medio NBRIP

(National Botanical Research Institute's phosphate growth medium) constituido por: glucosa, 10 g; Ca_3PO_4 , 5 g; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 5 g; KCl, 0,2 g; $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$, 0,1 g; agar, 20 g; H_2O destilada, 1L; azul de bromofenol, 0,025 g/l para evaluar la capacidad de solubilizar fosfato, luego se les realizó una coloración Gram y se describieron microscópicamente.

molecular de los microorganismos fue llevada a cabo mediante análisis del gen de ARNr 16S y la amplificación de las secuencias se hizo por Colony-PCR (Bergkessel & Guthrie, 2013). La PCR se realizó en condiciones estándar, usando cebadores universales para 16S pA y pc5B (Wilson et al., 1990). Los conjuntos de ADN resultantes de la PCR [amplicones] fueron secuenciados y se analizaron con herramientas bioinformáticas. También se hizo un análisis de parentesco por el procedimiento de agrupamiento de Máxima Verosimilitud, basado en el modelo evolutivo Tamura 3 y distribución gamma, con un método bootstrap de 800 repeticiones, empleando el programa MEGA X.

Efecto de biofertilizantes en el crecimiento vegetal. El ensayo se realizó con plantas de ají topito *Capsicum* sp., en una en una parcela libre de malezas, con condiciones de luminosidad y humedad uniformes. Luego se definieron cuatro tratamientos que consistieron en suelo de la parcela y compost de residuos de la finca (1:1), más cuatro de las cepas aisladas; adicionalmente se incluyeron dos tratamientos control sin inocular, uno con suelo solo y otro con la mezcla de suelo y compost. Se emplearon semillas comerciales de ají (*Capsicum* sp.) que fueron sembradas en bandejas de germinación. A los 10 días de haber germinado se formaron las primeras dos hojas y se hicieron los trasplantes a macetas de 4 kg con el sustrato correspondiente a cada tratamiento.

Cada aislado bacteriano se cultivó en caldo Luria Bertani a 30 °C hasta obtener una densidad celular de 10^7 UFC/mL. Al quinto día y décimo día, las plantas fueron inoculadas agregando en la base 10 mL de suspensión bacteriana. Por su parte, a los dos controles se les agregó 10 mL del medio sin bacteria. Una vez inoculadas las plantas se mantuvieron en cultivo hasta completar

los 87 días y se realizaron mediciones de variables en 10 plantas por tratamiento para estimar crecimiento vegetal. A cada planta se le evaluó: longitud del vástago, longitud de la raíz, peso fresco y seco del vástago, peso fresco y seco de la raíz, número de flores, número y peso total de frutos. Por último, se realizó un análisis foliar para cada tratamiento a través del laboratorio comercial certificado.

Análisis estadístico. Las variables de medición de crecimiento se estudiaron empleando un análisis de varianza de una vía, con nivel de significancia $\alpha = 0,01$ F (0,99;5/54). Además, se realizó una Prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) para determinar diferencias verdaderamente significativas entre tratamientos para cada variable. El manejo y análisis de datos se realizó empleando el programa Excel de Microsoft Office.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento e identificación de microorganismos. Se obtuvieron cinco aislados con morfología de colonia diferentes en medio para fijadores de nitrógeno. Los aislados A1, A2 y A5 resultaron ser bacilos Gram positivos y las A3 y A4 bacilos, Gram negativos. Además, todos los aislados son solubilizadores de fosfato, excepto el A5. De acuerdo con el análisis de identidad de las secuencias 16S, con un porcentaje de similitud del 99% con bacterias de referencia, las bacterias Gram positivas se identificaron como: A1, *Bacillus mycoides*; A2, *Bacillus* sp.; y A5, *Paenibacillus dendritiformis*. Por otro lado, las bacterias Gram negativas fueron identificadas como: A3, *Achromobacter* sp. y A4, *Klebsiella* sp. Todas estas bacterias han sido frecuentemente asociadas a las comunidades del suelo y poseen actividad promotora de crecimiento (Bulgarelli et al., 2013; Saxena et al., 2019; Wu et al., 2017; Zhang et al., 2019).

Efecto de biofertilizantes en el crecimiento vegetal. Tomando en cuenta los aislados identificados, los tratamientos consistieron en la mezcla de suelo y abono inoculados con *B. mycoides* (ABm), *Bacillus* (AB), *Achromobacter* sp. (AA) y *P. dendritiformis* (Apd). Se observó que, durante los primeros 40 días, el crecimiento



de las plantas fue lento y se mantuvo uniforme entre tratamientos; luego aumentó el crecimiento, acentuándose las diferencias en algunos tratamientos hasta el fin del experimento (Tabla 1). Estas diferencias están determinadas por los nutrientes puestos a disposición por las bacterias aplicadas, ya que poseen la capacidad de fijar nitrógeno y potencialmente podrían solubilizar otros nutrientes (Bulgarelli et al., 2013; Saxena et al., 2019). Este comportamiento también ha sido observado en otros cultivos como la papa, en los que en las primeras fases del desarrollo, desde la germinación, el crecimiento no está limitado por factores externos, predominando la división celular; luego hay mayor influencia de la disponibilidad de nutrientes y se da un aumento de la longitud, volumen y peso (Gregorczyk, 1998).

Al final del experimento se observó que, según las variables evaluadas, el tratamiento con menor crecimiento y desarrollo fue el control SS (Tabla 1). Con relación a la longitud del vástago y la raíz, el análisis de la varianza [ANOVA] reveló con un nivel de significancia $\alpha = 0,01$, significando que existen diferencias entre los tratamientos. Además, según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), existen diferencias

significativas entre el suelo solo y el resto de los tratamientos (Figura 1). Los tratamientos con mayor crecimiento son aquellos a los que se les adicionó los inoculantes biológicos *B. mycoides* y *Achromobacter* sp. Esto mismo se observó en el peso fresco del vástago (Tabla 1), con diferencias significativas con respecto al abono solo y suelo solo (Tukey $p \leq 0,05$). Al medir el peso seco del vástago y de la raíz se observan mayores diferencias significativas entre tratamientos que en los pesos frescos.

Los mayores pesos secos del vástago se observaron en los tratamientos de abono con *B. mycoides*, *Achromobacter* sp. y *P. dendritiformis*, y para el peso de la raíz, los mayores resultaron fueron *Achromobacter* sp. y *Bacillus* sp.; en contraste, el menor peso seco de vástago y raíz fue el tratamiento en suelo solo (Figura 1b). El ANOVA revela que para estas variables los tratamientos son diferentes, y la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) indica que hay diferencias significativas entre el tratamiento de suelo solo y todos los demás tratamientos. Igualmente, con el mismo nivel de significancia, existen diferencias entre el abono solo y los tratamientos inoculados con *Achromobacter* sp., *B. mycoides* y *P. dendritiformis*.

Tabla 1.- Indicadores de crecimiento al final de la prueba de campo.

Tratamientos						
Variables	SS	A	AAc	ABm	APd	AB
Longitud vástago (cm)	36,43±9,74 ^a	59,45 7,19 ^c	61,75±6,27 ^{cd}	63,44±9,57 ^d	55,85±5,18 ^b	56,10±7,15 ^{bc}
Longitud raíz (cm)	39,04±8,62 ^a	65,75±6,73 ^c	67,60±7,58 ^c	68,25±12,45 ^c	65,03±8,15 ^c	58,50±10,21 ^b
Peso fresco vástago (g)	38,09±4,33 ^a	108,78±20,32 ^b	148,89±18,45 ^d	154,85±24,67 ^d	128,85±22,78 ^c	100,43±19,64 ^b
Peso fresco raíz (g)	15,79±1,55 ^a	39,10±4,91 ^b	63,96±9,90 ^d	66,83±15,52 ^d	57,70±8,43 ^c	58,17±12,65 ^c
Peso seco vástago (g)	5,47±1,93 ^a	22,22±5,56 ^b	26,56±2,98 ^c	29,74±5,96 ^d	25,05±6,74 ^c	20,27±6,8 ^b
Peso seco raíz (g)	1,91±0,78 ^a	8,00±2,49 ^b	15,06±3,10 ^d	12,37±2,56 ^c	13,93±3,33 ^d	17,27±4,65 ^e
Nº de flores	6,14±5,74 ^a	41,40±19,12 ^b	50,40±13,34 ^{bc}	56,14±17,44 ^c	52,00±25,72 ^{bc}	47,80±28,00 ^{bc}
Nº de frutos	-	9,75±4,12 ^a	10,10±3,91 ^a	11,38±5,68 ^{ab}	15,89±7,16 ^c	12,67±17,9 ^b

SS, suelo solo; A, abono solo, AAc, abono con *Achromobacter* sp.; ABm, abono con *Bacillus mycoides*; APd, abono con *Paenibacillus dendritiformis*; AB, abono con *Bacillus* sp. ($p \leq 0,05$).

Fuente: autores

Durante el cultivo se observó que las plantas control SS demoraron más en iniciar la floración y desarrollaron menor número de flores, seguido del abono solo. En este sentido, las plantas que primero florecieron y fructificaron fueron las inoculadas con *Achromobacter* sp. y *B. mycoides*. Además, al analizar todas las variables se observa que todos los tratamientos son diferentes del control (Figuras 2). Asimismo, según el análisis foliar, todos los tratamientos con inoculantes mostraron mayor contenido de nitrógeno que los controles (4,3 % del peso seco en tejido de plantas tratadas con *Achromobacter* y *B. mycoides*, y 3,4 % en suelo solo). Esto corresponde con la capacidad de las bacterias aplicadas para fijar N₂.

Al analizar las variables para estimar el efecto de los biofertilizantes sobre el crecimiento del ají, se puede observar a los 87 días, en todos los tratamientos con inoculante y abono, que el crecimiento vegetal se vio favorecido respecto a las plantas cultivadas en suelo de Malambo. En conclusión, la aplicación de fertilizantes orgánicos y endomicorizas aumenta la productividad de *C. annuum* (Zayed et al., 2013).

Siendo así, estos abonos, que son producidos aprovechando materiales que normalmente son desechados y causan problemas fitosanitarios, pueden potenciar y beneficiar los cultivos de los pequeños productores de la región Caribe al incrementar la productividad y sanidad del cultivo de ají.

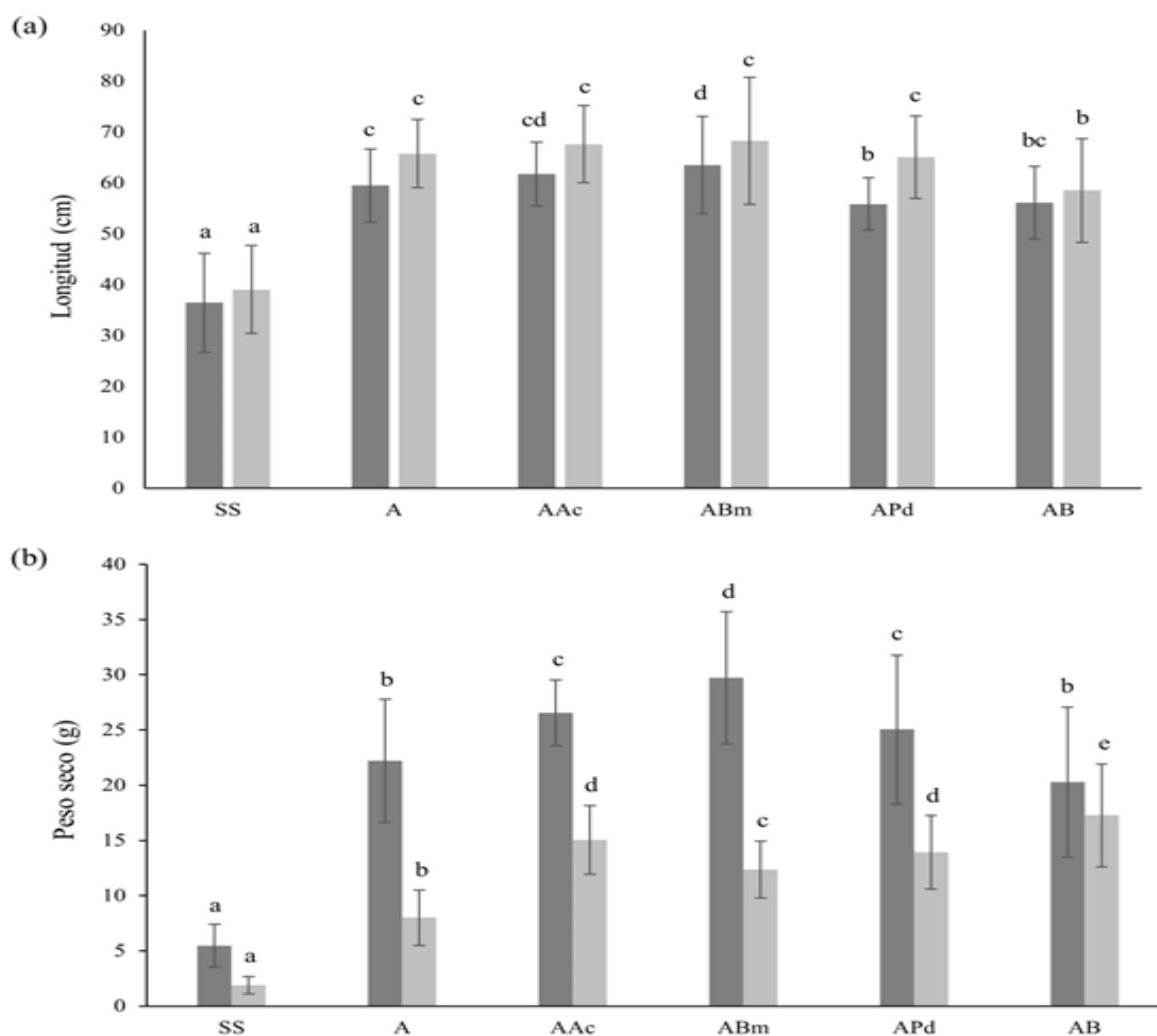


Figura 1. Crecimiento de plantas de ají. (a) Longitud promedio. (b) Peso seco. SS, suelo solo; A, abono solo; AAc, abono con *Achromobacter* sp.; ABm, abono con *Bacillus mycoides*; APd, abono con *Paenibacillus dendritiformis*; AB, abono con *Bacillus* sp. Las barras indican la desviación estándar. Las medias en las barras seguidas por la(s) misma(s) letra(s) no son significativamente diferentes (Tukey $p \leq 0,05$). • Vástago • Raíz. **Fuente:** autores



Existe mayor efecto benéfico de los tratamientos con ABm sobre el cultivo de ají (Figura 1 y 2). El género *Bacillus* es ampliamente empleado como herramienta biotecnológica en la agricultura y la industria y, en el caso de *B. mycoides*, se ha demostrado su efecto benéfico, principalmente como promotor de crecimiento y bio-controlador de fitopatógenos en tomate, pimentón, ají picante, tabaco, melón, pepino y caña de azúcar (Bai et al., 2002; Bargabus et al., 2002; Kloepper et al., 2004).

Asimismo, se ha mostrado la capacidad de especies de *Bacillus* de promover el crecimiento e inducir resistencia sistémica

contra *Botrytis cinerea* y *Fusarium solani* en pimentón (Márquez et al., 2020), y *B. subtilis* incrementa el crecimiento de plantas de tomate y ají en 16 % y 37 %, respectivamente (Luna-Martínez et al. 2013), e inhibe el crecimiento del moho gris en tomates en condiciones de invernadero (Xiao-Ying et al., 2015). En este sentido, vale la pena resaltar que aunque el crecimiento de las plantas inoculadas con *Bacillus* sp. fue menor que en presencia de *B. mycoides*, las primeras se desarrollaron sin presentar signos asociados a presencia de fitopatógenos, por lo cual es necesario evaluar las posibles relaciones antagonistas del inóculo (Berg, 2009; Kloepper et al., 2004; Márquez et al., 2020).



Figura 2. Desarrollo vegetativo de plantas de ají. SS, suelo solo; A, abono solo; AAc, abono con *Achromobacter* sp.; ABm, abono con *Bacillus mycoides*; APd, abono con *Paenibacillus dendritiformis*; AB, abono con *Bacillus* sp.

Fuente: autores


De igual forma, se ha observado que *Achromobacter* sp., en cultivos de tomate, aumenta significativamente el crecimiento, parámetros de rendimiento y contenido de fitohormonas endógenas (Abdel-Rahman et al., 2017). También este género, en presencia de *B. cereus*, *B. subtilis* y *Serratia* sp., se ha asociado a un aumento en la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio; así como al control de fitopatógenos en cultivos de *C. annuum* (Zhang et al., 2019). Además, *A. spanius* y *A. xylosoxidans* han sido reportadas como solubilizadoras de fosfato y productoras de compuestos indólicos (Gaviria-Giraldo et al., 2018) y proporcionan tolerancia a diferentes ambientes de estrés abiótico, como sequía y salinidad en plantas de tomate y ají (Shrivastava & Kumar, 2015).

Por su parte, *P. dendritiformis* ya ha sido estudiado y probado como bio-controlador y promotor de crecimiento. En cultivos de papa redujo significativamente el área de afectación de tubérculos infectados por *Pectobacterium carotovorum* y aumentó significativamente el rendimiento (Lapidot et al., 2015). *Paenibacillus* sp., a su vez, mostró favorecer la absorción de nutrientes de arroz cultivado en condiciones de exceso de hierro, indicando que permite mitigar dichos efectos (De Souza et al. 2015).

Dado que el nitrógeno es esencial, la fijación de N_2 por parte de las bacterias tiene un efecto positivo en el metabolismo y crecimiento de las plantas (Liu et al., 2019). Sin embargo, el rendimiento de los


cultivos tratados con biofertilizantes está condicionado por la adaptabilidad de los microorganismos al microclima y al suelo no nativo, ya que son aislados de regiones y condiciones diferentes para su uso (Malusà et al., 2016; Sruthilaxmi & Babu, 2017). Por lo tanto, un aspecto significativo de este trabajo es que las cepas evaluadas están adaptadas a las condiciones biológicas y ambientales de la región Caribe. Ya numerosos trabajos han demostrado la interacción benéfica de estas especies en otras regiones (Jiménez et al., 2011; Moreno-Quevedo et al., 2014; Gamez et al., 2015), empero, nunca se habían realizado en la región Caribe y en esta no existen empresas productoras de biofertilizante (Pérez-Lavalle et al., 2016;

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2019).

Así, los inoculantes probados en este estudio tienen gran potencial para emplearse en el desarrollo biotecnológico adecuado para la región Caribe colombiana. Su implementación favorecería el crecimiento y producción de los cultivos tradicionales y traería otros beneficios derivados, como el reciclaje de nutrientes y recuperación de los suelos; la limpieza de los cultivos que contribuye con el control de plagas y patógenos; la disminución del uso de agroquímicos; la autosostenibilidad y la disminución de la inversión económica en el cultivo. 

CONCLUSIONES

En este estudio se ha proporcionado una prospección inicial de la comunidad bacteriana presente en suelos del Caribe colombiano. Se han identificado bacterias promotoras de crecimiento, adaptadas a las condiciones ambientales de la región, que favorecen el desarrollo del cultivo de ají. Finalmente, basados en los resultados de la prueba de campo y sustentados estadísticamente, los mejores inoculantes probados son *Bacillus*

mycoides y *Achromobacter* sp. Así, dado su gran potencial como promotores de crecimiento y bio-controladores, resulta importante realizar algunos estudios metabólicos, moleculares, pruebas de antagonismo y actividad en consorcio de estos aislados, para garantizar su funcionalidad e inocuidad para aplicaciones biotecnológicas en la agricultura del Caribe colombiano. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

María Serrano: curación de datos, análisis formal, investigación, escritura.

Liliana Pérez: conceptualización, metodología, supervisión, escritura.

Hilda Estrada López: conceptualización, adquisición de fondos, supervisión.

Rosnairy Mancera: investigación.

Yani Aranguren: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, escritura.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Colciencias por la financiación del proyecto "Desarrollo de productos de confitería y fertilizantes para la generación de valor agregado asociado a la producción de productos agrícolas en el departamento del Atlántico" (código No. 153-2016). Asimismo, este trabajo fue

posible gracias al equipo del Laboratorio de Investigación en Microbiología, especialmente a María Martínez, Andrea Romero, Leidy Coronado y María Castro. También agradecemos al grupo de investigación Bio-Organizaciones y a las cooperativas agrícolas AGROSUR y ASOFRUMA.

LITERATURA CITADA

Abdel-Rahman, H. M., Salem, A. A., Moustafa, M. M. A. & El-Garhy, H. A. S. (2017). A novice *Achromobacter* sp. EMCC1936 strain acts as a plant-growth-promoting agent. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(2), 61. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2360-6>

Bai, Y., D'Aoust, F., Smith, D. L. & Driscoll, B. T. (2002). Isolation of plant-growth-promoting *Bacillus* strains from soybean root



- nodules. *Canadian Journal of Microbiology*, 48(3), 230–238. <https://doi.org/10.1139/w02-014>
- Bargabus, R. L., Zidack, N. K., Sherwood, J. E. & Jacobsen, B. J. (2002). Characterisation of systemic resistance in sugar beet elicited by a non-pathogenic, phyllosphere-colonizing *Bacillus mycoides*, biological control agent. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 61(5), 289–298. <https://doi.org/10.1006/pmpp.2003.0443>
- Berg, G. (2009). Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84(1), 11–18. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2092-7>
- Bergkessel, M. & Guthrie, C. (2013). Colony PCR. En J. Lorsch (Ed.), *Methods in Enzymology* (pp. 299–309). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418687-3.00025-2>
- Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., Van Themaat, E. V. L. & Schulze-Lefert, P. (2013). Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 64(1), 807–838. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>
- Cabra-Cendales, T., Rodríguez González, C. A., Villota Cuásquer, C. P., Tapasco Alzate, O. A. & Hernández Rodríguez, A. (2017). *Bacillus* effect on the germination and growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Biológica Colombiana*, 22(1), 37. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n1.57375>
- De Souza, R., Meyer, J., Schoenfeld, R., Da Costa, P. B. & Passaglia, L. M. P. (2015). Characterization of plant growth-promoting bacteria associated with rice cropped in iron-stressed soils. *Annals of Microbiology*, 65(2), 951–964. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0939-3>
- Galvis, L. A. (2009). *Geografía económica del Caribe Continental*. Banco de la República.
- Gamez, R. M., Rodríguez, F., Bernal, J. F., Agarwala, R., Landsman, D. & Mariño-Ramírez, L. (2015). Genome sequence of the banana plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* BS006. *Genome Announcements*, 3(6). <https://doi.org/10.1128/genomeA.01391-15>
- Gaviria-Giraldo, J., Restrepo-Franco, G. M., Galeano-Vanegas, N. F. y Hernández-Rodríguez, A. (2018). Bacterias diazotróficas con actividad promotora del crecimiento vegetal en *Daucus carota* L. *Ciencia y Agricultura*, 15(1), 19–27. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7753>
- Gregorczyk, A. (1998). Richards plant growth model. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 181(4), 243–247. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00424.x>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2019). *Empresas registradas bioinsumos*. <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/fertilizantes-y-bio-insumos-agricolas/listado-de-bioinsumos/2009/empresas-registradas-bioinsumos-julio-8-de-2008.aspx>
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M. y Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas el suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quibor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47–56. [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev25\(1\)/6](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev25(1)/6). MS 1211.pdf
- Jiménez, D. J., Montaña, J. S. & Martínez, M. M. (2011). Characterization of free nitrogen fixing bacteria of the genus *Azotobacter* in organic vegetable-grown Colombian soils. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42(3), 846–858. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822011000300003>
- Kloepper, J. W., Ryu, C.-M. & Zhang, S. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11), 1259–1266. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259>
- Lapidot, D., Dror, R., Vered, E., Mishli, O., Levy, D. & Helman, Y. (2015). Disease protection and growth promotion of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) by *Paenibacillus dendritiformis*. *Plant Pathology*, 64(3), 545–551. <https://doi.org/10.1111/ppa.12285>

Liu, X., Li, Q., Li, Y., Guan, G. & Chen, S. (2019). *Paenibacillus* strains with nitrogen fixation and multiple beneficial properties for promoting plant growth. *PeerJ*, 7. <https://doi.org/10.7717/peerj.7445>

Luna-Martínez, L., Peniche, M., Hernández Iturriaga, M., Arvizu Medrano, S. y Pacheco, J. (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 36(1), 63–69.

Malusà, E., Pinzari, F. & Canfora, L. (2016). Efficacy of biofertilizers: challenges to Improve crop production. En D. Pratab, H. Bahadur y R. Prabha. (Eds.), *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity* (pp. 17–40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2644-4_2

Márquez, R., Blanco, E. L. & Aranguren, Y. (2020). *Bacillus* strain selection with plant growth-promoting mechanisms as potential elicitors of systemic resistance to gray mold in pepper plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(8), 1913–1922. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.015>

Martínez, A. C. (2015). *Requerimientos nutricionales del ají Capsicum annum L. y su relación con rendimiento bajo condiciones ambientales de Palmira, Valle del Cauca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/53873>

Massah, J. & Azadegan, B. (2016). Effect of chemical fertilizers on soil compaction and degradation. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, 47(1), 44–50.

Moreno-Quevedo, Á. P., Osorio Vega, N. W. y González Murillo, O. A. (2014). In vitro dissolution of acidulated rock phosphate by phosphate solubilizing microorganisms. *Acta Biológica Colombiana*, 20(2). <https://doi.org/10.15446/abc.v20n2.42713>

Osorio N. 2012. pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*. 1(4):1–4.

Pérez-Lavalle, L., Bolívar Anillo, H. y Díaz Pérez, A. (2016). Biofertilizantes en Colombia. En H. H. Estrada, H. G. Saumett y

M. A. Iglesias. (Eds.), *Productos de confitería nutracéutica y biofertilizantes: Una opción empresarial para cultivadores de frutas y hortalizas* (pp. 179–222). Universidad Simón Bolívar.

Saxena, A. K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N. & Bagyaraj, D. J. (2019). *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology*, 128(6), 1583–1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>

Sevilla-Perea, A. & Mingorance, M. D. (2015). Field approach to mining-dump revegetation by application of sewage sludge co-compost and a commercial biofertilizer. *Journal of Environmental Management*, 158, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.017>

Shrivastava, P. & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>

Sruthilaxmi, C. B. & Babu, S. (2017). Microbial bio-inoculants in Indian agriculture: Ecological perspectives for a more optimized use. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 242, 23–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.019>

Subbarao, N. S. (1977). *Soil Microorganisms and Plant Growth* (3rd ed.). aIBH Publishing Co.

Vassilev, N., Vassileva, M., Lopez, A., Martos, V., Reyes, A., Maksimovic, I., Eichler-Löbermann, B. & Malusà, E. (2015). Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(12), 4983–4996. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6656-4>

Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>

Vida, C., Cazorla, F. M. & De Vicente, A. (2017). Characterization of biocontrol bacterial strains isolated from a suppressiveness-



induced soil after amendment with composted almond shells. *Research in Microbiology*, 168(6), 583–593. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2017.03.007>

Wang, D., Yang, S., Tang, F. & Zhu, H. (2012). Symbiosis specificity in the legume - rhizobial mutualism. *Cellular Microbiology*, 14(3), 334–342. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2011.01736.x>

Wilson, K. H., Blitchington, R. B. & Greene, R. C. (1990). Amplification of bacterial 16S ribosomal DNA with polymerase chain reaction. *Journal of Clinical Microbiology*, 28(9), 1942–1946.

Wu, J., Jiao, Z., Zhou, J., Guo, F., Ding, Z. & Qiu, Z. (2017). Analysis of bacterial communities in rhizosphere soil of continuously cropped healthy and diseased konjac. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(7), 134. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2287-5>

Xiao-Ying, G., Chun-e, H., Tao, L. & Zhu, O. (2015). Effect of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth of greenhouse tomato and rhizosphere microbial community. *Journal of Northeast Agricultural University*, 22(3), 32–42. [https://doi.org/10.1016/S1006-8104\(16\)30004-6](https://doi.org/10.1016/S1006-8104(16)30004-6)

Zayed, M. S., Hassanein, M. K. K., Esa, N. H. & Abdallah, M. M. F. (2013). Productivity of pepper crop (*Capsicum annuum* L.) as affected by organic fertilizer, soil solarization, and endomycorrhizae. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2), 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2013.07.011>

Zhang, L.N., Wang, D.C., Hu, Q., Dai, X.Q., Xie, Y.S., Li, Q., Lu, H. M. & Guo, J.H. (2019). Consortium of plant growth-promoting rhizobacteria strains suppresses sweet pepper disease by altering the rhizosphere microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01668>

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.





RELACIÓN ENTRE NUTRIENTES CON CARBONO, NITRÓGENO Y MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA ZONA BANANERA DE COLOMBIA

RELATIONSHIP BETWEEN NUTRIENT WITH CARBON, NITROGEN, AND ORGANIC MATTER IN SOILS OF BANANA ZONE IN COLOMBIA

Sonia Esperanza Aguirre Forero • saguirre@unimagdalena.edu.co
Docente Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

Nelson Virgilio Piraneque Gambasica • npiraneque@unimagdalena.edu.co
Docente Ingeniería Agronómica, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

Rosmery Cruz O'Byrne • rosmerycrusko@unimagdalena.edu.co
Ingeniera Agrónoma e Ingeniera Ambiental. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

Citación: Aguirre, S., Piraneque, N. y Cruz, R. (2022). Relación entre elementos nutrientes con carbono, nitrógeno y materia orgánica en suelos de la zona bananera de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 93 – 111. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5186>




RESUMEN

Contextualización: El adecuado balance de nutrientes y su relación con el cultivo permite un manejo sostenible del recurso edáfico, esto permite la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y está condicionada por la concentración, la fijación y las pérdidas en el sistema.

Vacío de conocimiento: En el municipio de Zona Bananera no se ha identificado la concentración de nutrientes en el suelo y sus posibles relaciones con la fertilidad, lo que es de vital importancia para su manejo eficiente y el sostenimiento de la productividad del territorio.

Propósito: Por lo anterior, se planteó como objetivo analizar el pH y la concentración de macroelementos y microelementos, y su relación con contenidos de carbono oxidable (Cox), nitrógeno total (Nt) y materia orgánica (MO) en suelos del municipio de Zona Bananera, en el departamento de Magdalena, Colombia.

Metodología: Durante el año 2020, mediante muestreo aleatorio simple de 25 puntos a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm), se determinó la concentración de nutrientes (P, K, Ca, Mg, Na, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B y S) y su relación con Nt, MO y Cox, seguido de la priorización de alternativas para manejo sostenible mediante una matriz multicriterio con enfoque multidisciplinario.

Resultados y conclusiones: Se evidenció que los suelos cultivados presentan altos contenidos de MO y N, con correlación significativas con las variables medidas, ratificando que el contenido de Cox y MO incide sobre la fluctuación del N y otros nutrientes, por lo que el monitoreo de este elemento es primordial para sostenibilidad del sistema. 

Palabras clave: Nutrientes minerales; sostenibilidad; Materia Orgánica del suelo; Oligoelementos

ABSTRACT

Context: The adequate balance of nutrients and their relationship with the crop allows sustainable management of the edaphic resource, this allows the availability of nutrients in the soil and is conditioned by the concentration, fixation and losses in the system.

Knowledge gap: In the municipality of Zona Bananera, the concentration of nutrients in the soil and their possible relationships with fertility have not been identified, which is of vital importance for their efficient management and for sustaining the productivity of the territory.

Purpose: Therefore, the objective was to analyze the pH and the concentration of macroelements and microelements, and their relationship with oxidizable carbon (Cox), total nitrogen (Nt), and organic matter (OM) contents in soils of the municipality of Zona

Bananera, in the department of Magdalena, Colombia.

Methodology: In 2020, by simple random sampling of 25 points at two depths (0-10 and 10-20 cm), the concentration of nutrients (P, K, Ca, Mg, Na, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B and S) and their relationship with Nt, OM and Cox were determined, followed by the prioritization of alternatives for sustainable management using a multi-criteria matrix with a multidisciplinary approach.

Results and conclusions: Cultivated soils showed high contents of OM and N, with a significant correlation with the variables measured, confirming that Cox and OM content affect the fluctuation of N and other nutrients, so the monitoring of this element is essential for the sustainability of the system.

Keywords: Mineral nutrients; sustainability; Soil organic matter; trace elements

RESUMEN GRÁFICO





1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema que vincula relaciones bióticas y abióticas, esenciales en la nutrición vegetal. Las sustancias inorgánicas son absorbidas por la raíz; agua, dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) y H ; así como otros nutrientes minerales, como N, P, K, Ca, Mg, Bo, Zn, S, Na, esenciales en la nutrición vegetal. Estos son fundamentales para la producción agrícola y en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos (Cerón y Aristizábal, 2012; Aguirre et al., 2019, Aguirre, Piraneque & Ramírez, 2018). En consecuencia, la evaluación de la calidad del suelo, a través de indicadores físicos, químicos y biológicos, representa una herramienta clave para diagnosticar la concentración de elementos y de parámetros necesarios para establecer un plan de fertilización; así como para monitorear cambios en nutrición, la respuesta de la planta al nutriente y las condiciones agroclimáticas del área de estudio (Olivares et al., 2021).

Las investigaciones desarrolladas en suelos tropicales establecen que el detrimento de la fertilidad del suelo está sujeto a cambios en el uso y al tipo de explotación de este, los cuales repercuten directamente en la productividad del banano (Olivares, Araya-Alman et al., 2020; Olivares et al., 2022), cereales (Olivares, 2016), raíces y tubérculos (Olivares & Hernández, 2019), y otras frutas tropicales (Olivares, Pitti et al., 2020).

Con relación a las investigaciones realizadas en suelos tropicales, los trabajos más recientes concernientes a la calidad del suelo¹ en la zona de estudio de este artículo

son los de Aguirre et al.(2015), Aguirre, Piraneque y Ramírez (2018) y Aguirre, Piraneque y Vásquez (2018); allí se describen las principales características de los suelos bananeros y la importancia del enfoque de la calidad del suelo con la productividad y establece claramente la existencia de una relación entre la reducción de la productividad y la pérdida de la calidad del suelo, generada principalmente por el impacto adverso del sistema de producción convencional. A pesar de esto, para mantener su importancia como región productora de banano, los productores están buscando métodos innovadores para administrar sus plantaciones con el fin de proteger áreas ambientalmente sensibles, reducir los impactos de los eventos climáticos y suprimir las enfermedades transmitidas por el suelo.

Por lo mencionado es preciso investigar el tema, debido a que el desarrollo de un suelo sano es una aspiración que se busca para abordar estas limitaciones. Para lograr esto se realizó esta investigación, utilizando indicadores basados en parámetros del suelo fácilmente medibles. Los objetivos principales del estudio fueron: (a) analizar la concentración de P, K, Ca, Mg, Na, Cu, Bo, Zn, Mn, Fe y S del suelo; (b) establecer la relación de nutrientes con los contenidos de C, N y MO en el municipio Zona Bananera y (c) identificar cambios en la concentración de los elementos en el suelo e identificar posibles alternativas de manejo sostenible del área de estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Noreste del departamento del Magdalena, municipio Zona Bananera (Figura 1); coordenadas $10^{\circ} 46' 00''$ Latitud Norte y $74^{\circ} 08' 00''$ Longitud Oeste, 20 m.s.n.m.; temperatura promedio de 27°C ; humedad relativa del 82 %. La evaporación media anual en la región es de 1500 mm/año y la precipitación media anual de 1371 mm/año. Esta zona posee un clima denominado Bosque seco Tropical (Bs-T) y Bosque muy seco Tropical (Bms-T), según las zonas de

1. Respecto a los estudios sobre calidad del suelo, se han encontrado los siguientes hallazgos: El nitrógeno (N) en el suelo se distribuye en el perfil y se estima que más del 90 % corresponde a formas orgánicas obtenidas a partir de la degradación de los residuos (Zapata y Osorio, 2010), es un nutriente esencial, y es absorbido como nitrato y amonio a través de las raíces; el nitrato es la forma más móvil, por lo que se lixivia con facilidad, y el amonio es fácilmente volatilizado, según condiciones climáticas y características edáficas (Barberena et al., 2019). Así mismo, la deposición y descomposición de materia orgánica es transcendental en la estabilización y el contenido de carbono del suelo (COS) (Lal, 2004, 2016); cuando el C es liberado a la atmósfera como CO_2 o metano (CH_4) incide en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), lo que acrecienta el denominado cambio climático (Manabe, 2019; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015). Por otro lado, la agricultura responde por 25 % de las emisiones de CO_2 , el 50 % de CH_4 y el 70 % de emisiones de N_2O a nivel mundial, lo que causa un deterioro del COS y también reduce la fertilidad del suelo (FAO, 2015), disminuye las funciones ecológicas y

de producción (absorción y disponibilidad de nutrientes, regulación de los ciclos biogeoquímicos, ciclaje de materia orgánica (MO), flujo gaseoso, filtración y amortiguación de impactos, entre otros). La producción agrícola, por tanto, depende de la capacidad del suelo para sostener los cultivos y de la sostenibilidad de este (Aguirre, et al., 2018, 2015; Olivares et al., 2022).

vida de Holdridge, con régimen de estaciones bimodal (Aguirre et al., 2015). El territorio tiene influencia de los ríos Tukurinca, Sevilla y Frío, los cuales proveen de agua a los distritos de riego. En zonas bajas, aledañas a la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), el nivel freático es superficial, con inundación en temporada de lluvia y presencia de salinidad en zonas aledañas a la CGSM. La mayor parte de los suelos del municipio son de origen aluvial, profundos (más de 1 metro), con drenaje pobre (regular a bueno), texturas francas (franco arcillosas y arenosas), pH entre 6 y 7, fertilidad moderada y contenidos variables de materia orgánica. Los suelos contienen áreas adecuadas para la producción de banano (*Musa sp.*), palma de aceite (*Elaeis guineensis*), arroz (*Oryza sativa*), cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea arabica*), entre otros (Instituto Geográfico Agustín

Codazzi [IGAC], 2009; Aguirre et al., 2012; Aguirre et al., 2015).

Muestreo y caracterización analítica.

Con la información referente a las características fisiográficas, edáficas, cobertura vegetal (uso) y manejo, a partir de un muestreo aleatorio simple se definieron 25 puntos de muestreo que corresponden a cultivos (banano, palma africana), árboles frutales como cítricos (*Citrus sp.*), cacao (*T. cacao*), mango (*M. indica*) y áreas de rastrojo (Tabla 1). Los puntos fueron georreferenciados y se recolectaron muestras de suelo a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) por triplicado, estas fueron debidamente empacadas, rotuladas y preparadas para su posterior análisis químico, con los métodos descritos en la Tabla 2, por el Laboratorio de Servicios Analíticos del CIAT.

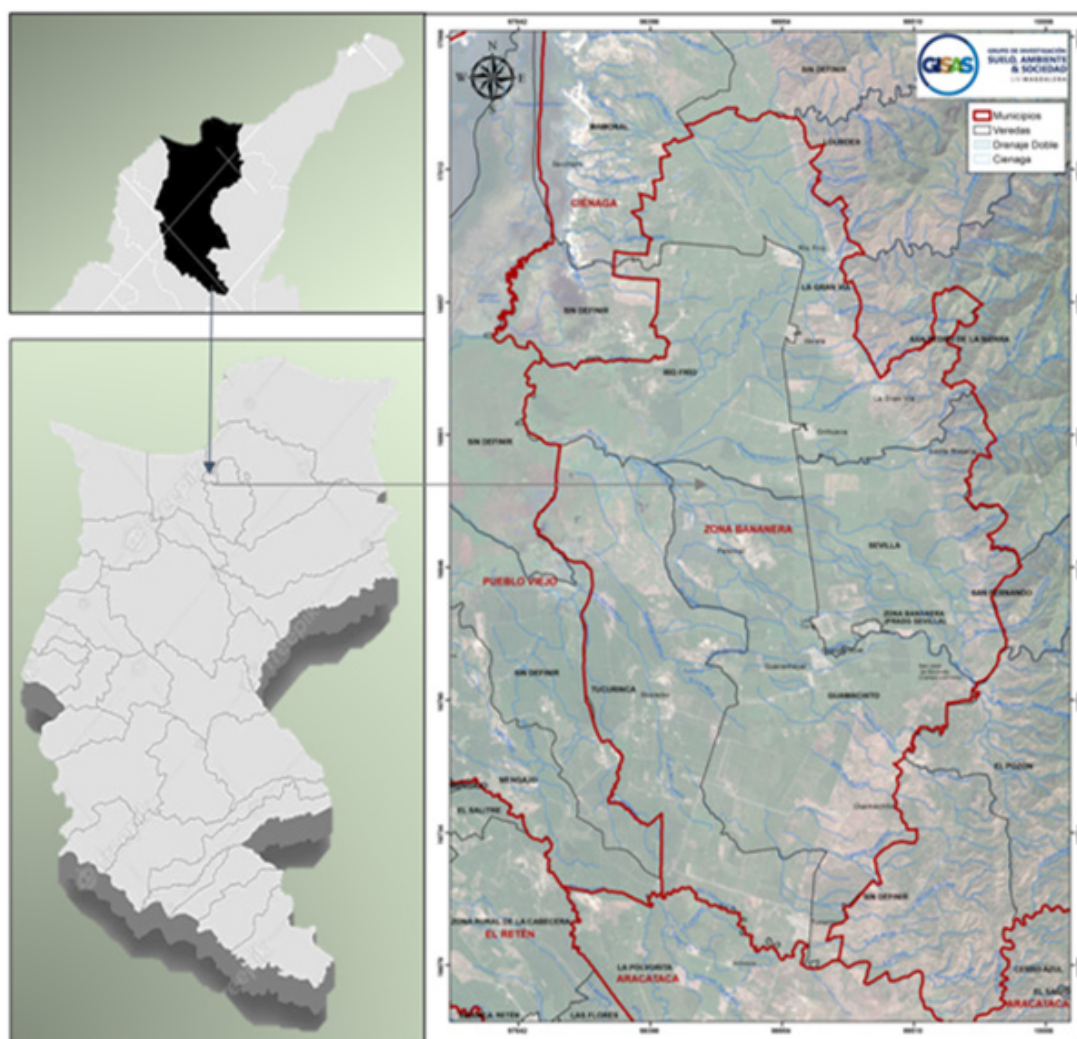


Figura 1. Localización del proyecto en el Municipio Zona Bananera, departamento de Magdalena, Colombia.

Fuente: Autores



Tabla 1. Localización de los sitios de muestreo para suelo (S: cultivo de banano, palma y frutales; L: vegetación de rastrojo) a dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm) en la Zona Bananera, Colombia.

Punto	Nº	Predio	Longitud	Latitud
S1	1	Finca Julio Zawady	-74, 91409	10,542593
S2	2	El Reposo	-74,1676361	10,9364545
S3	3	Vereda La Mira (punto 1)	-74,2074722	10,9223309
S4	4	Vereda La Mira (punto 2)	-74,2076222	10,9224778
S5	5	Límite Zona Bananera	-74,1446833	10,8828300
S6	6	San Pablo	-74,1490667	10,8812167
S7	7	La Unión	-74,1935833	10,8770083
S8	8	Límites Río Frío y Zona Bananera	-74,2613611	10,8683889
S9	9	La Candelaria	-74,2343944	10,8557556
S10	10	Finca María Luisa	-74,2018444	10,8505167
S11	11	Vereda Orihueca	-74,1936444	10,8460944
S12	12	Finca Plantación	-74,1354361	10,8497722
S13	13	La Gran Vía (punto 1)	-74,1320722	10,8520333
S14	14	La Gran Vía (punto 2)	-74,1309556	10,8527333
S15	15	La Gran Vía (punto 3)	-74,1306167	10,8531417
S16	16	Santa Rosalía (punto 1)	-74,0983611	10,8322778
S17	17	Santa Rosalía (punto 2)	-74,1119722	10,8251389
S18	18	Finca Vijagual	-74,1635944	10,7784222
S19	19	Finca Porvenir	-74,1221778	10,7517028
S20	20	Soplador	-74,2124417	10,7313944
S21	21	Tucurínca	-74,1908222	10,6648667
L*1	22	Finca Julio Zawady	-74,1539139	10,9072028
L*2	23	Vía San Pedro de la Sierra	-74,1444889	10,8809472
L*3	24	Desembocadura CGSM	-74,3255167	10,8709917
L*4	25	Guamachito	-74,1438167	10,698875

Fuente: autores

Tabla 2. Parámetros medidos y métodos empleados para determinar la concentración de elementos nutrientes en los suelos del municipio de Zona Bananera.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Método
pH			pH Agua 1:1
Nitrógeno total	N-total	g/kg	Espectrofotometría UV-VIS (Equipo -Skalar)
Carbono oxidable	Cox	g/kg	Carbono Oxidable Walkley & Black
Materia orgánica	MO	g/kg	M. Orgánica W-Black Espectrometría
Fosforo	P ₂ O ₅	mg/kg	BrayII. Fosforo disponible - Espectrometría
Potasio	K	cmol/kg	Potasio Intercambiable (Abs. At.).
Calcio	Ca	cmol/kg	Calcio Intercambiable (Abs. At.).
Magnesio	Mg	cmol/kg	Magnesio Intercambiable (Abs. At.).
Sodio	Na	cmol/kg	Sodio Intercambiable (Abs. At.).
Hierro	Fe	mg/kg	Hierro Extracto. Doble Acido (Abs. At.).
Manganeso	Mn	mg/kg	Manganeso Extracto. Doble Acido (Abs. At.).
Cobre	Cu	mg/kg	Cobre Extracto. Doble Acido (Abs. At.).
Zinc	Zn	mg/kg	Zinc Extracto. Doble Acido (Abs. At.).
Boro	Bo	mg/kg	Boro en Agua Caliente (Espectrómetro)
Azufre	S	mg/kg	Azufre Extracto (Fosfato Ca) Turbidimetría

Abs. At.: Absorción atómica. **Fuente:** Autores

Una vez determinadas las concentraciones de elementos químicos del suelo, se compararon con los parámetros estándar (Tabla 3) con el propósito de definir rangos de concentraciones de elementos (alto, medio, bajo), y así diagnosticar relaciones entre nutrientes que afecten los contenidos de MO, Ntotal y Cox-

Tabla 3. Rangos de pH, MO y nutrientes del suelo. Valores de referencia ICA (1992).

Elemento	Símbolo	NIVEL			
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Nitrógeno (%)	N	< 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	>0,4
Fósforo (mg/kg)	P	< 4 – 8	8 – 13	13 – 21	>21
Calcio (cmol ₊ /kg)	Ca	< 3	3 – 6	> 6	
Magnesio (cmol ₊ /kg)	Mg	< 1.5	1.5 -2.5	> 2.5	
Potasio (cmol ₊ /kg)	K	< 0.20	0.2 -0.4	>0.40	
Sodio (cmol ₊ /kg)	Na			> 1.0	
Boro (mg/kg)	B	< 0.20	0.20 -0.40	> 0.40	
Cobre (mg/kg)	Cu	< 1.0	1.0 -3.0	> 3.0	
Hierro (mg/kg)	Fe	< 25	25 -50	> 50	
Manganeso (mg/kg)	Mn	< 5	5.0 -10.0	> 10.0	
Zinc (mg/kg)	Zn	<1.5	1.5 -3.0	> 3.0	
Materia Orgánica (%)	Frío	< 5	5 – 10	>10	
	Medio	< 3	3 – 5	>5	
	Cálido	< 2	2 – 3	> 3	
pH (Unidades)	< 4,5		Extremadamente ácido		
	4,6 – 5,0		Muy fuertemente ácido		
	5,1 – 5,5		Fuertemente ácido		
	5,6 – 6,0		Medianamente ácido		
	6,1 – 6,5		Ligeramente ácido		
	6,6 – 7,3		Neutro		
	7,4 – 7,8		Ligeramente alcalino		
	7,9 – 8,4		Medianamente alcalino		
	8,5 – 9,0		Fuertemente alcalino		
	> 9,0		Extremadamente alcalino		

Fuente: Adaptado de ICA, 1992.

Análisis de datos. Se construyó una matriz de datos y se empleó análisis de varianza (ANOVA) con el fin de determinar las diferencias entre los puntos muestreados. Se empleó la prueba de Levene para evaluar la igualdad de varianzas y la prueba estadística de Shapiro-Wilk para probar la distribución normal

de cada característica. En aquellas situaciones en las que se detectó diferencias significativas en las variables medidas se aplicó, *post hoc*, la prueba HSD de Tukey para la comparación de medias con nivel de significancia de 0,01. A fin de determinar la asociación entre variables, se procedió a una interpretación gráfica y



numérica. A su vez, para la caracterización de las fincas (predios) y profundidades de muestreo se utilizaron técnicas multivariadas tales como: el análisis de componentes principales (ACP), análisis de conglomerados y análisis de correlación canónica, ampliamente utilizados y descritos en las ciencias agrícolas y ambientales por Olivares y Hernández (2019), Olivares & Zingaretti (2019) y Olivares & Hernández (2020).

Con el fin de centrar los análisis en los parámetros químicos del suelo, que formaron gradientes importantes en el área de estudio, se calculó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando el criterio de Keizer-Meyer-Olkin (KMO) (Olivares et al., 2017); se verificó la adecuación del muestreo y la aplicabilidad del ACP se validó mediante la prueba de esfericidad de Bartlett (Dalal et al., 2010). Posteriormente, los componentes principales (CP) se giraron mediante rotación Varimax (Tabachnick & Fidell, 2007), de modo que los varifactores (VF) fueran ortogonales y no se correlacionaran entre sí.

Solo los factores con valores propios superiores a uno se tuvieron en cuenta para determinar las cargas de los factores. La clasificación de los puntos de muestreo en los suelos se llevó a cabo mediante análisis de conglomerados sobre las propiedades, a cada profundidad analizada. Los conglomerados se ajustaron mediante agrupamiento jerárquico con

el criterio de Ward utilizando la función *hclust* en R y se seleccionaron tres conglomerados como la división más apropiada según el árbol jerárquico (Murtagh & Legendre, 2011). La correlación de los conglomerados con los grupos de hábitats se calculó mediante la prueba de chi cuadrado (χ^2) y todos los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico R versión 3.6.1 (R Core Team, 2019).

Priorización de alternativas para manejo de los suelos de la zona. Las alternativas propuestas se establecieron de acuerdo con los resultados, la proyección y tendencia agroclimáticas de la zona de estudio (según los escenarios de adaptación al cambio climático del departamento del Magdalena). Se contó también con la valoración de veinte expertos (académicos, investigadores) y veinte productores activos en la zona de estudio, preferencialmente en cada sistema productivo desarrollado (la proporción experto/productor se seleccionó a fin de mantener un adecuado nivel de confianza), a través de una matriz multicriterio (Barati et al., 2019). Esta matriz fue un instrumento de apoyo para la planificación agrícola y la toma de decisiones, permitió precisar e identificar criterios discriminantes, trabajar multidisciplinariamente y estructurar subcriterios para definir categorías y ponderar. En la tabla 4 se observan las variables priorizadas y analizadas.

Tabla 4 Principales variables del análisis estructural

Variables evaluadas	
Condiciones climáticas	Temperatura y humedad
Infraestructura de riego	Distritos de riego y disponibilidad de agua
Características de suelo	Geomorfología, pH, concentración de macronutrientes y micronutrientes
Prácticas agrícolas	Sistema del cultivo, uso, manejo y gestión del suelo.
Servicios ecosistémicos	Seguridad alimentaria y Biodiversidad
Producción y características socioeconómicas	Productividad asociatividad y comercialización de productos

Fuente: Los autores

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 5 se aprecian los resultados del análisis de varianza y en la figura 2, las diferencias significativas de los parámetros

analizados a dos profundidades obtenidas de todas las 25 muestras de suelo de los predios a partir de la caracterización analítica de los suelos de estudio.

Tabla 5. Resultados del Análisis de varianza de las variables analizadas en suelos del Municipio Zona Bananera.

Variable	FV	GL	SC	F	p
pH	Pred	24	40,52	8,7	***
	Prof	1	0,91	4,67	**
Cox	Pred	24	16955,35	41,78	***
	Prof	1	192,04	11,36	**
MO	Pred	24	3759,2	2,24	*
	Prof	1	720,94	10,29	**
P	Pred	24	874323,33	5,73	***
	Prof	1	31316,89	4,93	*
Ca	Pred	24	360,53	6,13	***
	Prof	1	18,74	7,64	*
Mg	Pred	24	50,05	2,5	*
	Prof	1	6,58	7,9	**
K	Pred	24	4910,28	377,31	***
	Prof	1	2,95	5,45	*
Na	Pred	24	66,84	10,06	***
	Prof	1	0,15	0,56	NS
Fe	Pred	24	19198,51	9,04	***
	Prof	1	363,74	4,11	NS
Mn	Pred	24	27507,12	2,53	*
	Prof	1	126,27	0,28	NS
Cu	Pred	24	1529,23	4,19	***
	Prof	1	1,08	0,07	NS
Zn	Pred	24	1778,13	3,77	***
	Prof	1	151,14	7,70	*
B	Pred	24	11,55	3,18	**
	Prof	1	0,49	3,21	NS
S	Pred	24	64575,06	17,71	***
	Prof	1	149,57	0,98	NS
Ntotal	Pred	24	74,28	2,24	*
	Prof	1	0,01	3,8E-03	NS
NH ₄	Pred	24	1134,82	1,82	NS
	Prof	1	40,93	1,58	NS
NO ₃	Pred	24	19779,78	6,08	***
	Prof	1	2983,1	22,0	***

Pred: Predio. Prof: Profundidad. *Significativo al nivel de probabilidad de 0.05

** Significativo al nivel de probabilidad de 0.01. ***Significativo al nivel de probabilidad de 0.001.

Fuente: Los Autores.

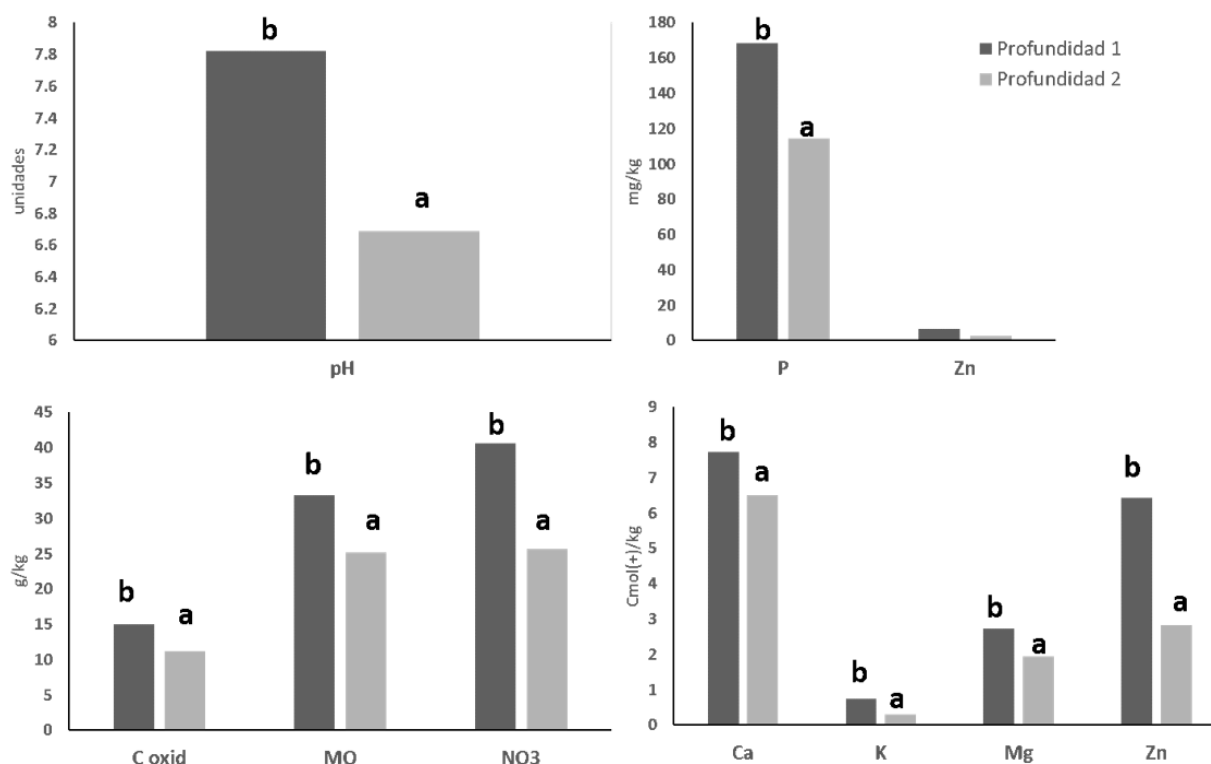


Figura 2. Resultados del análisis de comparación de medias con diferencias significativas de los parámetros analizados a dos profundidades obtenidas de las 25 muestras de suelo de los predios.

Fuente: Autores.

La caracterización analítica del suelo, respecto al pH, mostró diferencias significativas entre predios ($p < 0,01$) y en profundidad. El comportamiento de la variable osciló de extremadamente ácido (4,64) a medianamente alcalino (8,03); normal en suelos provenientes de fragmentos de rocas del piedemonte, con alturas inferiores a los 500 m. s. n. m., con temperatura mayor a 24 °C y una precipitación anual de 1 000 a 2 000 mm. Todos estos factores inciden en las diferentes asociaciones de suelos presentes en el municipio (IGAC, 2009). Debe tenerse en cuenta que, cuando el pH es alcalino, el Ca reacciona con P formando fosfatos de calcio insolubles, lo que limita la producción (Do Nascimento et al., 2018), por lo que es necesario estar atentos a síntomas visuales de deficiencia de P en la planta.

El contenido de MO en los suelos, en clima tropical, es fluctuante y su clasificación es compleja al ser una mezcla heterogénea de componentes biogénicos, en proporciones y estados evolutivos variables (Assunção et al., 2019). Los resultados evidencian diferencias significativas respecto a la

profundidad y predios ($p < 0,01$); 24 % de las muestras reportaron rango medio de MO, 40 % presentaron contenidos altos y 36 %, contenidos bajos. La muestra de rastrojo, recolectada cerca de CGSM, presentó diferencias significativas respecto a las demás; el contenido es alto, posiblemente es un sitio que acumuló sedimentos y materiales vegetales. Los valores más bajos se reportaron en los puntos de muestreo de Santa Rosalía, con profundidad 1 y 2. En general, se evidenció un rango medio a alto en el 64 % de las muestras, a pesar de haberse cultivado por años, posiblemente por la práctica de abandonar los desechos (hojas) en la superficie de los suelos bananeros, lo que incorpora MO al suelo.

El contenido N total evidenció diferencias significativas ($p < 0,05$) entre predios. En la profundidad 1 (0 -10 cm), los contenidos variaron de bajos a medios; y para la profundidad 2, la concentración de N disminuyó. En la mayoría de las muestras se reportaron contenidos medios, y algunas del noreste y sureste del municipio presentaron contenidos bajos. En general, coincide con

lo evidenciado por Vásquez et al. (2013), quienes encontraron que en la Zona Bananera se presentan contenidos medios de N total y MO.

Respecto al contenido de fósforo (P) en suelo, se evidenciaron diferencias significativas entre predios ($p < 0,01$) y profundidades. Se encuentra en rangos altos a muy altos (96 %). Sin embargo, esto no significa que esté disponible para la planta, pues el P es absorbido principalmente como ion orto fosfato ($H_2PO_4^-$) y ion fosfato secundario (HPO_4^{2-}); además, su absorción y forma dependen del pH y la simbiosis con micorrizas, entre otros factores.

El potasio (K) en las plantas regula la presión osmótica y capacidad iónica de la solución, está involucrado en la actividad de más de 80 enzimas, translocación de asimilados, y absorción de N. En el cultivo de banano este elemento es primordial, al ser el catión de mayor concentración en las células de la especie, y su respuesta a la fertilización es significativa en la producción, por lo que los productores lo aplican de forma abundante como cloruro o Nitrato. Se evidenciaron diferencias significativas respecto a la profundidad y los predios: el 50 % de los datos se localizaron en rango medio, el 42 %, rango alto y el 8 % presentaron un rango bajo, coincidiendo con predios de rastrojo; lo que evidencia que este elemento es agregado.

El Ca presentó diferencias significativas respecto a predio ($p < 0,01$) y profundidad. Los resultados reportaron que el 64 % de las muestras tienen concentraciones altas; el 32 %, rangos medios; y 4%, rangos bajos, localizados principalmente en rastrojos. El calcio es abastecido a las raíces vía flujo masal o intercepción, y constituye las paredes y membranas celulares, regula enzimas y cuando hay deficiencia reduce la disponibilidad de P; resultando en menor crecimiento de raíces y el desarrollo de la planta.

El Mg mostró diferencias significativas respecto a la profundidad y los predios ($p < 0,05$). El 87 % de los datos se localizaron en rango medio, 8% evidenció bajas concentraciones y el 5 %, concentración

alta. Este elemento constituye la clorofila, los ribosomas (síntesis proteica) y se asocia a reacciones de transferencia de energía (ATP). Una baja concentración de Mg en forrajes causa hipomagnesemia, en especial en gramíneas (compite con K y NH_4^+), mientras que en banano las necesidades del Mg no son altas (García, 2015), sin embargo, es necesario en la producción y en las relaciones sinérgicas de la planta. Como se señaló anteriormente, el análisis puede proporcionar una visión general de las variables clave que podrían estar obstaculizando la productividad del banano. Según los resultados de Olivares, Araya-Alman et al. (2020) los niveles de Mg fueron moderados a bajos en todas las parcelas muestreadas, pero siempre más bajos en las parcelas de alta productividad, lo que indica que puede haber problemas de equilibrio nutricional y absorción de estos nutrientes por parte de las plantas.

El Na, a diferencia de los anteriores elementos, no está probado como nutriente esencial, pero puede sustituir al K en ciertas funciones (da turgencia). Es un elemento relacionado al exceso (> 15 % de la CIC) y afecta la estructura del suelo. Presentó diferencias significativas respecto a los predios (con exceso hacia rastrojo, cercano a la CGSM) y 5 % de las muestras poseen alto contenido de este, probablemente porque las muestras recolectadas en cercanía de la CGSM presentan capas freáticas salinas, que entran en el perfil de manera esporádica; no obstante, también hay causas antrópicas (riego con agua de pozo o mal manejo de fertilizantes, entre otros).

Otro de los factores que afectan la disponibilidad de las bases, además del pH, es el tipo de coloides, el CIC y la relación entre cationes de saturación (antagónicas o sinérgicas). Así, la disponibilidad de estos nutrientes define en buena parte, el grado de fertilidad del suelo, por lo que es preciso estimar concentración y posibles relaciones.

El S reportó diferencias significativas respecto a los predios ($p < 0,001$). Su concentración tiene rango medio, exceptuando algunos puntos de muestreo que presentan contenidos altos de 161 y 52,83 mg/kg. El nivel crítico de S es de 12 mg/kg; de 12 – 20 se considera contenido medio; de 20 a 50, óptimo; y > 50 alto. Es un elemento limitante



en suelos de origen aluvial, con contenidos altos en Ca y Mg, y con baja concentración de materia orgánica (Bertsch, 1986).

Los microelementos son fundamentales para las plantas e inciden en la productividad y calidad de los alimentos. Son requeridos en cantidades mínimas y hacen parte de diversos sistemas enzimáticos de las plantas. De acuerdo con Vázquez (2005), los micronutrientes responden a las características geofísicas del suelo, donde el pH y a las condiciones ambientales son fundamentales en la disponibilidad. Al respecto, la concentración de B y Zn evidenció diferencias significativas entre predios ($p < 0,01$). El B se mostró 74 % en rango alto; 16%, bajo; y 10%, medio. Este microelemento es fundamental en la síntesis de almidón y suele aplicarse en cultivos de banano. Por otra parte, el Zn se presentó 38 % en un rango alto, 30 % en un rango medio y 32 %, bajo. Se destaca que la síntesis de triptófano y lípidos depende de la concentración de este elemento, siendo esencial en el metabolismo de los vegetales.

Otros microelementos, como Fe, Cu y Mn, presentaron diferencias significativas respecto a los predios ($p < 0,05$). Cu se reportó en un 65 % de las muestras en un rango alto; 26 %, en medio y 9 %, en rango bajo. Es posible que este elemento se agregue a través de fungicidas o provenga de la meteorización de rocas y minerales. Para Fe, el 91,6 % de las muestras están en rango bajo, mientras el 8,3 % de las muestras presentan un rango alto. El Fe es fundamental en fotosíntesis, respiración y síntesis de ADN y su disponibilidad está guiada principalmente por los rangos de pH. Para Mn, el 90 % de las muestras enseñan un rango alto y el 10 %, uno medio. El Mn es un elemento importante para la síntesis de clorofila.

Los métodos univariados consideran elementos individuales, pero no detectan la interacción dinámica de los elementos propios de la mineralización del suelo. Por lo anterior, se recurrió a técnicas multivariadas para definir agrupaciones y su relación. El análisis de componentes determinó "factores comunes" que explican un porcentaje de la varianza total, mientras que el análisis clúster consideró la correlación de los datos en términos de similaridad entre las observaciones.

Los resultados obtenidos del análisis de componentes principales [ACP], para la profundidad 1 (0 a 10 cm), se observan en la Figura 3. El análisis realizado permitió asociar los predios con las variables que mejor los caracteriza. La varianza explicada por los dos primeros componentes (inercia) fue de 44,6 % y mostró parámetros significativos de ordenación. El análisis permitió determinar que cinco componentes explican el 80 % de la variabilidad (autovalor > 1). El PC1 indicó mayor variabilidad entre las propiedades pH y P con Mo y Cox a su vez, en el PC2 fueron Cox, Mo, Ca, y B. En los dos componentes, las variables con mayor variabilidad fueron pH, P, Zn Cox, MO y B. En A se muestra la agrupación de los predios, y en B se verifica la relación a través de la proyección vectorial de las variables medidas y los grupos. El análisis de conglomerados organizó de manera útil los patrones jerárquicos de similitud en el conjunto de datos, lo que permitió identificar tres grupos (X^2 , $p < 0.001$):

Los predios ubicados en el grupo I, están asociados a los mayores contenidos de N, MO, Coxid, Na y S. pH, P, Zn, K y Cu. Los suelos de este grupo se caracterizan por tener pH ácido, con condiciones reductoras que favorecen el proceso de desnitrificación, además de presentar desbalance nutricional. Esto señala una deficiencia inducida de nutrientes, especialmente de K por exceso de Ca o Mg, como lo afirman Wang & Wu (2017); o por las condiciones ambientales de la zona marcadas por altas temperaturas (> 28 °C), elevada evapotranspiración (> 2000 mm) y altos contenidos de sales (> 4 dS/m) (Hasanuzzaman et al., 2018).

Los predios ubicados en el grupo II presentan fuerte relación con las variables Mg, Ca, K, Zn, Mn, Cu y pH. El pH para este grupo fue alcalino, que unido a las altas temperaturas (28 - 36 °C) de la zona favorece la volatilización del N en forma de NH_3^+ ; esta hoy en día es reducida mediante el uso de inhibidores de ureasa (Barberena et al., 2019). Los elevados contenidos de Ca y de P suponen la formación de compuestos insolubles ($Ca_3(PO_4)$), con la consiguiente deficiencia en el aporte para la nutrición de las plantas. Igual que en el grupo anterior, se presentan relaciones que permiten verificar una deficiencia inducida, principalmente de K por efecto del exceso de Ca.

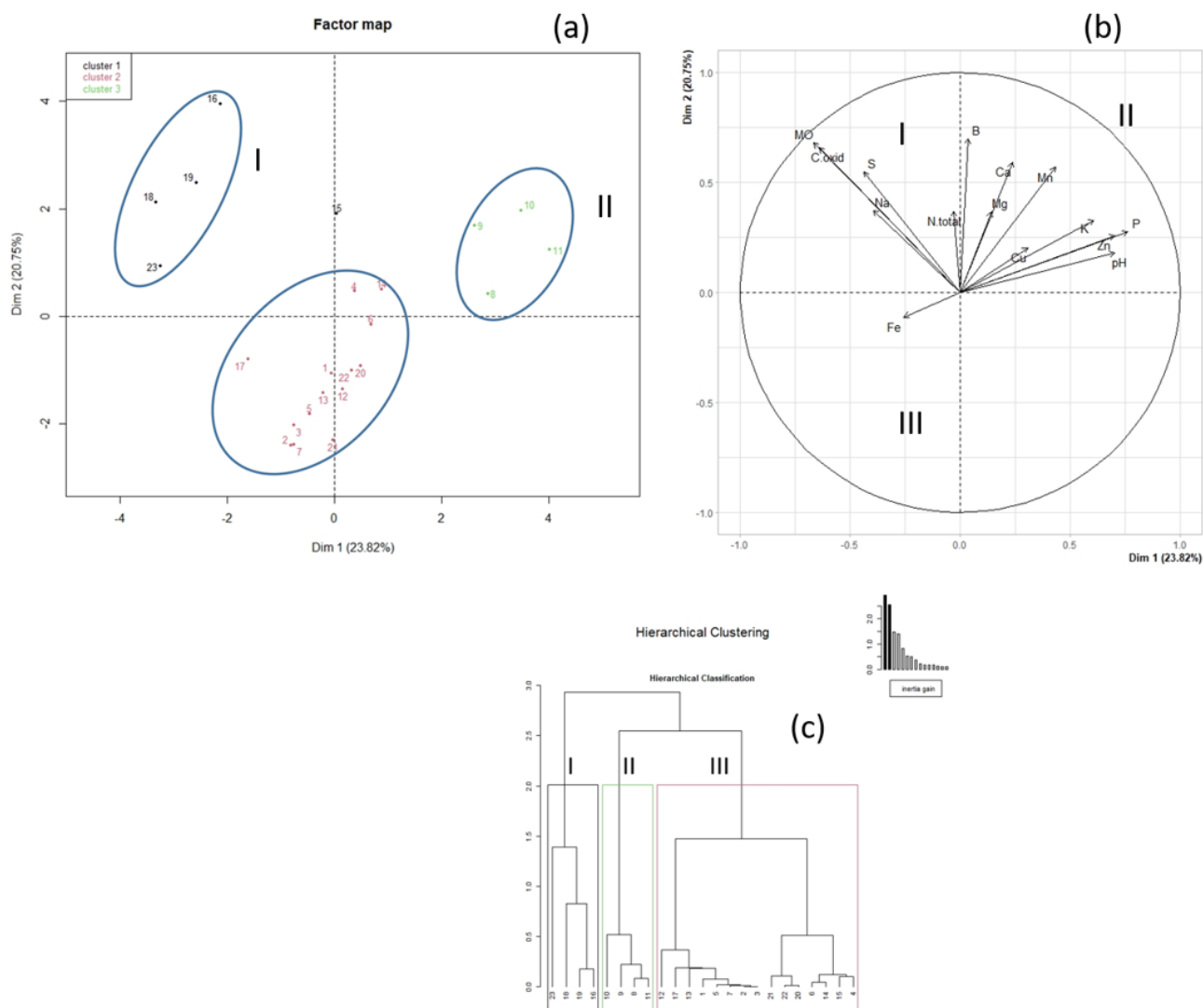


Figura 3. Ordenación de los puntos de muestreo (0 - 10 cm) de suelos en función a las variables en el municipio Zona Bananera del departamento del Magdalena. (a) nivel de relación lineal entre predios basada en las diferentes muestras, (b) proyección vectorial de las variables medidas, (c) agrupación de los predios en función a las variables. **Fuente:** autores

En el grupo III hay una relación fuerte con el elemento Fe y se marca una tendencia hacia el cuadrante inferior de la gráfica. Su reacción es ácida, lo que puede generar deficiencias nutricionales, principalmente de macroelementos como P, Ca, Mg y K.

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos del análisis de componentes principales ACP en la profundidad 2. El análisis permitió asociar predios con las variables que mejor los caracteriza. La varianza, explicada por los dos primeros componentes (inercia), fue de 41,6 % y mostró parámetros significativos de ordenación. El análisis permitió determinar que cinco componentes explican el 79 % de

la variabilidad (autovalor > 1). El CP1 indicó la mayor variabilidad entre las propiedades Ca, Mg y Fe; y el CP2, entre Cox, MO con Na y Mn. En los dos componentes, las variables con mayor variabilidad fueron Ca, Mg, Cox y MO. En A se muestra la agrupación de predios y en B se verifica la relación a través de la proyección vectorial de las variables medidas y los grupos (X^2 , $p < 0.001$).

El grupo I mostró pH ácido con déficit de MO y bajos contenidos de N disponible ($p < 0,01$), altos contenidos de P, pero con baja solubilidad, y regular disponibilidad de Ca y Mg; lo que supone deficiencias nutricionales para las plantas y altos contenidos de Cu,



Fe y Mn. El grupo II presentó pH alcalino, contenidos medios de MO y bajos de N disponible ($p < 0,01$), posiblemente debido a las condiciones ideales para la volatilización. También altos contenidos de Ca que, unidos

a los de P, dan lugar a la formación de compuestos insolubles ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), al igual que de carbonatos insolubles de Ca, Mg y microelementos, generando problemas nutricionales.

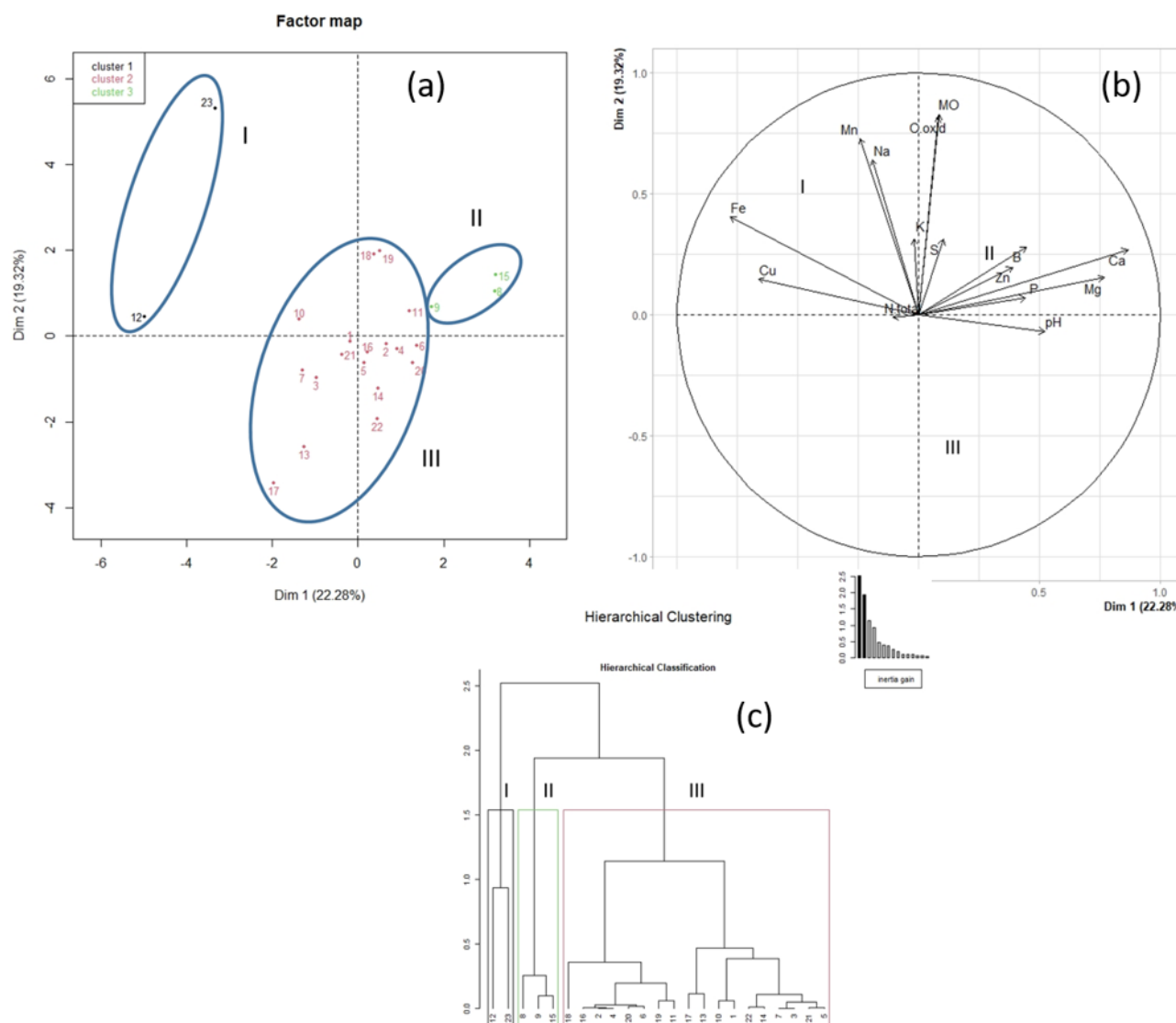


Figura 4. Ordenación de los puntos de muestreo (10-20 cm) de suelos en función a las variables Zona Bananera. (a) nivel de relación lineal entre predios basada en las diferentes muestras, (b) proyección vectorial de las variables medidas, (c) agrupación de los predios en función a las variables. **Fuente:** Autores

El grupo III, con pH prácticamente neutro, mostró medios contenidos de MO y bajos de N inorgánico ($p < 0,01$), de los que se puede esperar moderada disponibilidad de P. En la figura 5 se observan relaciones entre el conjunto de variables medidas en cada profundidad. El color azul significa asociación positiva y el rojo, inversa o negativa. En la profundidad 1 (0 - 10 cm), el Cox y la MO se correlacionaron negativamente ($p < 0,01$) con el pH, sugiriendo incrementos en los

parámetros medidos a medida en que el pH se torna ácido; A su vez, el Cox y la MO se relacionaron positivamente con P, Ca, Mg, K, Mn, Cu y S.

Lo encontrado permite verificar el papel de la materia orgánica en la retención y estabilidad de los elementos en el suelo, y en la disponibilidad (movilidad) de éstos hacia las plantas (Wiatrowska & Komisarek, 2019); toda vez que la biodisponibilidad de nutrientes,

principalmente de los microelementos, está influenciada por las propiedades físicas del sistema suelo (Olivares et al. 2022) y estas, a su vez, por el contenido de materia orgánica del mismo (Kebonye, et al., 2020), lo que resulta de vital importancia para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, en los que el secuestro y la emisión de gases efecto invernadero cobran especial atención (Ondrasek et al., 2019). Lo encontrado sugiere que el pH y el contenido de materia orgánica influyen en la movilidad y disponibilidad de los elementos en el continuo suelo-planta y, por ello, su interacción es esencial para evitar la degradación del recurso. Según Olivares et al. (2022), este tipo de propiedades del suelo, en conjunto con las propiedades morfológicas de campo, proporcionan una herramienta valiosa para estudiar una variedad de características del suelo, incluidas las relacionadas con el desarrollo del suelo en áreas agrícolas, debido a la facilidad y rapidez con que se pueden describir.

En la profundidad 1, el N mostró asociación positiva ($p < 0,01$) con Cox, MO, Na, S y NH_4^+ , revelando que las concentraciones de N en el suelo tienen un impacto positivo en

las concentraciones de los otros elementos nutrientes (Hamnér et al., 2017) y negativo con pH y contenidos de Fe, los cuales fueron particularmente altos en algunos sitios muestreados, que muestran reacción ácida con deficiencia de nutrientes como Ca, P, Mg y K. En la profundidad 2 (10 - 20 cm), la materia orgánica mostró correlación positiva ($p < 0,01$) con los contenidos de Coxid, Na, S, Ntotal y NH_3^- , además de Mg, Fe, Cu, Zn y B; resaltando su papel como fuente y almacén de estos elementos, como lo evidencia Ondrasek et al. (2019).

Adicional a lo enunciado, el N mostró asociación positiva con los contenidos de P y Mg, lo que permite verificar que contenidos altos de N en el suelo no reducen otros de vital importancia para las plantas (Hamnér et al., 2017); a su vez, se relacionó de forma negativa con Na, lo que concuerda con Murtaza et al. (2017) quienes afirman que su presencia, en forma intercambiable, puede limitar la producción agrícola; entre otras causas, por el daño físico a los suelos que generan condiciones reductoras y, con ello, favorecen los procesos de desnitrificación con pérdida de N a la atmósfera.

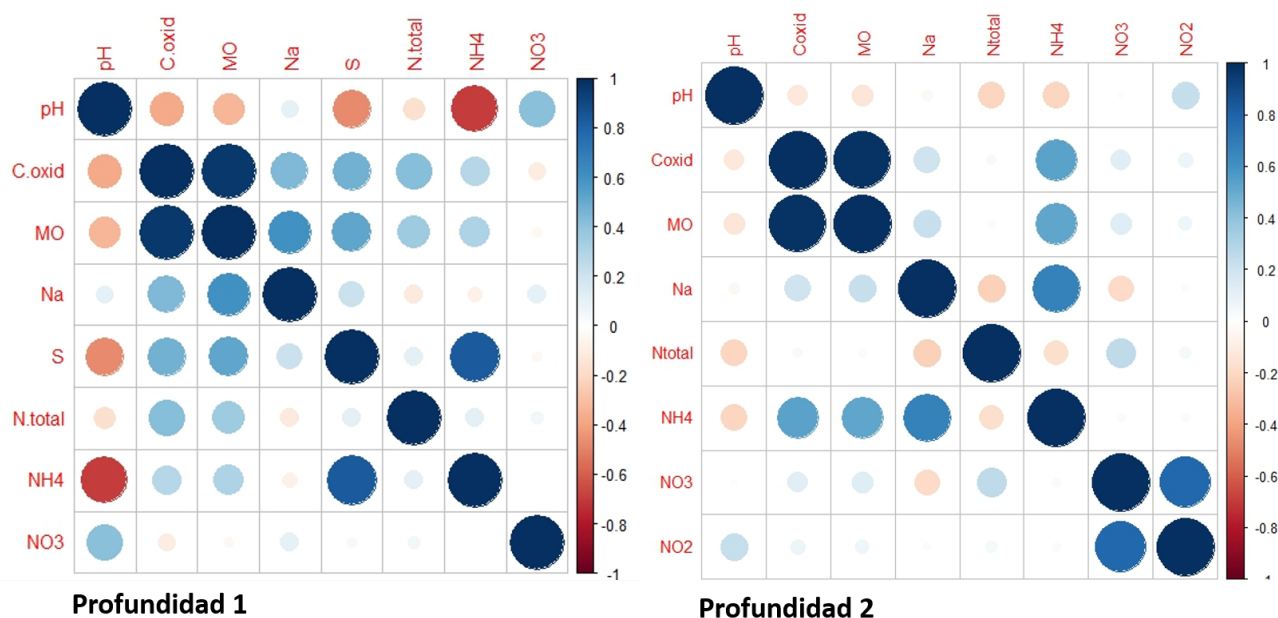


Figura 5. Análisis de correlación de Pearson de elementos y contenidos de C, N y MO en Zona Bananera. Se muestran aquellas variables que resultaron con alto nivel de significancia ($p < 0,01$). **Fuente:** autores



En resumen, para la búsqueda de mejoras en la productividad del banano y los demás cultivos en regiones tropicales, y la selección de áreas realmente aptas para el óptimo desarrollo de estos, es fundamental realizar estudios que contemplen la caracterización del suelo, como el realizado en esta investigación, en cuanto a propiedades o atributos importantes dentro del agroecosistema. Tal como lo reportan los avances de Olivares (2016), mediante el establecimiento de modelos de propiedades de suelo que repercuten en la productividad de los cultivos (Olivares, Araya-Alman et al., 2020; 2022) y en su relación con las características económicas, sociales y la sostenibilidad de esas zonas (Olivares, Pitti et al., 2020; Olivares & Hernández, 2019).


Priorización de alternativas. A partir de la valoración de los expertos y de los referentes teóricos, se seleccionaron aquellas variables que ejercen mayor grado de influencia sobre el problema e inciden en la zona de estudio, priorizando las siguientes: prácticas agrícolas, condiciones climáticas y características edáficas. Así mismo, el manejo de N debe ser cuidadoso, al ser este el nutriente principal que entra a la cadena trófica por distintas vías; ya que pasa al suelo en forma de amonio y óxidos, puede ser fijado biológicamente por simbiosis, ser incorporado por las plantas y, una vez mueren estas, dar continuidad al ciclo de materia orgánica; siendo, por esto, fundamental en la sostenibilidad del sistema.

El suelo tiene capacidad de proteger la materia orgánica de la degradación, a través de sus partículas minerales, sin embargo, esa capacidad de amortiguación es limitada. Las tasas de mineralización del carbono (C) y del nitrógeno (N) en el suelo dependen de varios factores: uno de ellos es la concentración de C, primordial en la relación C/N que marca la dinámica de la materia orgánica (mineralización e inmovilización) mediante mecanismos que se dan simultáneamente en el suelo. Al respecto, Matus y Maire (2000) concluyeron que la mineralización del suelo depende del grado de saturación y el contenido de MOS, más que de la textura de éste; y Fernández et al. (2007) y Ojeda et al. (2015) estiman que la formación de sustancias húmicas en suelos modificados con lodos, utilizados como enmienda orgánica para la

restauración, puede explicar las reservas de carbono orgánico que contribuyeron al secuestro efectivo de carbono en los incrementos del COS, demostrando que la estabilidad de los agregados del suelo fue mayor en los suelos tratados con lodos.

Así, la presencia de residuos orgánicos carbonados de calidad y cantidad es base para la acumulación de MOS estable, y la resiliencia de los sistemas y un incremento o merma del contenido de N mineral disponible altera la relación C/N (Ondrasek et al., 2019; Hamnér et al., 2017; Murtaza et al., 2017). Considerando que el N orgánico es soluble en el agua, puede estar sujeto a lavado y lixiviación, así como el amonio y los óxidos pueden liberarse hacia la atmosfera en emisiones gaseosas. Por eso es importante minimizar pérdidas en el sistema suelo – planta y así mantener la sostenibilidad del agroecosistema, tal como lo expresan Murtaza et al. (2017).

Por lo anterior, las alternativas sugeridas buscan promover el uso racional de fertilizantes nitrogenados, teniendo en cuenta que existen formas heterogéneas de incorporar N al sistema, y también a disminuir pérdidas para no reducir los niveles de producción. Acorde con lo descrito se propuso:

- Optimizar la eficiencia de fertilizantes de acuerdo con las características edáficas (textura, erosión hídrica, infiltración del agua en el suelo, CIC, MO, pH, temperatura del suelo, entre otros) y los criterios técnicos de nutrición vegetal.
- Monitorear los niveles de N y C en los suelos de la zona de estudio, y cambios en otras variables.
- Fomentar la incorporación de N en formas diferentes, como la fijación simbiótica usando coberturas vegetales con leguminosas y el empleo de inhibidores de ureasa.
- Regular el tiempo, cantidad y calidad de agua para riego de los cultivos.
- Fomentar la incorporación de materia orgánica estabilizada (humus) que proporcione mayor resiliencia del sistema y menor impacto ambiental. 

CONCLUSIONES

Respecto de la concentración de macro y microelementos, y su relación con contenidos de C, N y MO en los suelos el municipio Zona Bananera (Magdalena), los resultados evidencian que, al compararse con los estándares de referencia, presentan contenidos medios de MO y niveles altos de nitratos, especialmente en las fincas bananeras. Lo que indica la necesidad de implementar monitoreos para la concentración de N e incorporar más prácticas para aumentar el contenido de C en el suelo, en pro de mantener su relación y la sostenibilidad en la producción agrícola. Igualmente, la incorporación de tallos y restos de cosechas al cultivo del banano son actividades agrícolas que proporcionan carbono y nitrógeno al suelo, indispensables para mantener el ciclo de la MO, por lo cual debe continuar y reforzarse con más adición de MO.

En síntesis, este estudio tiene relevancia agronómica (expresada en propuestas para mejorar el sistema productivo), ya que tiene el fin de garantizar la obtención de productos de calidad, enfatizando en el uso correcto de fertilizantes. Además, presenta preponderancia ambiental (contribuyendo a garantizar la producción sostenible de cultivos en la región) y social, pues permite la unión entre la academia, la investigación y la experticia de los productores para analizar y encontrar puntos de acuerdo con problemas que afectan a las comunidades y, de esta forma, tomar las mejores decisiones posibles.

Así mismo, tiene gran utilidad metodológica debido a que proporciona nuevos enfoques para estudiar el evento o

tema. Por otra parte, la conveniencia de este estudio está orientada al manejo sostenible del recurso edáfico, toda vez que se identifica la concentración de nutrientes y sus posibles relaciones. Esto es de vital importancia para su manejo eficiente y el sostenimiento de la productividad del territorio con un enfoque de diagnóstico participativo, que permita encontrar soluciones desde diferentes miradas y seleccionar las prácticas de manejo sostenible con las condiciones edafoclimáticas existentes. Por último, este estudio incrementa el conocimiento existente, se desarrolla gracias o apoya a fundamentos teóricos ya conocidos, también puede aplicarse en otras instituciones, comunidades u organizaciones agrícolas de Colombia.

Recomendaciones: De acuerdo con las conclusiones, se debe reducir la sobreestimación de N en la producción agrícola de la zona de estudio; investigar la respuesta de los cultivos a las condiciones edafoclimáticas del área; y la respuesta a fuentes, dosis, y sistema de aplicación de fertilizante, sin desvincular el cultivo del ecosistema. Las alternativas propuestas están en línea frente a las acciones de mitigación a fenómenos de cambio climático y demandan la instalación e investigación en sistemas de monitoreo y pronósticos que faciliten acceder al estudio de variables agroclimáticas; así como la adopción de tecnologías limpias y de buenas prácticas agrícolas que incorporen áreas de biodiversidad en sus unidades productivas, junto a la planificación del sistema de producción acompañada de políticas gubernamentales.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Sonia Esperanza Aguirre Forero: Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original.

Nelson Virgilio Piraneque Gambasica: investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Rosmery Cruz O'Byrne: revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Magdalena en Santa Marta, Colombia, por la financiación del proyecto de investigación a través de la convocatoria Fonciencias - 2019.

LITERATURA CITADA

Aguirre, S. E., Piraneque, N. V. & Díaz, C. J. (2019). Valoración del Estado del Suelo en Zona de Bosque Seco Tropical Mediante



- Técnicas Analíticas y Cromatogramas. *Información tecnológica*, 30(6), 337-350. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600337>
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V. & Ramírez, S. I. (2018). Parámetros edáficos asociados al daño por *Micosphaerella fijiensis* Morelet en la Zona Bananera del Magdalena (Colombia). *Revista Espacios*, 39(26), 18.
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V. & Vásquez, J. (2018). Características Edáficas y Su Relación Con Usos Del Suelo En Santa Marta, Colombia. *Entramado*, 14(1), 242-250, <https://doi.org/10.18041/Entramado.2018v14n1.27141>
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V. & Rodríguez, J. (2015). Relationship between the nutritional status of banana plants and black sigatoka severity in the Magdalena region of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 33(3), 348-355. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n3.51900>
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V. y Menjivar, J. (2012). Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en la zona bananera del Magdalena-Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3, 13-25.
- Assunção, S. A., Pereira, M. G., Rosset, J. S., Berbara, R. L. L. & García, A. C. (2019). Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. *Science of the Total Environment*, 658, 901-911. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.271>
- Barati, A. A., Azadi, H., Dehghani, M., Lebailly, P. & Qafori, M. (2019). Determining Key Agricultural Strategic Factors Using AHP-MICMAC. *Sustainability*, 11(14), 3947. <https://doi.org/10.3390/su11143947>
- Barberena, I. M., Espindula, M. C., De Araújo, L. F. B. & Marcolan, A. L. (2019). Uso de inibidores de urease para reduzir a volatilização de amônia em solos amazônicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54, 1-9. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00253>
- Bertsch, F. (1986), *Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Cerón, L. y Aristizábal, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.
- Dalal, S. G., Shirodkar, P. V., Jagtap, T. G., Naik, B. G. & Rao, G. S. (2010) Evaluation of significant sources influencing the variation of water quality of Kandla creek, Gulf of Katchchh, using PCA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 163, 49-56.
- Do Nascimento, C. A. C., Pagliari, P. H., Faria, L. D. A. & Vitti, G. C. (2018). Phosphorus mobility and behavior in soils treated with calcium, ammonium, and magnesium phosphates. *Soil Science Society of America Journal*, 82(3), 622-631. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0211>
- Fernández, J. M., Hernández, D., Plaza, C. & Polo, A. (2007). Organic matter in degraded agricultural soils amended with composted and thermally-dried sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 378, 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.008>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- García, F. (2015). Criterios para el manejo de la fertilización de la soja. *Informaciones agronómicas*, 27, 1-5. <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/criterio-para-el-manejo-de-la-fertilizaci-1.pdf>
- Hamnér, K., Weih, M., Eriksson, J. & Kirchmann, H. (2017). Influence of nitrogen supply on macro-and micronutrient accumulation during growth of winter wheat. *Field crops research*, 213, 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.002>
- Hasanuzzaman, M., Borhannuddin, M. H. M., Nahar, K., Hossain, M. D. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. D. S., Chowdhury, A. A., Fujita, M. & Fujita, M. (2018). Potassium: a vital

regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras, Departamento del Magdalena. Imprenta Nacional de Colombia.

Kebonye, N. M., Eze, P. N., Ahado, S. K. & John, K. (2020). Structural equation modeling of the interactions between trace elements and soil organic matter in semiarid soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), 2205-2214. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02610-1>

Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4) 2012-222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>

Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global, Climate Change and Food Security. *Science*, 304, 1623-1627, <https://doi.org/10.1126/science.1097396>

Manabe, S. (2019). Role of greenhouse gas in climate change. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 71(1). <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1620078>

Matus, F. J. y Maire, C. R. (2000). Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*, 60(2), 112-126.

Murtagh, F. & Legendre, P. (2011). Ward's hierarchical clustering method: Clustering criterion and agglomerative algorithm. *Journal of Classification*, 31, 274-295. <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>

Murtaza, B., Murtaza, G., Imran, M., Amjad, M., Naeem, A. & Shah, G. M. (2017). Yield and nitrogen use efficiency of rice-wheat cropping system in gypsum amended saline-sodic soil. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(3), 686-701. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000300011>

Ojeda, G., Ortiz, O., Medina, C. R., Perera, I. & Alcañiz, J. M. (2015). Carbon

sequestration in a limestone quarry mine soil amended with sewage sludge. *Soil Use and Management*, 31(2), 270-278. <https://doi.org/10.1111/sum.12179>

Olivares, B. (2016). Descripción del manejo de suelos en sistemas de producción agrícola del sector Hamaca de Anzoátegui, Venezuela. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 23(1), 14-24. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.02>

Olivares, B. & Hernández, R. 2020. Application of multivariate techniques in the agricultural land's aptitude in Carabobo, Venezuela. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2),1-12

Olivares, B. & Hernández, R. (2019). Ecoterritorial sectorization for the sustainable agricultural production of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Carabobo, Venezuela. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 20(2), 339-354. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1462

Olivares, B., Araya-Alman, M., Acevedo-Opazo, C., Rey, J. C., Lobo, D., Landa, B. B. & Gómez, J. A. (2020). Relationship Between Soil Properties and Banana Productivity in the Two Main Cultivation Areas in Venezuela. *Journal of soil science and plant nutrition*, 20(3), 2512-2524. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00317-8>

Olivares, B. y Hernández, R. (2019). Análisis regional de zonas homogéneas de precipitación en Carabobo, Venezuela. *Revista Lasallista de Investigación*, 16(2), 90-105. <https://doi.org/10.22507/rli.v16n2a9>

Olivares, B., Lobo, D., Cortez, A., Rodríguez, M. F. & Rey, J. C. (2017). Socio-economic characteristics and methods of agricultural production of indigenous community Kashaama, Anzoátegui, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 34 (2),187-215. <https://n9.cl/p2gc5>

Olivares, B., Paredes, F., Rey, J., Lobo, D. & Galvis-Causil, S. (2021). The relationship between the normalized difference



vegetation index, rainfall, and potential evapotranspiration in a banana plantation of Venezuela. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 18(1), 58-64. <http://dx.doi.org/10.20961/stjssa.v18i1.50379>

Olivares, B., Pitti, J. & Montenegro, E. (2020). Socioeconomic characterization of Bocas del Toro in Panama: an application of multivariate techniques. *Revista Brasileira de Gestao e Desenvolvimento Regional*, 16(3), 59-71. <https://n9.cl/cugz>

Olivares, B. & Zingaretti, M. L. (2019). Aplicación de métodos multivariados para la caracterización de periodos de sequía meteorológica en Venezuela. *Revista Luna Azul*. 48(1), 172-192. <http://dx.doi.org/10.17151/luaz.2019.48.10>

Olivares, B. O., Calero, J., Rey, J. C., Lobo, D., Landa, B. B. & Gómez, J. A. (2022). Correlation of banana productivity levels and soil morphological properties using regularized optimal scaling regression. *Catena*, 208 (1), 105718. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105718>

Ondrasek, G., Begić, H. B., Zovko, M., Filipović, L., Meriño-Gergichevich, C., Savić, R. & Rengel, Z. (2019). Biogeochemistry of soil organic matter in agroecosystems & environmental implications. *Science of The Total Environment*, 658, 1559-1573. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.243>

R CORE TEAM. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing.

Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics* (7th ed). Pearson. <https://www.pearsonhighered.com/assets/preface/0/1/3/4/0134790545.pdf>.

Vázquez, M. (2005). *Micronutrientes en la Agricultura*. Asociación Argentina de las Ciencias del Suelo.

Vásquez, J. R., Macías, F. y Menjivar, J. C. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 25(3), 175-180.

Wiatrowska, K. & Komisarek, J. (2019). Role of the light fraction of soil organic matter in trace elements binding. *Plos one*, 14(5), e0217077. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217077>

Wang, Y. & Wu, W. H. (2017). Regulation of potassium transport and signaling in plants. *Current opinion in plant biology*, 39, 123-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.006>

Zapata, R. D. y Osorio, W. (2010). La materia orgánica del suelo. En H. Burbano y F. Silva. (Eds.), *Ciencia del suelo: principios básicos* (pp. 357-396). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.







EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS Y ANTAGONISTAS PARA EL MANEJO DE *Eurhizococcus colombianus* EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

EVALUATION OF BIOCONTROLLERS ENTOMOPATHOGENIC AND ANTAGONISTIC FUNGI FOR THE MANAGEMENT OF *Eurhizococcus colombianus* IN VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Astrid Beatriz Narváez Benítez • abnarvaezb@unal.edu.co
Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional de Colombia.

Herney Dario Vásquez Amariles • hdvasqueza@unal.edu.co
Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia.

Pedro Antonio Zapata Ospina • paz0091@gmail.com
Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia.

Ana Milena Caicedo Vallejo • amcaicedova@unal.edu.co
Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional de Colombia.



Citación: Narváez, A., Vásquez, H., Zapata, P. y Caicedo, A. (2022). Evaluación de hongos entomopatógenos y antagonistas para el manejo de *Eurhizococcus colombianus* en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 113 – 124. DOI:<https://doi.org/10.22490/21456453.5398>

RESUMEN

Contextualización: La mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) es una de las frutas de mayor comercialización e importancia en Colombia y en toda la zona Andina. Este cultivo es afectado por *Eurhizococcus colombianus*, un insecto plaga presente en la mora y en otros cultivos como tomate de árbol, lulo y uva entre otros.


Vacío de conocimiento: No se conoce la efectividad de los biocontroladores en el manejo de *Eurhizococcus colombianus* en condiciones de campo.

Propósito: Evaluar la efectividad de *Metarhizium anisopliae robertsii* e *Isaria fumosorosea* contra *Eurhizococcus colombianus*, usando productos comerciales con dos métodos de aplicación.

Metodología: La investigación se realizó en la finca Altamira del municipio de Guacarí (Valle del Cauca), localizada a los 2 990 m.s.n.m. Se seleccionaron 120 plantas, y se tomó una muestra de individuos de *E. colombianus* para la reactivación de los hongos en laboratorio. Adicionalmente, se evaluó la población inicial, antes de la aplicación de los tratamientos, en un diseño experimental de parcelas subdivididas con arreglo factorial 4 x 2 x 2. Posteriormente, las evaluaciones se llevaron a cabo cada ocho días, a partir del mes de la primera aplicación, durante un periodo de mes y medio.

Resultados y conclusiones: Se encontró que la población inicial promedio de *E. colombianus* era de 31 individuos, en

diferentes estadios, en las 120 plantas. Los estadios con mayor frecuencia encontrados fueron el primero y el segundo, desde el cuello de la raíz hasta una profundidad de 80 a 120 cm. El tratamiento y método que tuvo mayor efectividad sobre *E. colombianus* fue *M. robertsii* aplicado con inyector, con el que se obtuvo un promedio del 78 % de individuos muertos, seguido *I. fumosorosea*

con un promedio de 75 %. En contraste, el tratamiento *M. robertsii* aplicado con bomba fue el que presentó el menor promedio de individuos, con un total de 17 % de individuos muertos por los hongos al cabo de 45 días. 

Palabras claves: Antagonismo; *Isaria fumosorosea*; *Metarhizium robertsii*; *Paecilomyces fumosorosea*; patogenicidad; infestación

ABSTRACT


Contextualization: The andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth) is one of the fruits of greater commercialization and importance in Colombia and in the entire Andean zone. This crop is affected by *E. colombianus*, an insect pest present in blackberry and other crops such as tree tomato, lulo, grape among others.

Knowledge gap: The effectiveness of biocontrol agents in controlling *E. colombianus* under field conditions is not known.

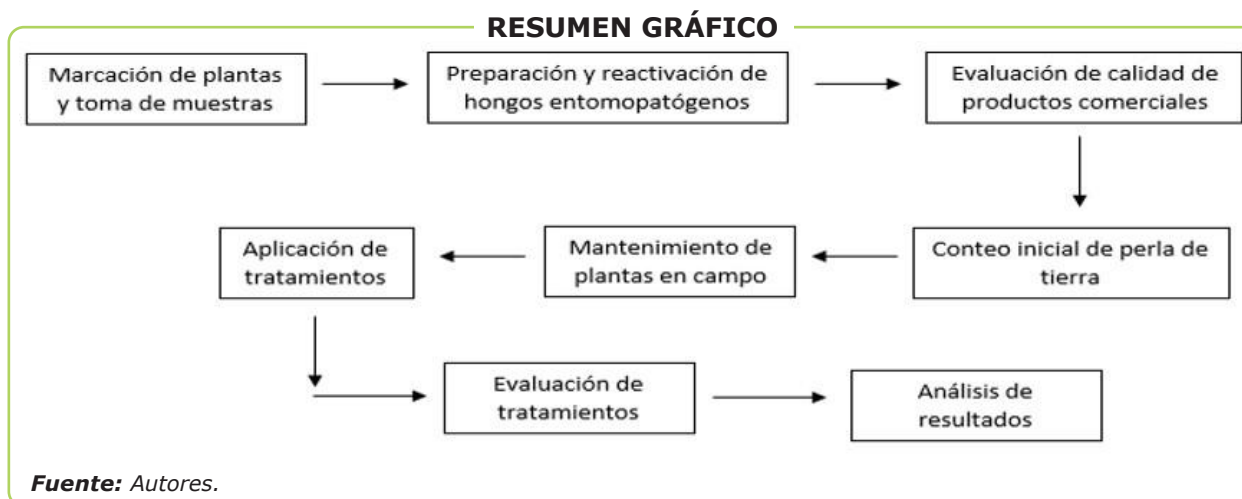
Purpose: Evaluate the effectiveness of the native biocontrol agents *Metarhizium robertsii* and *Isaria fumosorosea* using commercial products with two application methods.

Methodology: The research was carried out at the Altamira Farm, in the municipality of Guacarí (Valle del Cauca), located at 2.990 meters above sea level. 120 plants were selected, and sample of individuals of *E. colombianus* was taken for reactivation of the fungi in the laboratory. Additionally, the initial population was evaluated, before applying

the treatments, in an experimental design of subdivided plots with a 4 x 2 x 3 factorial arrangement. Later, evaluations were carried out every eight days from the month of the first application, and over a period of a month and a half.

Results and conclusions: The average initial population of *E. colombianus* was about 31 individuals, at different stages, in the 120 plants. The most frequently found stages were the first and second, from the root neck to a depth of 80 to 120 cm. The treatment and method that had the greatest effectiveness on *E. colombianus* was *Metarhizium robertsii* applied with an injector, which caused an average of 78 % of dead individuals, followed by *I. fumosorosea* with an average of 75 %. In contrast, the *M. robertsii* treatment applied. With a pump was the one that presented the lowest average number of individuals, with a total of 17% of individuals killed by the fungi after 45 days. 

Keywords: Antagonism; *Isaria fumosorosea*; *Metarhizium robertsii*; *Paecilomyces fumosorosea*; pathogenicity; infestation



1. INTRODUCCIÓN

La mora (*Rubus glaucus* Benth) es uno de los cultivos más importantes para la economía rural en zonas alto-andinas de Colombia. La mora de Castilla es cultivada por agricultores, de economía campesina, en zonas de ladera del Valle del Cauca (1.800 – 2.400 m.s.n.m.), Colombia. En regiones como Ginebra y Guacarí adquirió importancia este cultivo por área y producción, desde los años 1960, posibilitando la expansión del cultivo y la asociación de los productores en cooperativas (Federación Nacional de Cafeteros, 1985). Sin embargo, su desempeño ha estado limitado por el daño que causa *Eurhizococcus colombianus* (Jakubski, 1965) (Hemiptera: Margarodidae), insecto de hábito subterráneo [denominado cochinilla o perla de tierra colombiana], el cual fue registrado como plaga de importancia económica desde hace más de 30 años (Posada et al., 1978) al ocasionar pérdidas estimadas entre 10 y 15 %, es decir, entre 1 y 2 ton/ha/año de la producción total nacional de mora (12,5 ton/ha/año) para el año 2005 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Minagricultura], 2011).

La perla se alimenta de la savia elaborada presente en las raíces de plantas hospederas. Este grupo de insectos se caracteriza por presentar un segundo estadio de ninfa y sésil, llamado quiste, y poseer patas protorácicas fuertes para excavar en estado adulto. Los margarodidae, se alimentan en el primer periodo de ninfas y de quiste, mientras que en el estado adulto no se alimentan al estar desprovistos de aparato bucal. La

reproducción puede ser sexual o asexual, y los ciclos como ninfas pueden ser de tres a cinco en hembras y cinco en machos. La mayoría de las especies son univoltinas y, en algunos casos, el ciclo puede durar hasta tres años (Foldi, 2005).

El manejo en campo de este insecto se ha enfocado (casi exclusivamente) en el uso de insecticidas de síntesis química con altos niveles de toxicidad, tanto para el agricultor como para el medio ambiente y el consumidor. Por lo anterior, es necesario presentar alternativas de manejo que sean diferentes a los productos químicos; siendo los agentes de control biológico, una alternativa viable para disminuir los efectos contaminantes, disminuir las pérdidas y mejorar la calidad del cultivo (Foldi, 2005). En la búsqueda de estrategias de manejo se ha evaluado el efecto de tensoactivos, insecticidas, extractos vegetales como repelentes y recientemente los hongos entomopatógenos sobre ninfas (Aristizábal y Guarín, 2012; Meneses et al., 2012; Ardila et al., 2012; Perengüez et al., 2010), demostrando que los insecticidas no son la única alternativa de manejo disponible para los productores.

Los hongos entomopatógenos como *Metarhizium robertsii*, *Isaria fumosorosea* (*Paecilomyces fumosorosea*) (Zimmermann, 2008), evaluados en laboratorio e invernadero (Perengüez et al., 2010; Zapata, 2013), fueron los que mejores resultados mostraron contra la perla de tierra. Sin embargo, aún no se cuentan con estudios sobre su efectividad en campo. Por tanto, el objetivo principal

de este estudio fue evaluar el antagonismo y la patogenicidad de cepas de hongos de *Metarhizium robertsii* e *I. fumosorosea* contra *Eurhizococcus colombianus* utilizando dos métodos de aplicación (aspersión al suelo e inyección)¹.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio, marcación de plantas y toma de muestras del insecto

La investigación se desarrolló en la Finca Altamira, vereda La Magdalena, en el municipio de Guacarí. Está localizada a 2990 m.s.n.m (N 03°07'97.320" N, O 076°01'97.631" O), con una precipitación anual de 1465 mm, temperatura promedio 16 ± 5°C y una humedad relativa de 80 ± 5 %. Se marcaron 120 plantas individualmente para su trazabilidad con respecto a las muestras y los niveles de población de la especie plaga. Las actividades de laboratorio se realizaron en la empresa Agricultura Biológica del municipio de Buga, Valle del Cauca, con la colaboración de Nancy Cardozo, T. A.

Fase de laboratorio

Preparación y multiplicación de hongos entomopatógenos en laboratorio

Se utilizaron las cepas de *M. robertsii* (UN-MP1) e *I. fumosorosea* (*P. fumosorosea*) (UN-IP1) del cepario del laboratorio de Biología Molecular (UN-Palmira). La activación se realizó en el laboratorio sobre estadios de perla de tierra colectados en campo.

Reactivación de hongos entomopatógenos nativos

Se tomaron muestras de suelo con

1. Aunque no se han establecido, en forma precisa, los síntomas del daño causado por este insecto en la parte aérea de la planta, autores como Castaño (2000), Carvajal (2002) y Osorio (2005) reportaron que las plantas de mora infestadas por la perla de tierra presentan nudosidades en las raíces que bloquean la respiración y la nutrición. Como consecuencia de ello, algunas plantas exhiben síntomas de clorosis, defoliación, raquitismo, enanismo, menor emisión de tallos, escasa floración o disminución de la producción, frutos pequeños y secos. Finalmente mueren (Castaño, 2000; Carvajal, 2002; Osorio, 2005). Entre otras limitantes del cultivo se destacan las malas prácticas de manejo, como la multiplicación vegetativa por raíces o cepas y el acodo de punta con suelo extraído de lotes infestados (Guarín y Carvajal, 2002).

presencia de perla de tierra, las cuales se sometieron a un periodo de cuarentena para obtener los individuos infectados naturalmente y realizar el aislamiento y purificación de los hongos entomopatógenos. Paralelamente, los hongos almacenados se sembraron en agar de papa y dextrosa [APD] con antibiótico (Cloranfenicol). Posteriormente, los individuos inoculados con las cepas almacenadas, una vez reactivados, se pasaron a sustrato de arroz hasta obtener la concentración de esporas (1 x 10⁹ conidias/ml).

Evaluación de calidad de los productos comerciales

Se realizó la prueba de calidad de las presentaciones comerciales de los hongos entomopatógenos Safer soil WP, el cual contiene como ingrediente activo *Trichoderma asperellum*, *T. atroviride* y *T. harzianum* en una concentración de 5x10⁸ conidias/g, y *Purpureocillium lilacinum* en una concentración de 5x10⁸ conidias/g; más aditivos como talco y dispersante en csp 100 %. Otro producto comercial fue el Metagan WP, con ingrediente activo *M. robertsii* en una concentración de 1x10⁸ conidias/g y un ingrediente inerte como microtalco estéril c.s.p. Se realizaron diluciones para conteo de esporas con cámara de Neubauer o hemocitómetro, como lo indican Marín y Bustillo, (2002).

Fase de campo

Evaluación de la población inicial de individuos

Las muestras se colectaron con pala en la zona circundante al cuello de las plantas, la cual se dividió en un cuadrante para determinar la población inicial del insecto. En cada cuadrante se evaluaron las raíces primarias a una profundidad no mayor de 40 cm; seguidamente, se localizaron las raíces secundarias y se contabilizaron los individuos adheridos a las mismas. Se estableció que las raíces muestreadas deberían tener como mínimo cinco individuos del insecto. Las muestras se llevaron al laboratorio donde se realizó el conteo de los individuos en las muestras rotuladas por cada planta. El conteo se hizo bajo el esteroscopio-microscopio Leica Zoom 2 000. Además, se separaron cada uno de los estadios presentes en las muestras por planta con un peso aproximado entre los 45 y 55 g.



Mantenimiento de plantas en campo

Las plantas en campo contaron con labores agrícolas como podas, plateo y fertilización química, con la combinación 10-30-10 y Agrimins a razón de 200 g de fertilizante por planta.

Aplicación de tratamientos en campo

Las aplicaciones en campo se llevaron a cabo con los siguientes tratamientos: *M. robertsii*

(4 g/l), *I. fumosorosea* (4 g/l), la mezcla de los dos hongos (MZ) (4 g/l) y un producto de cepas comerciales: *Trichoderma asperellum*, *T. atroviride* y *T. harzianum* (4 gr/l).

Se realizaron tres aplicaciones de los tratamientos con un intervalo de ocho días cada uno, un mes después de la primera aplicación se realizó el muestreo para determinar el efecto del tratamiento.

Tabla 1. Tratamientos aplicados en campo con los dos métodos de aplicación.

Tratamiento aplicado con inyector	Tratamiento aplicado con bomba
1. <i>I. fumosorosea</i> inyectado (IFI)	2. <i>I. fumosorosea</i> bomba (IFB)
3. Mezcla inyectado (MZI)	4. Cepas comerciales bomba (CCB)
5. <i>M. robertsii</i> inyectado (MTI)	6. <i>M. robertsii</i> bomba (MTB)
7. Cepas comerciales inyectado (CCI)	8. Mezcla bomba (MZB)

Fuente: Autores

El volumen de agua y producto necesario para la aplicación en las 120 plantas fue de 8.5 l y 34 g de cada producto por tratamiento. Las aplicaciones fueron realizadas con dos métodos de aplicación: bomba de aspersión e inyector (Figura 1).



Figura 1. Aplicación de tratamientos con (a) bomba. (b) Inyector.

Fuente: Autores

Evaluación de los tratamientos

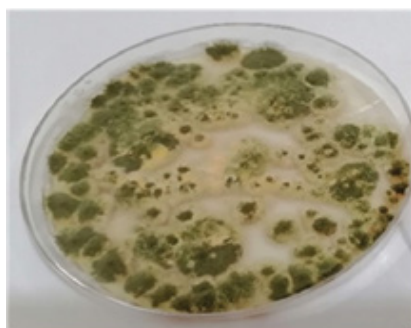
Se realizaron tres evaluaciones de cada uno de los tratamientos, con una frecuencia de 15 días. El área de la gotera de cada planta muestreada se dividió en cuatro cuadrantes, de los cuales se tomó una muestra de suelo y raíces. Las muestras se depositaron en bolsas plásticas, rotuladas y selladas para su traslado al laboratorio, con el fin de su procesamiento y evaluación. Por cada tratamiento se tomaron muestras de suelo de tres plantas, obteniendo un total de 24 muestras.

El procesamiento en laboratorio consistió en la separación y conteo de los estadios del insecto. A algunos se les realizó confinamiento en cámaras húmedas y otros se dejaron en suelo, a capacidad de campo, para observar la patogenicidad del hongo bajo esas dos condiciones. La evaluación del efecto del tratamiento se realizó semanalmente, registrando el número de individuos vivos, muertos con hongo y muertos sin hongo para su posterior análisis, de acuerdo con la metodología de Zapata (2013).

Cada una de las muestras evaluadas se clasificaron de acuerdo con el número de individuos, mediante una escala de 1 a 5. Siendo 1 con menos de 10 individuos, 2 con 10 a 20 individuos, 3 con 21 a 30 individuos, 4 con 31 a 40 individuos y 5 con más de 41 individuos en cualquier estadio (Figura 2).

Nivel	No de Individuos
1	Menos de 10 individuos
2	10 a 20 individuos
3	21 a 30 individuos
4	31 a 40 individuos
5	Más de 41 individuos

Figura 2. Escala de individuos por raíces de plantas de mora. **Fuente:** Autores



(a)



(b)

Figura 3. (a) *Metarhizium robertsii*.
(b) *Isaria fumosorosea*.

Fuente: Autores

Igualmente, se registró el número de individuos por cada estadio que se encontraba en mayor proporción. Una vez separados, se continuó con la evaluación del efecto de cada uno de los tratamientos. En las cámaras húmedas se evaluó la patogenicidad de los hongos, para lo cual se tuvo en cuenta la sintomatología de los diferentes hongos sobre el insecto. De cada muestra se registró: n.º de individuos totales, n.º de individuos vivos, n.º de individuos muertos sin hongo y n.º de individuos muertos con hongo.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diseño fue de parcelas subdivididas con arreglo factorial 4 x 2 x 2. Los factores evaluados fueron: factor 1 = 4 cepas de estudio, factor 2 = 2 métodos de aplicación y factor 2 = 2 dosis de aplicación. El total de plantas fue de 120, a ocho de ellas no se les aplicó ningún tratamiento. De acuerdo con el arreglo factorial quedaron 116 plantas, de las cuales se tomaron 14 plantas, y cada una considerada una repetición. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y separación de medias con prueba de Tukey, mediante el programa Origin-Pro 2019 (esto se trabajó durante el periodo de prueba del paquete estadístico) y RStudio Desktop 1.3.1093.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Preparación y multiplicación de hongos entomopatógenos en laboratorio

Las cepas de *M. robertsii* (UN-MP1) e *I. fumosorosea* (*P. fumosorosea*) (UN-IP1) se reactivaron sobre individuos del insecto colectado en campo. Cada hongo se preparó con una concentración de 1×10^9 conidias/ml (Figura 3).



Evaluación de calidad de los productos comerciales

Los productos comerciales Safer Soil y Metagan presentaron una concentración de esporas de 3×10^7 conidias/g y 5×10^6 conidias/g; 95 % de germinación y 80 % de pureza y 95 % de germinación y 95 % de pureza, respectivamente.

Fase de campo

Población inicial de perla de tierra

La población inicial de la especie plaga, en las 120 plantas muestreadas, fue en promedio de 31 individuos/planta en los diferentes estadios.

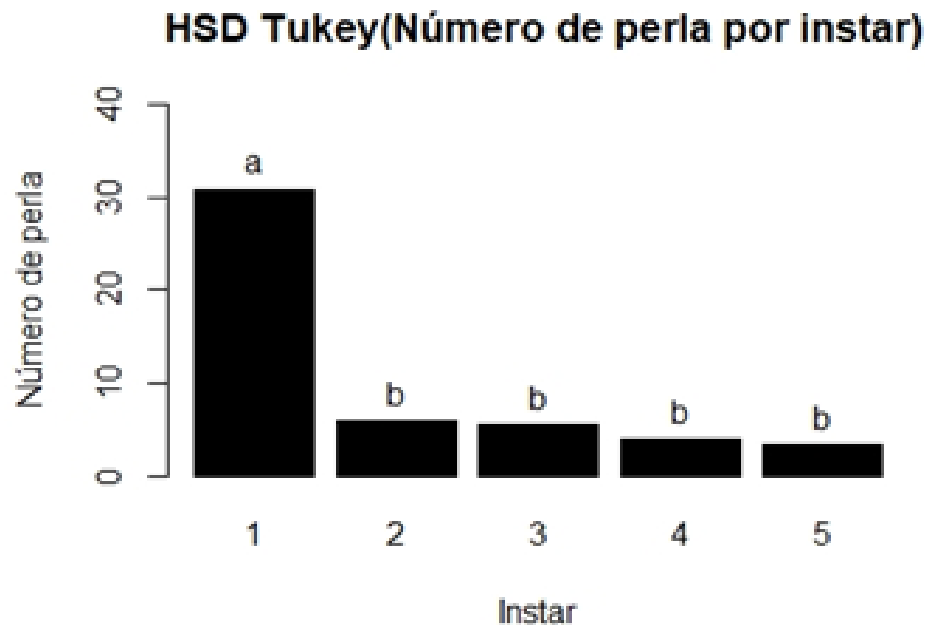


Figura 4. Número de individuos por instar (1 gateador o primer estadio y 5 hembras adultas).

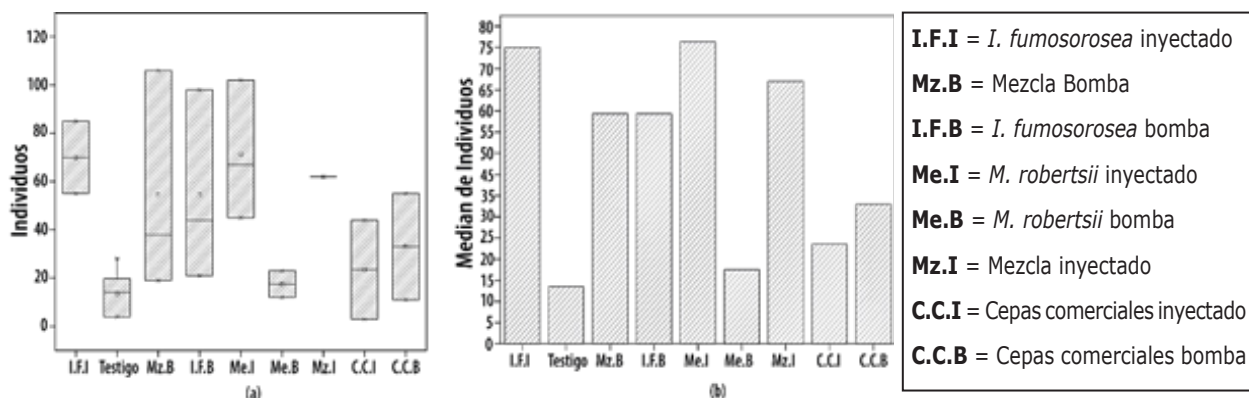
Fuente: Autores

Los resultados mostraron que el ciclo 1 fue el que predominó en la población inicial (Figura 4) con un promedio de 30 individuos. El resto de estadios no presentaron diferencias, con un promedio entre 6 y 7 individuos ($P < 0,05$). Zapata (2013) mencionó que la presencia de gateadores puede estar favorecida por las condiciones de precipitación, influyendo estas en el comportamiento para la búsqueda de la planta hospedera y así conseguir una mayor supervivencia y movilidad dentro del cultivo. El hallazgo de todos los estadios de *E. colombianus* encontrados concuerda con lo dicho por Osorio (2005), quien mencionó que se presentan las diferentes etapas, empezando desde la 1 y terminando en la 5.

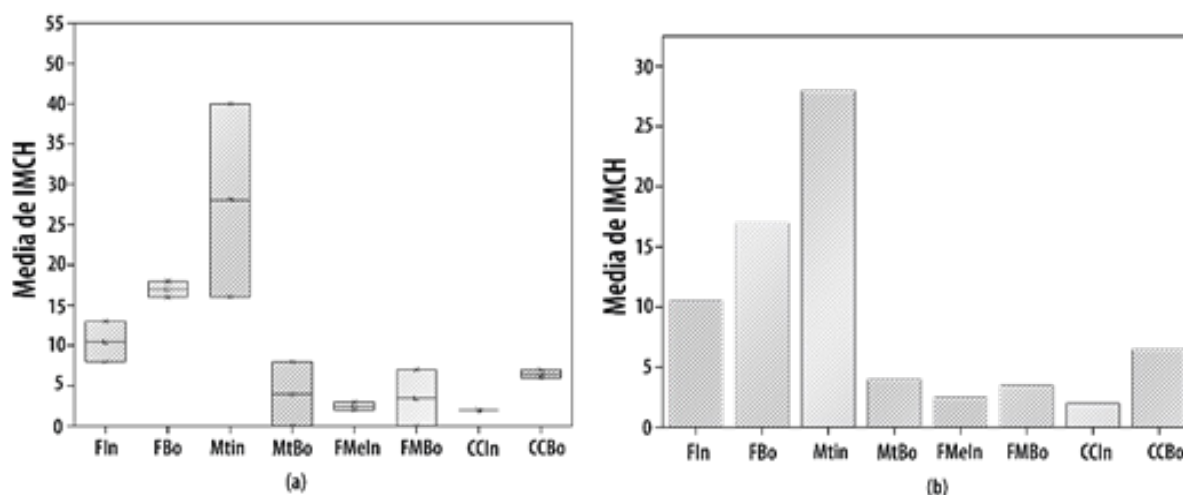
APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS EN CAMPO

Evaluación de tratamientos

El análisis de los datos mostró que los tratamientos Me.I (*M. robertsii* inyectado) y I.F.I (*I. fumosorosea* inyectado) causaron la mayor patogenicidad de *E. colombianus*, con promedios de 78 y 75 individuos respectivamente. En contraste, el tratamiento Me.B (*M. robertsii* bomba) fue el que presentó el menor promedio de individuos, con un total de 17 (Figuras 5a y b); aunque el uso de cepas comerciales (Metagan y Safersoil), aplicados tanto con inyector como con bomba, arrojó promedios de 23 y 33 individuos muertos respectivamente. (nivel de confianza 90 % y $P < 0.05\%$).



Individuos muertos con hongo (Patogenicidad)



Los resultados mostraron (Figura 6) que, de los cuatro tratamientos aplicados, el hongo *M. robertsii* (cepa nativa obtenida en laboratorio) aplicado con inyector fue el que causó mayor mortalidad, tanto en cámara húmeda como en las muestras de suelo a capacidad de campo, con un total del 40 % individuos muertos; una cifra cercana a lo mencionado por Carneiro et al. (1994), quienes encontraron que la mortalidad causada por *M. robertsii* fue de 30 %.

Isaria fumosorosea aplicado con bomba causó 18 % de individuos muertos; lo cual coincide con lo encontrado por Zapata (2013), quien encontró que la mortalidad causada por *I. fumosorosea* fue de 19.3

% en individuos de *E. colombianus*. En contraste, se observó que el tratamiento con cepas comerciales aplicado con inyector fue el de menor patogenicidad, con un promedio de 3 %.

Las aplicaciones del hongo *M. robertsii* aplicado con inyector en los diferentes intervalos de tiempo, en el tiempo, el tiempo 3, es decir 20 días después, fue el que causó la mayor patogenicidad de individuos con una media de 10 (Figura 7). Lo cual muestra el efecto acumulado del tratamiento en el tiempo. A los datos obtenidos se les aplicó la prueba de Shapiro Wilk para verificar la normalidad (Figura 8).

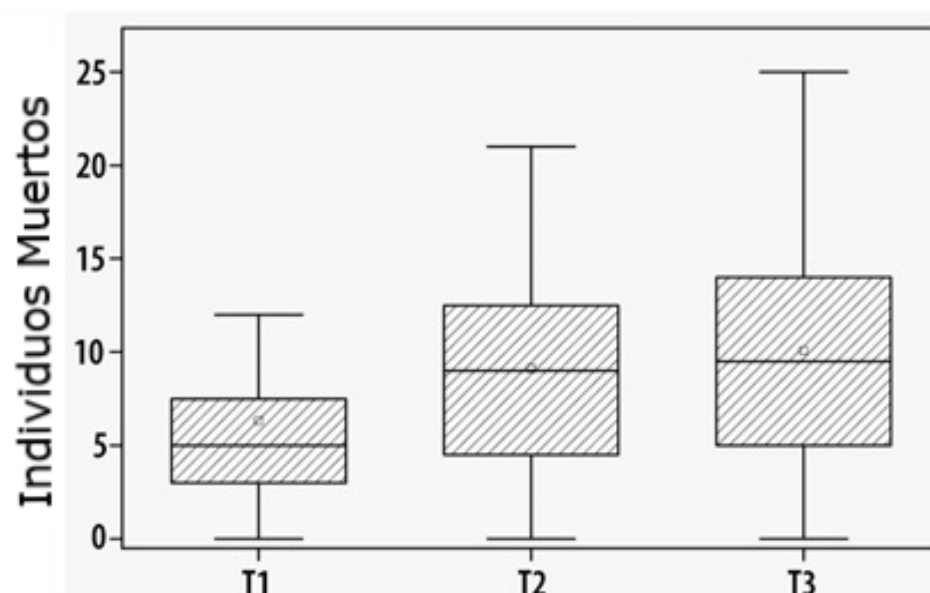


Figura 7. Diagrama de cajas de los tres tiempos de evaluación del hongo *M. robertsii*.

Fuente: Autores

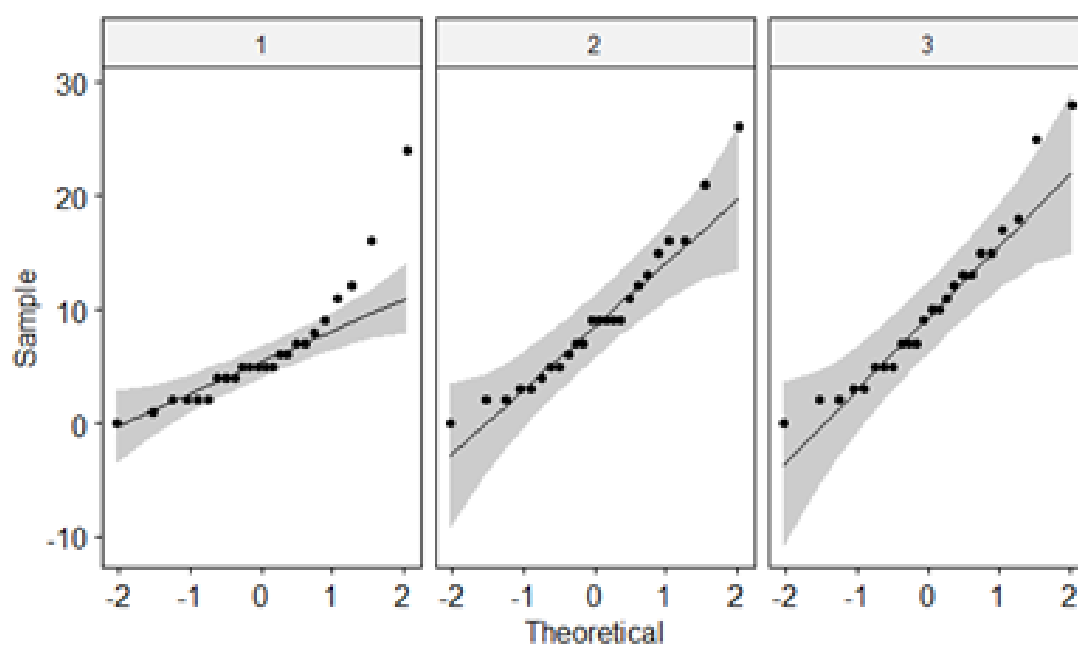


Figura 8. Intervalos de confianza de los diferentes tiempos de evaluación.

Fuente: Autores

Finalmente, se realizó el registro fotográfico de los síntomas de patogenicidad que ocasiona el hongo *M. robertsii* (Figura 9) sobre el insecto, los cuales inician con

la presencia de un micelio de color blanco que cubre el insecto completamente y posteriormente se presenta la esporulación de color verde (Sandino, 2003).

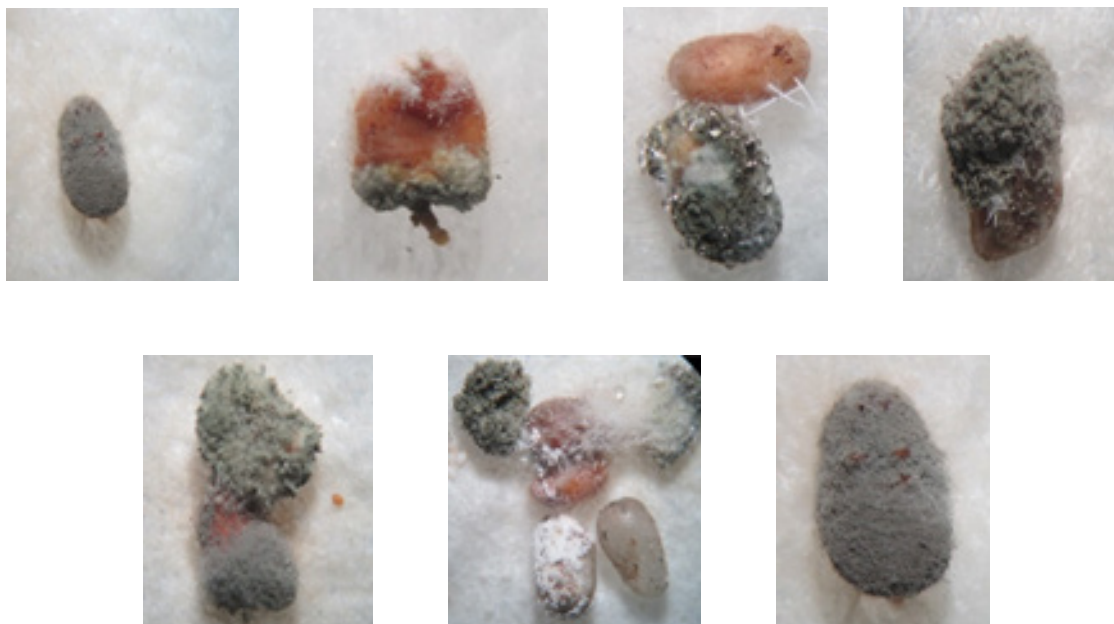


Figura 9. Individuos de *E. colombianus* infestados por *M. robertsii*.

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

M. robertsii se puede considerar como una alternativa al manejo de *E. colombianus* en condiciones de campo. Aunque los métodos de aplicación evaluados no presentaron diferencias significativas, la aplicación del hongo con inyector, podría ofrecer mejores condiciones para el hongo en campo.

La aplicación de *I. fumosorosea* puede utilizarse como método de manejo alternativo para el control de la perla de tierra.

Así mismo, se recomienda realizar evaluaciones de la efectividad de los hongos aplicados al suelo en un periodo mayor de tiempo.

CONTRIBUCION DE LA AUTORÍA

Astrid Beatriz Narváez Benítez: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, edición, borrador original.

Herney Dario Vásquez Amariles: adquisición de recursos, director del proyecto, supervisión, conceptualización, logística.

Pedro Antonio Zapata Ospina: investigación, conceptualización, escritura, revisión.

Ana Milena Caicedo Vallejo: escritura, revisión, conceptualización y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la Asociación Frutymat de la vereda La Magdalena, Municipio de Guacarí (Valle del

Cauca); especialmente a las señoras Nubia Rodríguez, y Beatriz Castrillón, y a los señores Miguel Rodríguez, y Miguel Antonio David por su colaboración, amistad y acompañamiento en campo.

Al Laboratorio de Agricultura Biológica del municipio de Buga, a Nancy Cardozo por su apoyo y ayuda en la parte microbiológica del trabajo y a José Galo Vivas por abrir las puertas de su laboratorio para llevar a cabo el trabajo.

A todas y cada una de las personas que de alguna manera ayudaron a los autores a seguir adelante y los apoyaron para que esta investigación terminara de la mejor manera.



LITERATURA CITADA

- Ardila, Y. P., Yepes, F. C. y Guarín, J. H. (2012). Patogenicidad de aislamiento nativo de *Metarhizium anisopliae* sobre *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae). En N. Daza. (Ed.):, 39 Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (p.19). Sociedad Colombiana de Entomología.
- Aristizábal, M. I. y Guarín, J.H. (2012). Acción de tensoactivos sobre ninfas de perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) bajo condiciones controladas. En N. Daza. (Ed.):, 39 Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (p.92). Sociedad Colombiana de Entomología.
- Carneiro, R. M., Soria, S. J., Kulczynski, S. M. & Da Silva, J. B. (1994). Patogenicidad de *Paecilomyces fumosoroseus* aislado CG 259 a *Eurhizococcus brasiliensis* Hempel (Homoptera: Margarodidae). Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 23(2), 345-346.
- Carvajal, L. (2002). Estudio del efecto patogénico de algunos microorganismos sobre *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Homoptera: Margarodidae). [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia].
- Castaño, O. (2000). Plagas del cultivo de la mora y su manejo integrado. Memorias. 3er Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2011). Anuario Estadístico de frutas y hortalizas 2004- 2008 y sus calendarios de siembras y cosechas. <http://hdl.handle.net/11348/6189>
- Federación Nacional de Cafeteros. (1985). El cultivo de la mora de Castilla. Programa de Desarrollo y Diversificación de zonas cafeteras. Cenicafé.
- Foldi, I. (2005). Ground pearls: a generic revision of the Margarodidae *sensu stricto* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea). *Annales de la Société Entomologique de France*, 41(1),:81-125.
- Guarín, J. H. y Carvajal, L. D. (2002). La perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Homoptera: Margarodidae) en los frutales de clima frío. Posibilidades para su manejo. En M. J. Giraldo y J. P. Higuera. (Ed.):, IV Seminario Nacional de Frutales de Clima Frío Moderado (pp. 53-162). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Jakubski, A. W. (1965). A. *Critical revision of the Families Margarodidae and Termitococcidae (Hemiptera, Coccoidea)*. British Museum of Natural History.
- Marín, P. Y Bustillo, A. (2002). *Pruebas microbiológicas y fisicoquímicas para el control de calidad de hongos entomopatógenos*. Cenicafé.
- Meneses, E., Duque, W., Londoño, M. E. y Guarín, J. H. (2012) Actividad insecticida y repelente de extractos vegetales sobre ninfas de *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae). En N. Daza. (Ed.):, 39 Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (p.92).
- Osorio, J. C. (2005). *Distribución radical de perla de tierra Eurhizococcus colombianus y relación con factores ambientales en mora*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia].
- Perengüez, E. A., Caicedo, A. M., Zapata, P., Cardozo, N. y Muñoz, J. E. (2010). Reconocimiento y evaluación de enemigos naturales asociados a perla de la tierra *Eurhizococcus colombianus* Jakubsky (1965) en tres zonas productoras de mora. Fontagro.
- Sandino, V. M. (2003). Manejo integrado de la salivita de la caña de azúcar. Nicaragua. FUNICA/UNA/CATIE, 26 p.
- Zapata, P. A. (2010). Estandarización del método de multiplicación vegetativa de la mora de Castilla *Rubus glaucus*, cvr sin

espina y la producción de plántulas inoculadas con biocontroladores. [Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia].

Zimmermann, G. (2008). The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa*

(formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): biology, ecology and use in biological control. *Biocontrol Science and Technology*, 18(9), 865-901. <https://doi.org/10.1080/09583150802471812>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.





TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Vochysia lehmannii* EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

PREGERMINATIVE SEED TREATMENTS AND SEEDLING OF *Vochysia lehmannii* HIERON. IN THE EASTERN PLAINS OF COLOMBIA

Ildefonso Narváez Ortiz • ildenarvaez@unitropico.edu.co

Ph. D. en Ingeniería Agrícola, Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal, Casanare.

Leonela Torres • sanleo1723@gmail.com

Ingeniera Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal, Casanare.

Zoleidy Granados • solgragon958@gmail.com

Ingeniera Agroforestal, Universidad Internacional del Trópico Americano, Yopal, Casanare.

Iván Delgado • ivandelgado5@gmail.com

M. Sc. en Agroforestería Tropical, Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Nariño, Pasto, Nariño.

Citación: Narváez, I., Torres, L., Granados, Z., y Delgado, I. (2022). Tratamientos pregerminativos y germinación de semillas de *Vochysia lehmannii* en los llanos orientales de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 125 – 136. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5433>

RESUMEN

Contextualización: *Vochysia lehmannii* es una especie forestal nativa y de importancia ecológica en las sabanas orientales de Colombia. Es utilizada con fines de ornamentación, madera, alimenticios y medicinales.

Vacío de conocimiento: Su población y distribución está en progresivo descenso; no obstante, no se incluye en programas de reforestación debido a la falta de conocimiento científico sobre su germinación, particularmente acerca de la sincronía de germinación y factores ambientales que la influyen.

Propósito: En este trabajo se evalúan tratamientos pregerminativos, con elementos propios de la región, con la finalidad de identificar cual logra mayor porcentaje de germinación de forma sincrónica.

Metodología: El experimento se desarrolló en la vereda La Peral, del Municipio de Paz de Ariporo, Casanare, Colombia, bajo un diseño completamente al azar con dos factores: sustrato y tratamientos pregerminativos. Como sustratos se utilizó tierra abonada y arena de río, y como tratamientos pregerminativos: lijado, corte e inmersión en agua caliente.

Resultados y conclusiones: El tratamiento que obtuvo el mayor porcentaje de germinación y menor tiempo de latencia fue la tierra abonada con corte de la semilla, que tuvo un resultado de 80 % y 7 días respectivamente, con diferencias significativas ($P < 0,01$) de los demás tratamientos; sin embargo, persiste asincronía en la germinación.

Palabras clave: germinación; saladillo blanco; sincronía de germinación; Vochysiaceae.


ABSTRACT

Contextualization: *Vochysia lehmannii* is a native forest species of ecological importance in the eastern savannas of Colombia, used for ornamental, timber, food, and medicinal purposes.

Knowledge gap: Its population and distribution are in progressive decline; however, it is not included in reforestation programs due to the lack of scientific knowledge about its germination, particularly about the synchrony of germination and environmental factors that influence it.

Purpose: In this work, pre-germinative treatments with elements from the region are evaluated to identify which achieves the highest percentage of germination in a synchronous manner.

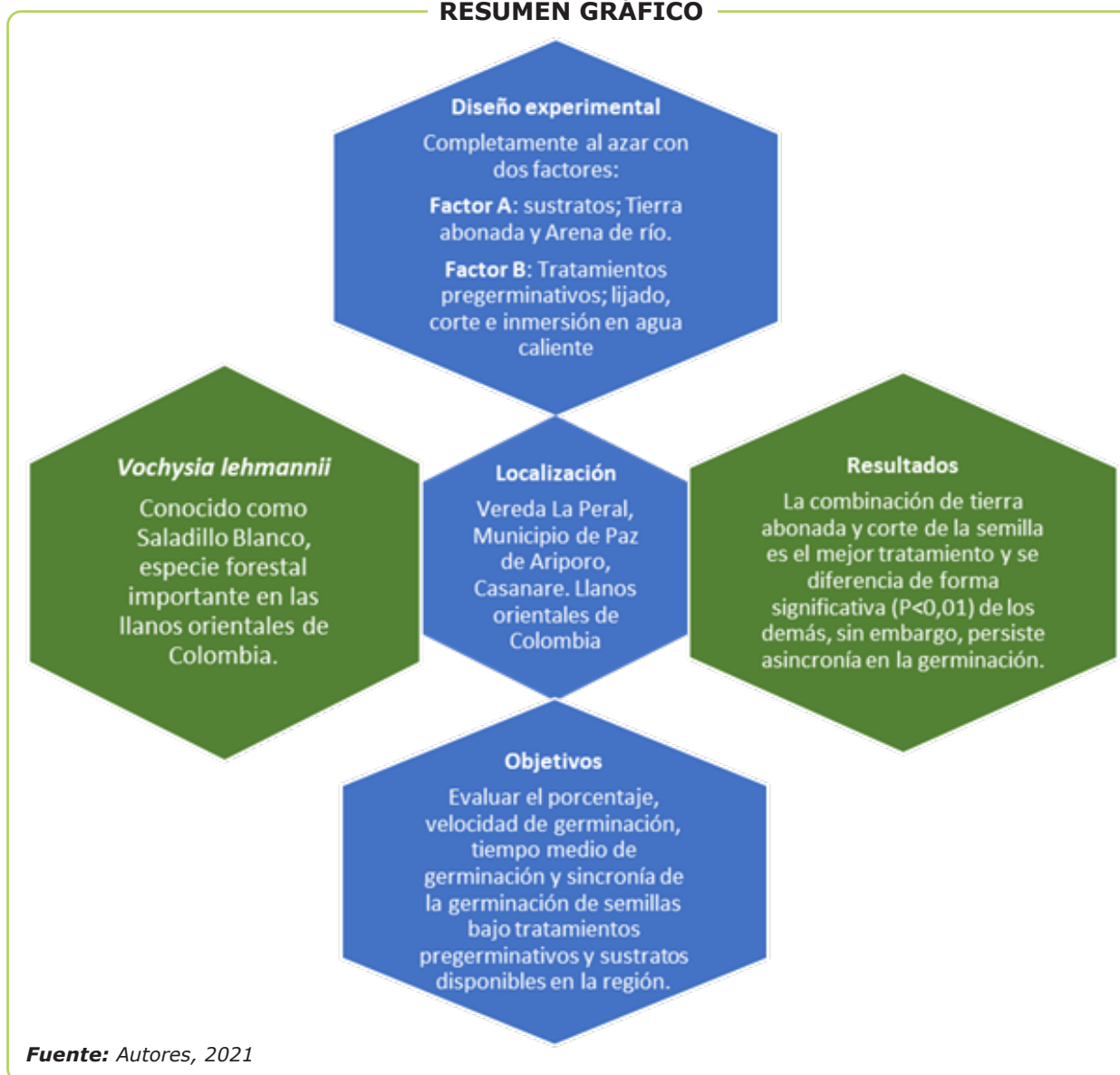
Methodology: An experimental design with two factors: substrate and pre-germination treatments were established in the rural zone La Peral, Municipality of Paz de Ariporo, Casanare, Colombia. Black soil and river sand were used as substrates, and sanding, cutting and immersion in hot water were used as pre-germinative treatments.

Results and conclusions: The treatment that obtained the highest germination percentage and the shortest dormancy time was the fertilized soil with seed cut, having a result of 80 % and 7 days respectively, with significant differences ($P < 0.01$) from the other treatments; however, asynchrony in germination persists. 

Keywords: germination, saladillo blanco, Germination synchrony, Vochysiaceae



RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

La región tropical concentra alta biodiversidad, resultado de las condiciones climáticas dinámicas y la variabilidad presente en los suelos (Hartshorn, 2013), esta riqueza es fuente de alimentos, hábitat, medicinas, entre otros. Sin embargo, la deforestación promovida por el avance de la frontera agrícola y las actividades industriales afecta los ecosistemas naturales (Murad y Pearse, 2018).

En las sabanas, en particular, la vegetación arbórea está rezagada a los lugares donde hay permanencia de agua durante todo el año (D'Jesús et al., 2001) como respuesta

a periodos de sequías y lluvias claramente definidos (Bustamante-Lozano et al., 2013); además, los suelos se caracterizan por tener bajos niveles de fertilidad (Sarmiento, 1994). Pero el avance de la frontera agrícola reduce los espacios donde se encuentran las especies arbóreas y con ello se dificulta la germinación y desarrollo de plántulas, dado que requieren condiciones ambientales y edáficas precisas. Además, sobre las especies nativas de este ecosistema no se cuenta con suficiente información acerca de su propagación e integración con los sistemas de producción agropecuarios. En consecuencia, se persiste en el manejo de sistemas de producción extensivos sin la presencia de árboles, o bien

se hace la incorporación de especies exóticas de las que se cuenta con información y paquetes tecnológicos, pero no hacen parte del ecosistema local; es decir, que su aporte ecológico no es el adecuado.

Una especie nativa de las sabanas, con importancia ecológica, es el saladillo blanco (*Vochysia lehmanni* Hieron). Se puede encontrar en la Orinoquía y en el Valle del Río Magdalena (Bernal et al., 2016; Idárraga et al., 2016) como árboles dispersos en potreros dedicados a la producción ganadera, bordes de carretera y linderos de las fincas. Es considerada una especie adecuada para la reforestación y la restauración de ecosistemas (Carranza, 2016). Taxonómicamente hace parte del orden Polygalales y la familia Vochysiaceae.

La familia *Vochysiaceae* agrupa alrededor de 230 especies (Hutchinson, 1968; Rodríguez y Sanoja, 2008). El género *Vochysia* se distribuye desde Mesoamérica hasta el norte de Suramérica (Cordero et al., 2003; Stafleu, 1948), hace parte del orden *Polygalales* (subclase Rosidae) y es uno de los siete géneros con amplia distribución tropical (Mabberley, 2017). Por su arquitectura y floración de color amarillo intenso tiene usos ornamentales y la madera se utiliza para construcción (Williams, 2005), las semillas presentan uso alimenticio y son procesadas como sustituto a la manteca de cacao (Mayworm et al., 2011). Además, las especies del género *Vochysia* guardan similitud en cuanto a su morfología floral (Oliveira y Gibbs, 1994) y en las características cualitativas y cuantitativas de la madera (Williams, 2005), sus semillas pueden ser deshidratadas hasta 6.4 % (Salazar y Vázquez, 1999), es decir, son semillas intermedias (Ellis et al., 1990; Hong et al., 1996), y alcanzan porcentajes de germinación arriba de 80 % (Blanche et al., 1991; Kleber et al., 2018) con tendencia a la asincronía.

El período de floración de esta especie se concentra en el mes de noviembre con abundantes inflorescencias de color amarillo. Después de tres meses se tiene un fruto dehiscente color café, con un tamaño entre 2 y 4 cm, que puede contener hasta 6 semillas viables (Montero et al., 2015). Las valvas permanecen luego de caer el fruto, por tanto,

se requiere de condiciones particulares para iniciar la germinación (Baskin y Baskin, 2004; de Souza et al., 2015; Sautu et al., 2006). Los requerimientos de condiciones particulares y la asincronía de la germinación limitan la propagación de forma masiva para su uso en procesos de reforestación e integración en sistemas de producción agropecuarios. Por esta razón, el objetivo de esta investigación es evaluar el porcentaje y velocidad de germinación, tiempo medio de germinación y sincronía de la germinación de semillas de *V. lehmanni* bajo tres tratamientos pregerminativos y dos sustratos disponibles en la región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la vereda La Peral, Municipio de Paz de Ariporo, Casanare, Colombia, geográficamente localizado a 5°52'37"N y -71°53'42"O y 350 m de altitud. La precipitación anual promedio es de 2000 mm y la temperatura oscila entre 26° C y 27° C. El régimen de lluvias es monomodal, característico de la región oriental del país (Bustamante-Lozano et al., 2013; Jarmillo-Robledo y Chaves-Córdoba, 2000), con predominancia de lluvias durante ocho meses del año y un periodo seco entre diciembre y marzo (Bustamante-Lozano et al., 2013).

Material vegetal. Las semillas se recolectaron en el mes de marzo del año 2017, provenientes de árboles seleccionados con base a los siguientes criterios: copa sin competencia de luz y fuste recto, sano y grueso sin problemas fitosanitarios. Se recolectaron los frutos maduros de color café (Montero et al., 2015; Stafleu, 1948) y, posteriormente, se aplicó 100 gr de insecticida Clorpirifos para evitar el daño por ataque de plagas.

Diseño experimental. Se estableció un diseño completamente al azar en arreglo factorial de 3 x 2, se conformaron 7 tratamientos (incluyendo un testigo) que se distribuyeron al azar en tres repeticiones. Los niveles de A corresponden a los sustratos: arena de río (AR) y tierra abonada (TA); los niveles de B son los tipos de escarificación: corte (C), lijado (L) e inmersión en agua caliente (I); el testigo (T) se conformó por tierra negra con semillas sin ningún tratamiento pregerminativo.



La unidad experimental se conformó con 25 semillas. El corte se hizo de forma transversal en el extremo opuesto al embrión, el lijado se hizo con lija calibre 800 y la inmersión se hizo en agua a 40° C durante 5 minutos. El sustrato TA fue tierra y compost de cascarilla de arroz en proporción de 2:1, el sustrato AR consistió en arena de río a la que se le retiraron las impurezas y se homogeneizó. Los sustratos se desinfectaron con agua hirviendo para evitar la proliferación de hongos o plagas (Oliva et al., 2014).

Los tratamientos y repeticiones se implementaron sobre una cama de madera, directamente sobre el suelo, con medidas de 2 m de largo y 1 m de ancho. Se dividió en cuatro partes de 1m x 0,5 m cada una para

conformar los niveles de B, a su vez, cada nivel se dividió en 6 partes que representan los dos sustratos en tres repeticiones. Las semillas se sembraron a profundidad de 1 cm, bajo una cubierta de polisombra calibre 4 de 80 % a una altura de 1.50 m. El riego se aplicó a diario (Buitrago-Rueda et al., 2004).

Para la evaluación del efecto de los tratamientos pregerminativos se utilizó el análisis de varianza con base en: el porcentaje de germinación (PG), tiempo medio de germinación (TMG) (Pérez Suárez, 2011; Schelin et al., 2003), velocidad de germinación (VG) (Maguire, 1962) e índice de sincronía de germinación (IS) (Ranal y Santana, 2006), que fueron calculados con las siguientes ecuaciones:

$$PG = \frac{\sum n_i}{N} * 100 \quad [1]$$

$$TMG = \frac{\sum (n_i t_i)}{\sum n_i} \quad [2]$$

$$VG = \sum \left(\frac{n_i}{t} \right) \quad [3]$$

$$IS = \sum_{i=1}^t f_i \log_2(f_i); f_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^t n_i} \quad [4]$$

Donde: N corresponde al total de semillas en cada tratamiento, n_i numero de semillas germinadas en el día i , t_i es el número de días después de la siembra y j es el número de días desde la siembra hasta que germina la última semilla.

Análisis de datos. A través de rutinas de código en el programa estadístico R (R Core Team, 2022) se realizaron los análisis de varianza y la verificación de los siguientes supuestos estadísticos: prueba de Shapiro-Wilk (normalidad en los residuos), prueba de Barlett (homogeneidad de varianzas) y Prueba de Durbin-Watson (independencia) (Lawal, 2014). Mediante la prueba de la mínima diferencia significativa (LSD) se hizo la comparación de medias, y las interacciones entre los factores y niveles fueron evaluadas con el paquete Emmeans (Lenth, 2020).

3. RESULTADOS

La dinámica de germinación acumulada de semillas se muestra en la Figura 1, en la que se diferencian claramente tres grupos de líneas que se relacionan con los sustratos TA, AR y el T. El menor tiempo de latencia fue de siete días y se manifiesta en TA, seguido de AR por nueve días y, con una considerable separación, el T con 15 días (Figura 1).

Al inicio de la germinación los porcentajes en cada tratamiento guardan similitud y se van diferenciando en función de los días transcurridos. Con el sustrato TA se alcanza el máximo de germinación de 80 % en siete días y con el sustrato AR se toman nueve días para tener un máximo de 70 %, con los dos sustratos el mejor tratamiento pregerminativo fue C. A fin de confirmar estas

observaciones se hizo análisis de varianza con base en los cuatro índices: PG, TMG, VG y IS. Como resultado del análisis de varianza se determina que la interacción no es significativa

para el porcentaje de germinación y el índice de sincronía de germinación; por lo tanto, se comparó los tratamientos pregerminativos a través del ANOVA de dos vías (Figura 2).

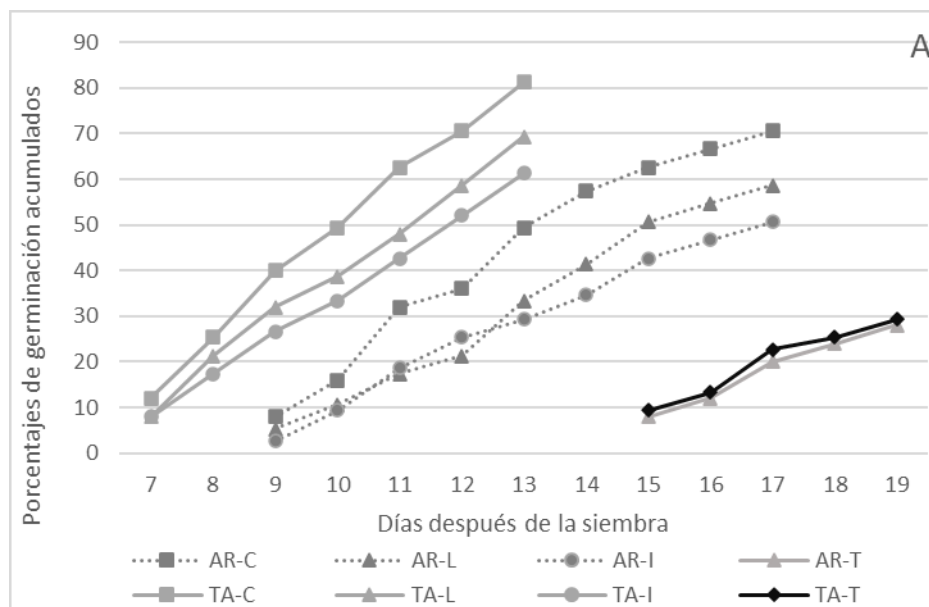


Figura 1. Porcentaje de germinación acumulados a lo largo del tiempo en cada combinación de sustrato (AR, TA) y tratamiento pregerminativo (C, L, I, T).

Fuente: autores

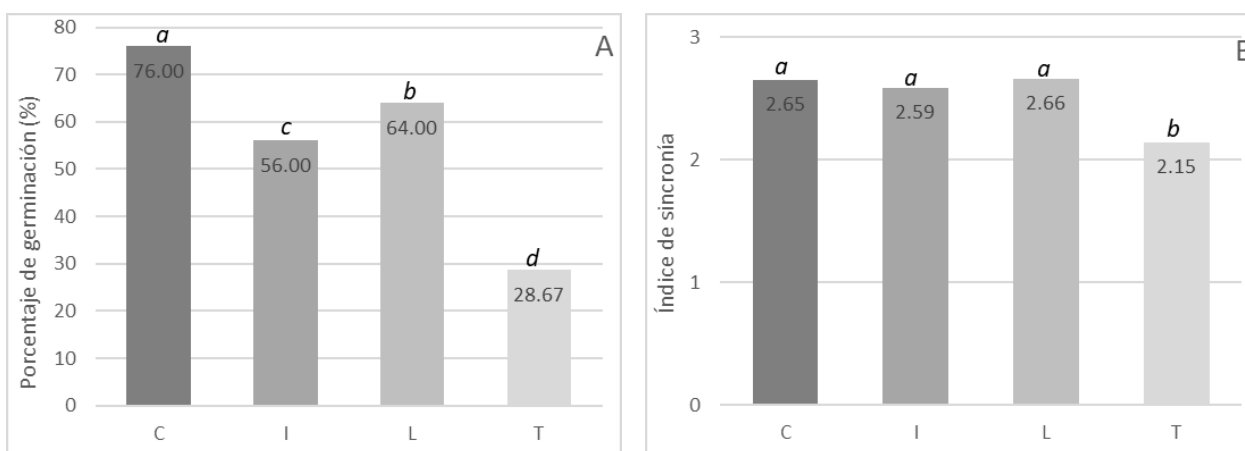


Figura 2. A y B, medias del porcentaje de germinación e índice de sincronía de germinación por tratamiento pregerminativo (C, L, I, T).

Fuente: autores



Los resultados de PG e IS nos presentan efectos estadísticamente significativos entre los sustratos y los tratamientos pregerminativos, en consecuencia, para estos dos casos el análisis se reduce a los efectos principales de los tratamientos pregerminativos. En el caso del PG, el tratamiento C es superior y estadísticamente diferente ($P < 0,05$) a los tratamientos de inmersión, lijado y el testigo; mientras que, para IS, el T es diferente ($P < 0,05$) de los demás tratamientos pregerminativos. El tratamiento C alcanza una media de 76 % de germinación, es decir, 12 % arriba de L y 20 % más que I.

Los índices VG y TMG presentan efectos de interacción significativa ($P < 0,09$) en VG y ($P < 0,05$). En la Figura 3 se puede notar que el comportamiento del T es similar en los dos sustratos, mientras que con los tratamientos pregerminativos se determinan diferencias significativas ($P < 0,05$) entre TA y AR. De manera particular, el índice VG (Figura 3A) muestra que el tratamiento C (con sustrato TA) es superior y estadísticamente diferente del mismo tratamiento con sustrato AR. Por su parte, con TMG (Figura 3B) los tratamientos pregerminativos son estadísticamente iguales ($P < 0,05$), pero con efectos diferentes por cada sustrato; siendo mejor TA debido a que la germinación se hace con una media de 10 días.

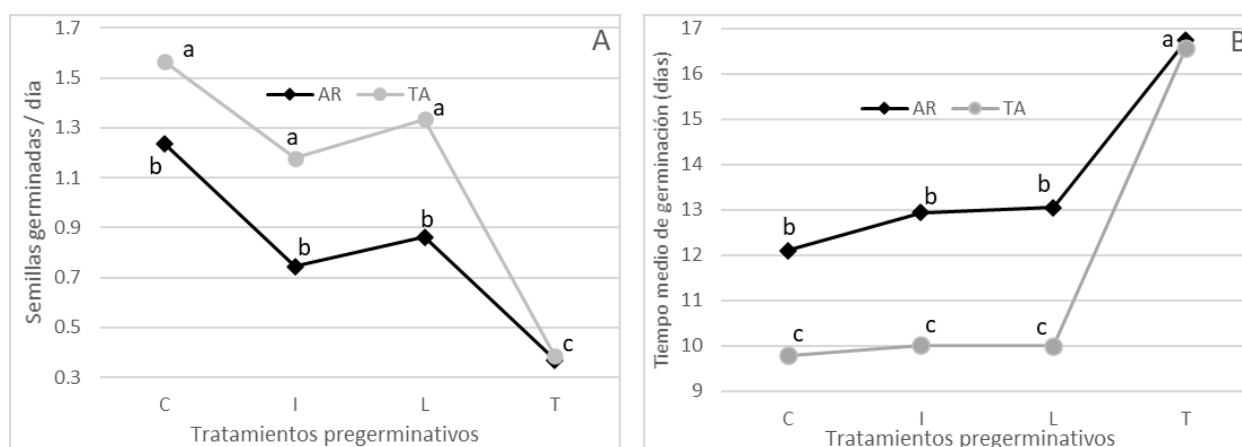


Figura 3. Gráficos de interacción: A: Velocidad de germinación (VG); B: Tiempo medio de germinación (TMG).

Fuente: autores

Los análisis de varianza (con base en los cuatro índices) muestran que las combinaciones de tratamientos pregerminativos (A) y sustrato (B) tienen comportamiento superior al testigo (T) ($P < 0,001$) en todos los criterios evaluados.

4. DISCUSIÓN

La semilla de *V. lehmannii* es de tipo intermedio, entre recalcitrante y ortodoxa, es decir tiene tolerancia a la pérdida de humedad hasta el 7 o 12 % manteniendo su viabilidad (Hong et al. 1996, Ellis et al. 1990). Presenta lenta germinación y de forma asincrónica (Rodrigues et al., 1999), limitando la obtención de plántulas de calidad (Castanheira et al., 2013; Ortiz et al., 2018; Solís-Sandoval et al., 2019) para un mismo

momento, a diferencia de especies pioneras como *Tecoma stans* que muestran alta sincronía de germinación (Vargas-Figueroa y Torres-González, 2018).

El índice de sincronía de germinación (IS) cuanto más bajo tenga su valor representa mayor sincronía de germinación en el proceso de germinación (Ranal y De Santana 2006), de esta forma, el tratamiento pregerminativo C con el sustrato TA alcanza la mayor sincronía de germinación con valor de 2,5; sin embargo, no se encuentran diferencias significativas. (Figura 3) Es decir, en todas las combinaciones evaluadas se presenta asincronía en la germinación, en las que el valor más bajo lo obtiene TA-C, pero no es suficiente variación para ser significativo. El T tiene el valor más bajo de IS, pero

con un pobre desempeño del porcentaje de germinación, velocidad y tiempo medio de germinación, por lo cual no es adecuado para propagación masiva.

Debido a la ausencia de interacción significativa entre el factor A y factor B, se analizó el PG e IS mediante un ANOVA de dos vías, la cual no encontró diferencias significativas entre los sustratos, únicamente se identifican diferencias en el factor A. Dentro de los tratamientos pregerminativos sobresale C, que alcanza el mayor porcentaje de germinación diferenciado estadísticamente ($P < 0,05$) de L, I y T. Para los casos de PG e IS, el efecto de los sustratos es pequeño y no permite identificar uno en particular que sea superior.


La definición de la mejor combinación de los factores A y B se hace con el análisis del TMG y la VG, que integran los registros de semillas germinadas por día y el número de días transcurridos desde la siembra. Para estos índices se encontró interacción significativa ($P < 0,05$), principalmente promovida por la similitud de los valores de germinación del T en el sustrato TA y AR; en contraste, los demás tratamientos pregerminativos tienen respuestas estadísticamente diferentes con cada sustrato (Figura 3). En los dos casos (TMG y VG) el sustrato más conveniente es TA, que reúne la mayor cantidad de semillas germinadas por día y el menor tiempo de germinación; no obstante, con el índice TMG el tratamiento C es estadísticamente ($P < 0,05$) diferente de L, I y T. En cambio, con el índice VG los tratamientos C, I y L son iguales entre sí y diferentes del T.

El menor rendimiento del tratamiento de inmersión en agua caliente (I) puede ser resultado del daño que se ocasiona al embrión por tratarse de semillas intermedias que no cuentan con protección de una testa dura (Flores-Córdova et al., 2016); el lijado (L) no produce ruptura directa de la protección exterior de la semilla, lo que hace que sea menor el porcentaje de germinación. Por otra parte, los sustratos tienen influencia directa en la germinación, dado que la tierra abonada (TA) distribuye la humedad en tiempo y espacio de forma adecuada para iniciar la

germinación, en contraste con la condición de poca retención de humedad de la arena. Situación similar a lo reportado por Martiñón y Aragón (2014) en germinación de semillas de *Jatropha spp.*

El comportamiento de la germinación de *V. lehmannii* es congruente con resultados de diversas especies del género *Vochysia*. Kleber et al (2018) reportan 80 % de germinación de *V. divergens* utilizando semillas inmediatamente recolectadas en Mato Grosso do Sul, Brasil. Rodrigues et al. (1999) en Río Claro, Brasil, obtuvieron germinación de 93 % de semillas de este género, a una temperatura de 25 °C, dejándolas a luz u oscuridad natural. Rickli et al (2014) evaluaron la germinación de *V. bifalcata* en laboratorio a diferentes temperaturas y sustratos y encontraron que el papel secante y la vermiculita, a temperatura de 25 °C, dan como resultado mayor germinación, de 70 y 73 % respectivamente.


González (1991) reporta 59 y 81% de germinación de semillas de *V. hondurensis* y *V. ferruginea*, respectivamente, en bosques de Costa Rica. Sautu (2006) reporta 35 % de germinación para *V. ferruginea* en la cuenca del canal de Panamá. En general, las especies del género *Vochysia* presentan germinación arriba de 80 % y el principal inconveniente para su propagación es la asincronía que se presenta durante la germinación (Rodrigues et al. 1999). Esta situación limita la obtención de plántula a gran escala, que es un requerimiento en los procesos de reforestación.

A pesar de encontrar asincronía en la germinación de todos los tratamientos, se resalta que TA tiene el menor tiempo para iniciar la germinación (7 días) y alcanza germinación mayor a 80 % en seis días, valores inferiores a los que se presenta en AR. En términos prácticos, para establecer propagación a gran escala de *V. lehmannii*, el tratamiento de mayor conveniencia es TA-C, dado que reúne los rendimientos favorables en torno a porcentaje de germinación, menor tiempo de latencia, mayor velocidad de germinación y mayor número de semillas germinadas por día. 



CONCLUSIONES

Con base en el análisis estadístico y comparativo se concluye que la combinación de tierra abonada (TA) como sustrato y el tratamiento pregerminativo de corte (C) de la semilla tiene la mejor respuesta, y es estadísticamente significativa ($P < 0,05$) respecto a los demás tratamientos (I, L y T).

El porcentaje de germinación es de 76 %, el tiempo medio de germinación de 9,8 días y la velocidad de germinación es de 1,6 semillas germinadas/día. Sin embargo, persiste la condición asíncrona de la germinación de manera similar en todos los tratamientos evaluados. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Ildefonso Narváez Ortiz: metodología, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Leonela Torres: investigación, conceptualización, escritura.

Zoleidy Granados: logística, investigación, conceptualización, escritura, revisión y edición.

Iván Delgado: análisis de datos, revisión y edición.

Buitrago-Rueda, N., Ramírez-Villalobos, M., Gómez-Degraves, A., Rivero-Maldonado, G., y Perozo-Bravo, A. (2004). Efecto del almacenamiento de las semillas y la condición de luz postsiembra sobre la germinación y algunas características morfológicas de plantas de níspero (*Manilkara zapota* (Van Royen) (Jacq) Gill) a nivel de vivero. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 21(4), 344–353.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano – Unitrópico, a través del Ingeniero Edwin Ramos Coordinador del Programa de Ingeniería Agroforestal, al ingeniero David Ernesto Benavides Rosales y al ingeniero Víctor Salvador Montaña Barrera quienes dieron seguimiento al proceso.

Bustamante-Lozano, Á. M., Páez-Martínez, A., Espitia-Barrera, J. E., y Cárdenas-Castro, E. (2013). Análisis de datos meteorológicos para identificar y definir el clima en Yopal, Casanare. *Revista de Medicina Veterinaria*, 25, 85–92. <https://doi.org/10.19052/mv.2301>

Carranza, M. (2016). *Identificación de especies forestales de alto valor ecológico para la recuperación de áreas degradadas en el sur del Piedemonte Llanero del Casanare*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.

LITERATURA CITADA

Baskin, J. M., y Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>

Bernal, R., Gradstein, R., y Celis, M. (2016). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

Blanche, C. ., Hodges, A. ., y Gonzalez, E. (1991). Seed Chemistry of the Tropical Tree *Vochysia hondurensis* Sprague. *Forest Science*, 37(3), 949–952. <https://doi.org/10.1093/forestscience/37.3.949>

Castanheira, G., Dellyzette, S., Serafim, L., Delly, A., y da Consolação, A. (2013). Minimum period to assess the potential of germination of coffee seeds. *Journal of Seed Science*, 35(3), 347–352. <https://doi.org/10.1590/S2317-15372013000300011>

Cordero, J., Boshier, D., Barrance, A., de Investigación y Enseñanza, C. A. T., Institute, O. F., y Programme, G. B. F. R. (2003). *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

D'Jesús, A., Torres, A., y Ramírez, H. (2001). Consecuencias de la explotación maderera sobre el crecimiento y el rendimiento

sostenible de un bosque húmedo deciduo en los Llanos Occidentales de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 45, 133–143.

de Souza, T. V., Torres, I. C., Steiner, N., y Paulilo, M. T. S. (2015). Seed dormancy in tree species of the Tropical Brazilian Atlantic Forest and its relationships with seed traits and environmental conditions. *Brazilian Journal of Botany*, 38(2), 243–264. <https://doi.org/10.1007/s40415-014-0129-3>

Ellis, R. H., Hong, T. D., y Roberts, E. H. (1990). An Intermediate Category of Seed Storage Behaviour? *Journal of Experimental Botany*, 41(9), 1167–1174. <https://doi.org/10.1093/jxb/41.9.1167>

Flores-Córdova, M., Sánchez-Chávez, E., Balandrán-Valladares, M., y Márquez-Quiroz, C. (2016). Efectividad de tratamientos pre-germinativos en la ruptura de la dormancia en las semillas forrajeras y de malezas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9), 427–432.

González, E. (1991). Recolección y germinación de semillas de 26 especies arbóreas del bosque húmedo tropical. *Revista Biología Tropical*, 39(1), 47–57.

Hartshorn, G. S. (2013). Tropical Forest Ecosystems. In *Encyclopedia of Biodiversity* (Vol. 2, Issue 2, pp. 269–276). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00146-5>

Hong, T. ., Linington, S., y Ellis, R. . (1996). *Seed storage behaviour: a compendium* (1st ed.). IPGRI - International Plant Resources Institute.

Hutchinson, J. (1968). The genera of flowering plants. *Endeavour*, 27(100), 50. [https://doi.org/10.1016/0160-9327\(68\)90212-3](https://doi.org/10.1016/0160-9327(68)90212-3)

Idárraga, A., Urrea, L., Roldán, F., y Cardona, F. (2016). *Flora del Magdalena Medio: áreas de influencia de la central térmica Termocentro*. Universidad de Antioquia.

Jarmillo-Robledo, A., y Chaves-Córdoba, B. (2000). Distribución de la precipitación en

Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafe*, 51(2), 102–113.

Kleber, A., Fernandes, F., y Fernandes, V. (2018). Germinação de sementes de *Vochysia divergens* após armazenamento em tres ambientes. *Ciência Florestal*, 28(2), 525. <https://doi.org/10.5902/1980509832035>

Lawal, B. (2014). *Applied Statistical Methods in Agriculture, Health and Life Sciences* (Issue c). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05555-8>

Lenth, R. (2020). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means*. <https://cran.r-project.org/package=emmeans>

Mabberley, D. J. (2017). *Mabberley's Plant-book. In Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316335581>

Maguire, J. D. (1962). Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor. *Crop Science*, 2(2), 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

Martiñon, A., y Aragón, A. (2014). Evaluación de sustratos y genotipos en la germinación de *Jatropha* con potencial comestible (*Jatropha* spp.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1179–1192.

Mayworm, M. A. S., Buckeridge, M. S., Marquez, U. M. L., y Salatino, A. (2011). Nutritional reserves of *Vochysiaceae* seeds: chemical diversity and potential economic uses. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 83(2), 523–531. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652011000200012>

Montero, M., Barrera, J., Giraldo, B., y Lucena, A. (2015). *Fichas técnicas de especies de uso forestal y agroforestal de la Amazonia colombiana* (Primera). SINCHI.

Murad, C. A., y Pearse, J. (2018). Landsat study of deforestation in the Amazon region of Colombia: Departments of Caquetá and



- Putumayo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11(May), 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.07.003>
- Oliva, M., Vacalla, F., Pérez, D., y Tucto, A. (2014). *Manual vivero forestal para la producción de plantones de especies forestales nativas: Experiencia en Molinopampa, Amazonas, Perú*. ITTO - Interntional Timber Tropical Organization.
- Oliveira, P., y Gibbs, P. (1994). Pollination biology and breeding systems of six *Vochysia* species (Vochysiaceae) in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 10(4), 509–522. <https://doi.org/10.1017/S026646740000818X>
- Ortiz, V., Ordaz, V., Aldrete, A., Escamilla, E., Sanchez, G., y López, R. (2018). Tratamientos pregerminativos en semillas de dos especies del género *Coffea*. *Agroproductividad*, 11, 68–73.
- Pérez Suárez, B. (2011). Observaciones sobre la germinación de tres especies de género *Citharexylum* Jacq. empleadas en restauración ecológica. *Colombia Forestal*, 14(2), 137. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2011.2.a02>
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>. <https://www.r-project.org/>
- Ranal, M. A., y Santana, D. G. de. (2006). How and why to measure the germination process? *Revista Brasileira de Botânica*, 29(1), 1–11. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002>
- Rickli, H. C., Nogueira, A. C., Soares Koehler, H., y Zuffellato-Ribas, K. C. (2014). Germinação de sementes de *Vochysia bifalcata* em diferentes substratos e temperaturas. *FLORESTA*, 44(4), 669. <https://doi.org/10.5380/rf.v44i4.33688>
- Rodrigues, A., Yamamoto, K., y Valio, I. (1999). Effect of light and temperature on germination and early growth of *Vochysia tucanorum* Mart., Vochysiaceae, in cerrado and forest soil under different radiation levels. *Revista Brasileira de Botânica*, 22, 275–280. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041999000500008>
- Rodríguez, L., y Sanoja, E. (2008). Fenología, biología floral y de polinización de especies de la familia vochysiaceae en la Guayana Venezolana. *Acta Botánica Venezuelica*, 31(2), 331–366.
- Salazar, R., y Vázquez, W. (1999). Valoración de semillas de *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea* y *Virola koschnyi*. In M. Aguilar, E. Bustamante, C. Fassaert, F. Montagnini, R. Ortiz, G. Rivas, E. Rodríguez, y A. Schlönvoigt (Eds.), *Actas de la IV Semana Científica: Logros de investigación en el nuevo milenio* (pp. 352–355). Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza - CATIE.
- Sarmiento, G. (1994). Sabanas naturales, génesis y ecología. In *Sabanas Naturales de Colombia* (pp. 17–55). Banco de Occidente.
- Sautu, A., Baskin, J. M., Baskin, C. C., y Condit, R. (2006). Studies on the seed biology of 100 native species of trees in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Forest Ecology and Management*, 234(1–3), 245–263. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.07.006>
- Schelin, M., Tigabu, M., Eriksson, I., Sawadogo, L., y Odén, P. C. (2003). Effects of scarification, gibberellic acid and dry heat treatments on the germination of *Balanites aegyptiaca* seeds from the Sudanian savanna in Burkina Faso. *Seed Science and Technology*, 31(3), 605–617. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.10>
- Solís-Sandoval, S., Gómez-Romero, M., y Velázquez-Becerra, C. (2019). Viabilidad y germinación de *Cordia elaeagnoides* A. DC. *Polibotánica*, 48. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.10>
- Stafleu, F. A. (1948). *A monograph of the Vochysiaceae. I. Salvertia and Vochysia*. Mededelingen Van Het Botanisch Museum Herbarium Van De Rijksuniversiteit Utrecht.

Vargas-Figueroa, J. A., y Torres-González, A. M. (2018). Germination and seed conservation of a pioneer species, *Tecoma stans* (Bignoniaceae), from tropical dry forest of Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 918. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33423>

Williams, J. (2005). Estudio anatómico de la madera de 21 especies del género *Vochisia* Poir. (Vochysiaceae). *Acta Botánica Venezuelica*, 28(2), 213–232.

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.



POULTRY MANURE INCREASES SOIL FERTILITY, GROWTH AND NUTRITIONAL STATUS OF YERBA MATE SEEDLINGS

EL ESTIÉRCOL DE AVES AUMENTA LA FERTILIDAD DEL SUELO, EL
CRECIMIENTO Y EL ESTADO NUTRICIONAL DE LAS PLÁNTULAS DE
YERBA MATE

Mônica Moreno Gabira • monica.gabira@gmail.com
Master in Forest Science. Federal University of Parana, Curitiba, Brazil.

Delmar Santin • desantinflorestal@yahoo.com.br
Doctorate in Soil and Plant Nutrition. Curitiba, Brazil

Ivar Wendling • ivar.wendling@embrapa.br
Doctorate in Forest Science. National Centre of Forestry Research – Embrapa Forests, Colombo, Brazil.

Eliziane Luiza Benedetti • eliziane.benedetti@ifsc.edu.br
Doctorate in Soil and Plant Nutrition. Federal Institute of Education, Science and Technology of Santa Catarina, Curitiba, Brazil.



Citación: Moreno, M., Santin, D., Wendling, I. y Benedetti, E. (2022). Poultry manure increases soil fertility, growth and nutritional status of yerba mate seedlings. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 137 – 148. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5388>

ABSTRACT

Contextualization: The use of organic fertilizers from agricultural industry residues is an alternative as a nutritional source in agroforestry cultures, mainly due to the slow release of nutrients. The leaf biomass production is essential for yerba mate production, which demands adequate nutritional management to maintain productivity and soil fertility.

Knowledge gap: Most yerba mate is produced with the use of mineral fertilizers, and there are no records of how organic fertilization with poultry manure could influence plants growth, nutritional status, and soil fertility.


Purpose: This study aimed to evaluate the influence of organic fertilization on soil

fertility, growth, and nutritional status of yerba mate seedlings.

Methodology: Two clonal cultivars of yerba mate (BRS408 and BRS409) were subjected to three fertilization doses with poultry manure (0, 20, and 35 g dm⁻³). The study was established in a factorial design, in a randomized block design with four replications. After 210 days, pH, organic matter content, availability of P, K, Ca, and Mg in the soil were analyzed. In addition, plants were evaluated in the same period for growth and leaf content of N, P, K, Ca, Mg, and S. Data were subjected to ANOVA and Tukey test for means comparison.

Results and conclusions: Organic fertilization positively influenced soil

characteristics and yerba mate seedlings growth, with significant differences in the response of each clone. The use of 20 g dm⁻³

of poultry manure is recommended for yerba mate seedlings production. 

Keywords: *Ilex paraguariensis*; organic fertilizer; plant nutrition; soil science


RESUMEN

Contextualización: El uso de fertilizantes orgánicos a partir de residuos de la industria agrícola es una alternativa como fuente nutricional en cultivos agroforestales, principalmente por la lenta liberación de nutrientes. La producción de biomasa foliar es muy importante para la producción de yerba mate, que demanda un adecuado manejo nutricional para mantener la productividad y la fertilidad del suelo.

Vacío de conocimiento: La mayor parte de la yerba mate se produce con el uso de fertilizantes minerales y no hay registros de cómo la fertilización orgánica con estiércol de aves de corral podría influir en el crecimiento de las plantas y el estado nutricional, así como en la fertilidad del suelo.

Propósito del estudio: Este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de la fertilización orgánica en la fertilidad del suelo, el crecimiento y el estado nutricional de las plántulas de yerba mate.

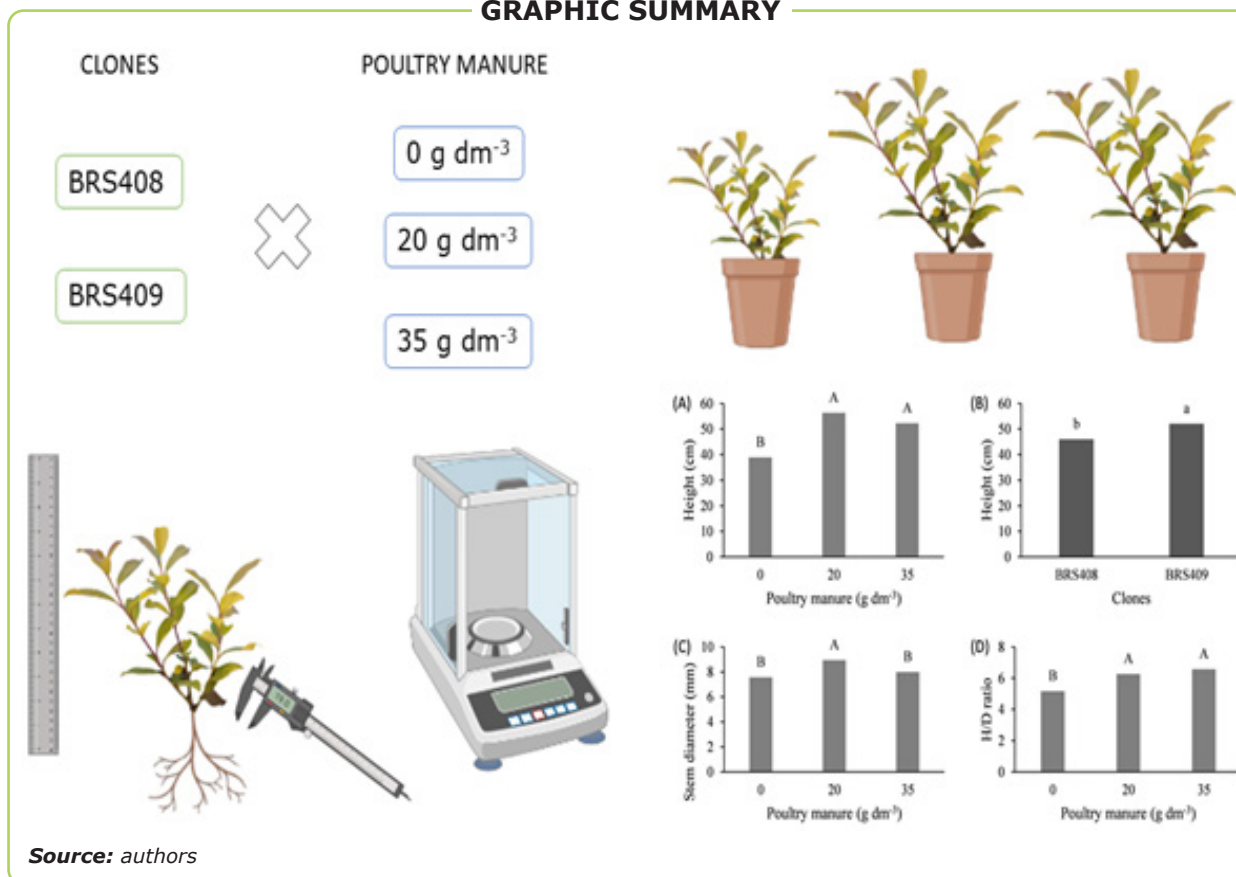
Metodología: Dos cultivares clonales de yerba mate (BRS408 y BRS409) fueron sometidos a tres dosis de fertilización con estiércol de aves (0, 20 y 35 g dm⁻³). El estudio se estableció en un diseño factorial, en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Después de 210 días se evaluó el pH, el contenido de materia orgánica, la disponibilidad de P, K, Ca y Mg en el suelo. Las plantas se evaluaron en el mismo período para determinar el crecimiento y el contenido de hojas de N, P, K, Ca, Mg y S. Los datos se sometieron a ANOVA y prueba de Tukey para la comparación de medias.

Resultados y conclusiones: La fertilización orgánica influyó positivamente en las características del suelo y el crecimiento de las plántulas de yerba mate, con diferencias significativas en la respuesta de cada clon. Se recomienda el uso de 20 g dm⁻³ de estiércol de ave para la producción de plántulas de yerba mate. 

Palabras clave: *Ilex paraguariensis*; fertilizante orgánico; nutrición vegetal; ciencia del suelo



GRAPHIC SUMMARY



1. INTRODUCTION

Among the inputs used in plant production, substrates and fertilizers are the most important and are a significant part of production costs. Therefore, the increase in cost, high demand, and possible scarcity of inputs for agricultural production are relevant factors in searching for new alternative materials (Higashikawa et al., 2016). In addition, there is interest for such inputs to come from renewable sources, aiming to develop sustainable practices in agricultural production.

The intensive production of animals in Brazil is an industry that generates high amounts of waste (Yaldiz et al., 2019). When disposed of inappropriately, these residues impact negatively in a social, economic, and, above all, environmental level. The use of agricultural residues as organic fertilizers has been increasingly frequent, mainly due to the availability and diversity of sources. These materials generally have a high concentration

of nutrients; however, they require attention to the occurrence of heavy metals, which can be highly harmful to both the culture and the environment (Ghori et al., 2019). Poultry manure is a residue known for its high phosphorus content, and it has strong effects on soil microbial communities. The increase in poultry products demand has led to an excessive deposition of this residue in several countries.

Studies indicate the possibility of using these materials as components of substrates and fertilizers for several species (Mažeika et al., 2020; Yaldiz et al., 2019). However, the excessive application of organic fertilizers can be highly harmful to crops and cause environmental damage through soil and water contamination by heavy metals and pathogens. The diverse and highly variable composition of residues and the risks of its inappropriate use indicate the need for studies on dosages and effectiveness of these products as inputs for plant production. There

is a lack of research focusing on developing more sustainable and economically viable agricultural practices (Higashikawa et al., 2016).

Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St-Hil.) is a tree species, naturally occurring in southern Brazil, Argentina, and Paraguay (Carvalho, 2003), where it is widely consumed as beverages. In Brazil, the species is cultivated on small properties and represents an important part of rural families' income. The great diversity of products from yerba mate has significantly increased the demand for raw material; however, the sector has faced a reduction in the productivity of plantations, mainly due to nutritional deficits (Santin et al., 2017). Furthermore, plantings carried out without genetic selection criteria for seedling production negatively affect the establishment of plantations and, consequently, productivity (Wendling & Brondani, 2015). These problems can be avoided, in part, by using vegetatively propagated seedlings with genetically superior material of known provenance and by maintaining adequate plant nutrition (Wendling & Santin, 2015).

It is known that the export of nutrients from commercial yerba mate plantations is high, but there are still few producers willing to invest in mineral fertilizers, making this a promising market for organic fertilization, such as the waste from the poultry industry (Santin et al., 2016). However, few studies have developed aiming to use use of this fertilization for the yerba mate culture. Thus, this study aimed to evaluate the soil fertility, growth, and nutritional status of yerba mate clones submitted to organic fertilization.

2. MATERIALS AND METHODS

The yerba mate seedlings were produced by mini cutting by Embrapa Florestas, according to Wendling & Brondani (2015), from the clonal cultivars BRS408 and BRS409. The experiment was established in a greenhouse at the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Santa Catarina, in Canoinhas, SC (26° 10' S and 23° 50' W, 765 m). The region's climate is Cfb-type (Alvares et al., 2013), with an average annual temperature between 15 and 17 °C.

From soil analysis [4.80 % organic matter (OM), 25 % clay, 5.2 pH_{H2O}; Calcium (Ca), Magnesium (Mg), and Aluminium (Al), respectively, of 5.50, 1.16, and 1.59 cmol_c dm⁻³; phosphorus (P) and potassium (K), respectively, of 1.4 and 172 mg dm⁻³] and the concentration of nutrients in poultry manure [Nitrogen (N): 1.56 %, phosphorus pentoxide (P₂O₅): 6.59 %, potassium oxide (K₂O): 2.51 %, Ca: 1.37 %, and Mg: 0.85 %], we defined doses as D1 - control, D2 - recommended dose (20 g dm⁻³), and D3 - dose 75 % above the recommended dose (35 g dm⁻³) to supply P for the planting phase following the recommendation for fertilization for yerba mate (Wendling & Santin, 2015). Fertilization occurred in two equal applications. The first was homogenized to the soil at seedling planting, and the second was fertilized superficially after three months.

Seven months after experiment establishment, we evaluated height (H), stem diameter (D), leaves fresh weight (LFW), branches fresh weight (BFB), and shoots fresh weight (SFW). After drying in an oven at 65 °C, total dry weight was determined. We obtained total fresh weight (TFW), and H/D and LFW/BFW ratios from these data. Subsequently, leaves were ground in a Wiley mill, and the content of N (Bremner, 1996), P (Braga & Defelipo, 1974), K, Ca, Mg (Tedesco et al., 1995), and S (Alvarez et al., 2001) were determined. After removing the plants, soil was dried and sieved in a 2 mm mesh; this material was used to determine pH, OM, P, K, Ca, Mg and Al, according to the methodology described by Embrapa (1997).

Statistical analysis

Treatments were arranged in a randomized block design, with 4 replications. Each experimental unit consisted of five pots with 2.5 dm³ of soil and one plant per pot. Treatments were arranged in a 3 x 2 factorial scheme (3 doses of organic fertilization x 2 clones). Data of poultry manure characteristics were submitted to one-way analysis of variance and data of plant analysis were subjected to a two-way analysis of variance. When we obtained significant effects of the treatments, means were compared by the Tukey test at a 5 % probability level. We used the R software (R Core Team, 2020) to perform statistical analysis and the Excel software for figures.



3. RESULTS AND DISCUSSION

Fertilization with poultry manure positively affected all variables (Figure 1) in the soil used as a substrate for yerba mate seedlings production. The availability of P and K, as well as pH and base saturation, increased

significantly with the application of poultry manure to the soil. Organic matter and Ca content also increased at the dose of 20 g dm⁻³ of poultry manure. In general, we obtained positive results concerning soil characteristics after adding poultry manure.

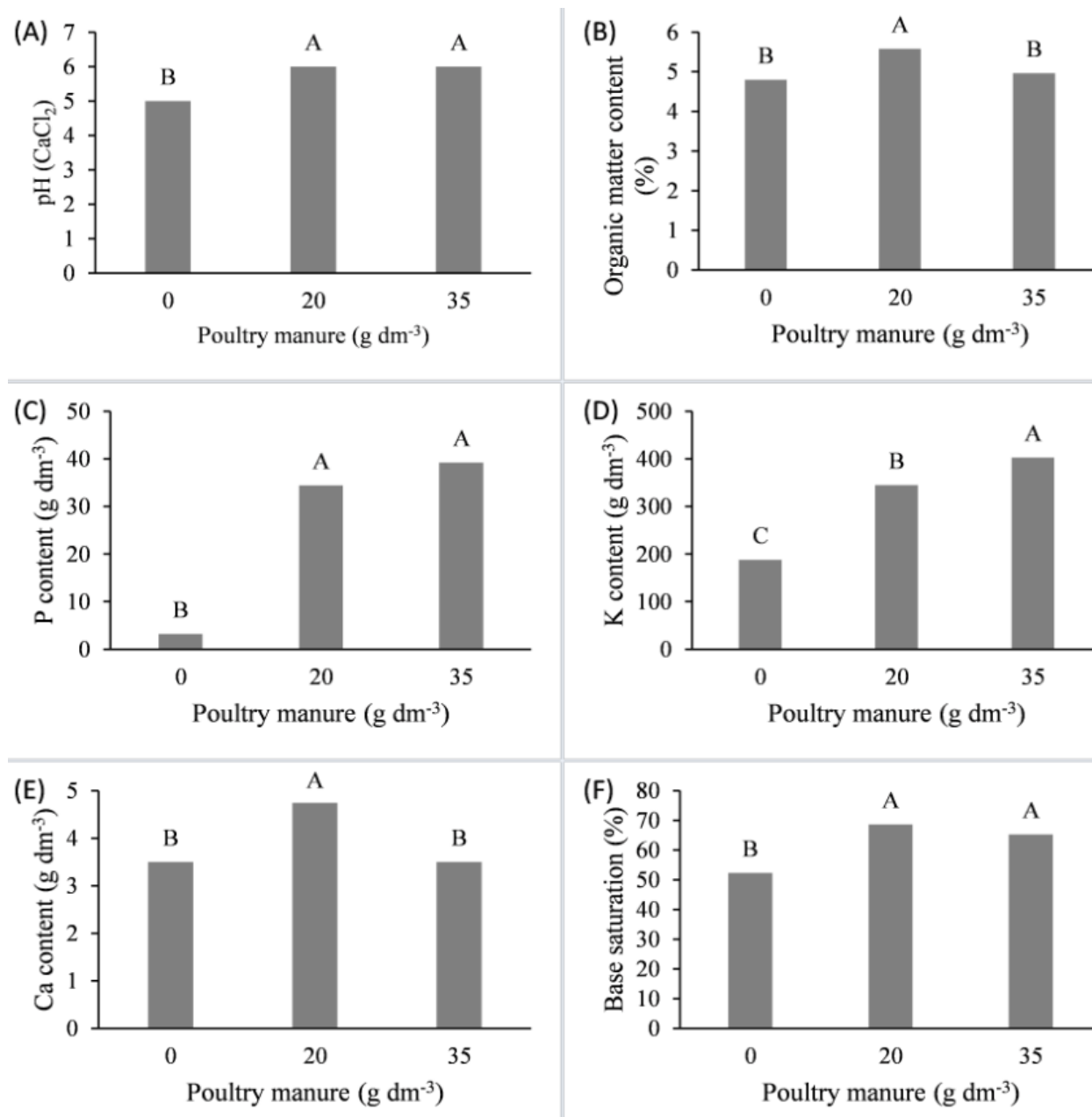


Figure 1. pH (A), organic matter content (B); P content (C), K content (D), Ca content (E), and base saturation (F) of soil used as substrate for *I. paraguariensis* seedlings production. Same capital letters do not differ by the Tukey test at 5 % probability.

Source: Authors.

There is a close relationship between fertility and soil carbon content (Nguyen & Wang, 2016), directly affecting plant growth. In this experiment, there was a significant increase in soil organic matter after adding poultry manure, indicating the possibility of recovering its fertility. In addition to the chemical characteristics evaluated in this study, adding poultry manure to agricultural soil also increases soil aggregation, hydraulic conductivity, porosity, and base saturation (Cayci et al., 2017).

One of the main characteristics of organo-mineral fertilizers is the slow availability of nutrients, which allows for greater use by plants and reduction of losses through leaching (Mažeika et al., 2020). We observed that the availability of nutrients by poultry manure was adequate to the needs of the plants, ensuring the growth and maintenance in a container until the moment of planting. One of the main factors for increasing nutrient availability is maintaining the pH close to 6.5, enabling greater nutrient availability

for plants; however, as yerba mate occurs naturally in acidic soils, the ideal is to keep the Ca availability below $6.5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ (Wendling & Santin, 2015). This condition requires a pH below the optimal availability of nutrients in the soil, as observed in this study.

As a result of changes in the soil, there was an influence of poultry manure on yerba mate seedlings' growth (Figure 2), but without interaction between the factors for these variables. The addition of 20 g dm^{-3} of poultry manure provided positive results for both height and stem diameter of seedlings, although there was no significant difference for height in the treatment with the application of 35 g dm^{-3} of poultry manure. The difference between clones was observed only for height, with clone BRS409 being 6.02 cm larger than clone BRS408 (Figure 2B). Stem diameter varied between 7.58 and 8.95 mm , with the highest value in plants grown with the addition of 20 g dm^{-3} of poultry manure.

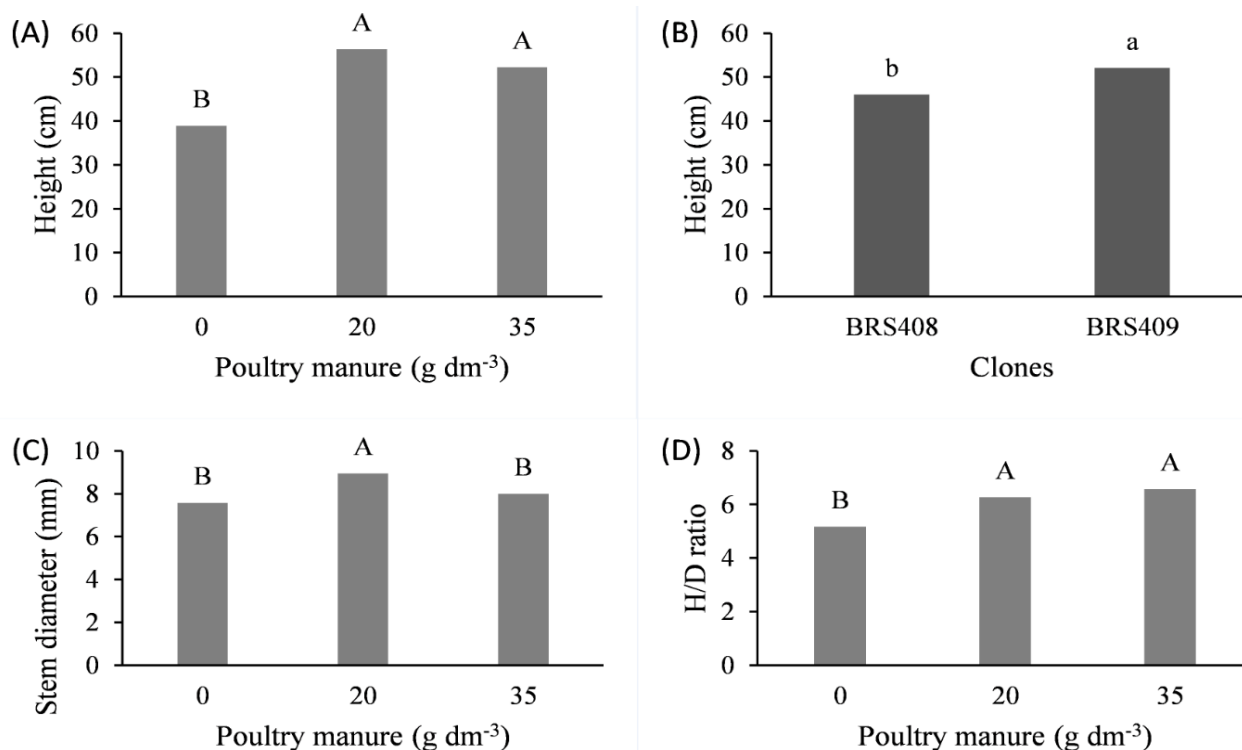


Figure 2. Height (A and B), stem diameter (C), and H/D ratio (D) of *Ilex paraguariensis* seedlings 210 days after planting. Capital letters in poultry manure doses and small letters in clones do not differ by the Tukey test at 5 % probability.

Source: Authors.



Plants submitted to treatment with the addition of 20 g dm⁻³ of poultry manure showed better results for fresh biomass and dry biomass, similar in some cases to plants with the addition of 35 g dm⁻³ of poultry manure (Figure 3A to D). Only LFW, BFW, and TFW presented interaction between the factors used in this experiment.

Clone BRS409 presented better results than BRS408 in treatments in which poultry manure was added, with no difference for total dry biomass (Figure 3C). There were significant differences for the LFW/BFW ratio for the fertilization rates and the clones, although there was no interaction between factors (Figure 3E and F).

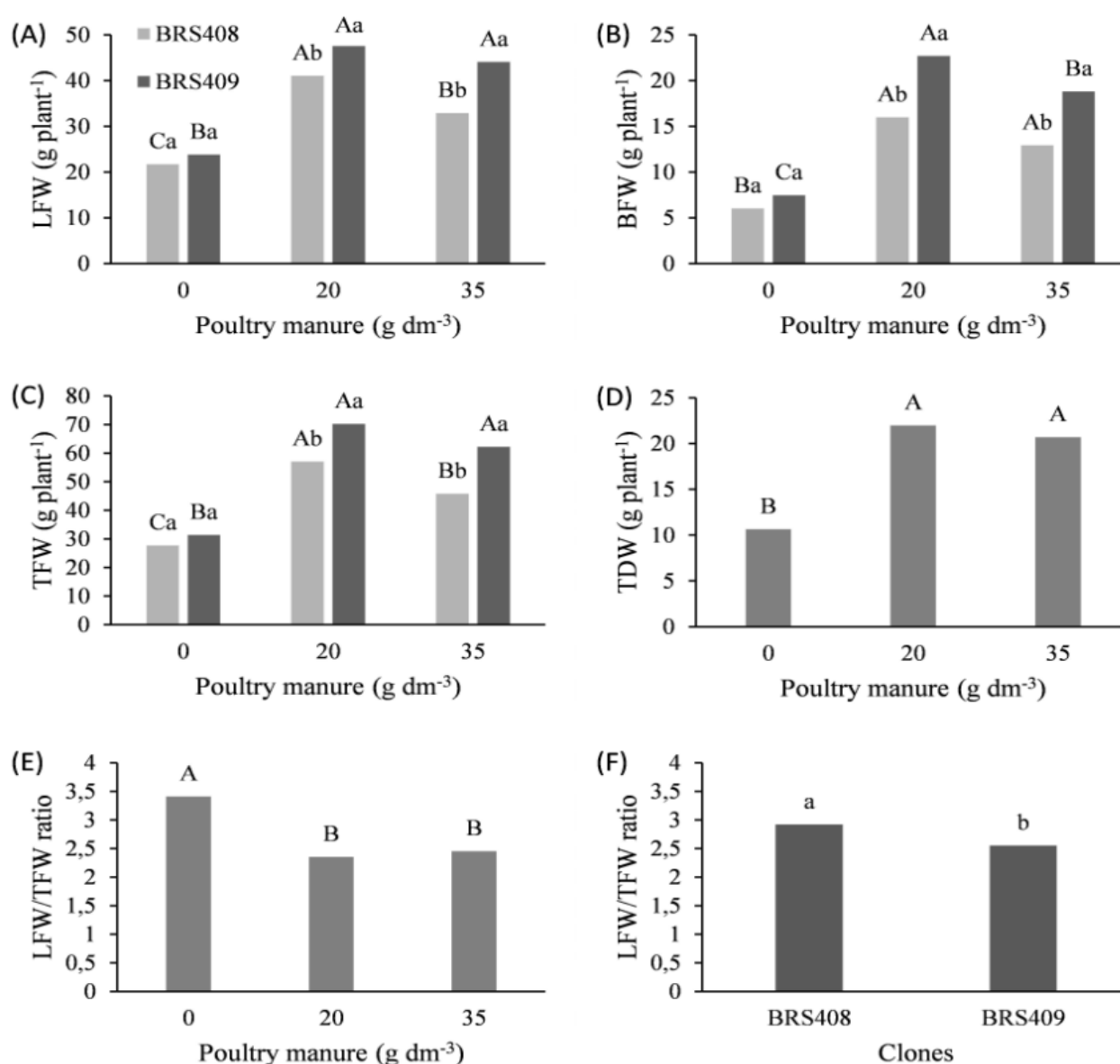


Figure 3. Leaf fresh weight (LFW) (A), branch fresh weight (BFW) (B), total fresh weight (TFW) (C), total dry weight (TDW) (D), and LFW/TFW ratio (E and F) of *Ilex paraguariensis* seedlings 210 days after planting. Same capital letters for poultry manure and same small letters for clones do not differ by the Tukey test at 5 % probability.

Source: Authors

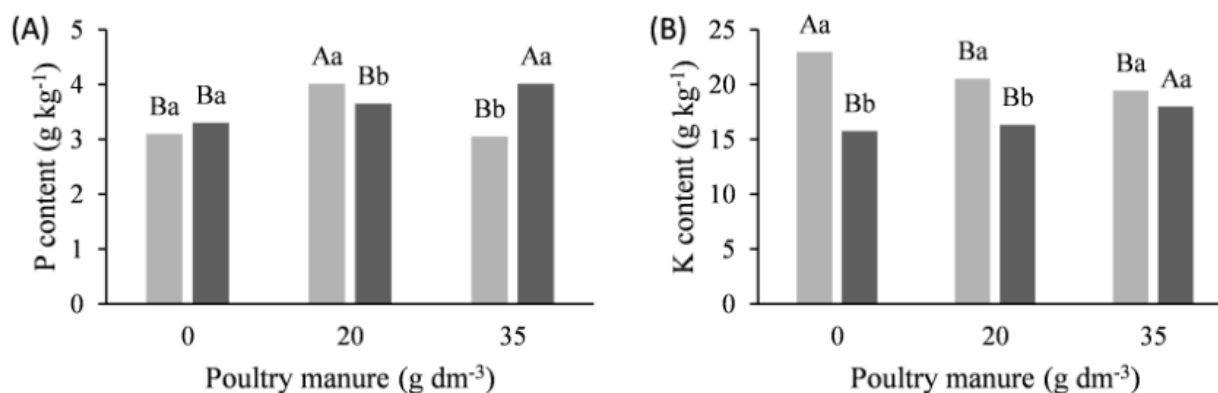
Although yerba mate occurs naturally in acidic and low fertility soils (Carvalho, 2003), several studies have shown its remarkable capacity to respond positively in increasing growth or productivity in soils with greater fertility (Barbosa et al., 2018; Santin et al., 2016, 2017). In addition to aspects related to absorption, it is important to understand how fertilizers influence crop quality, in addition to the ideal amount for nutrients best use (Mažeika et al., 2020). In this experiment, we observed that adding 20 g dm⁻³ poultry manure provided greater seedling growth, indicating a point of maximum utilization of nutrients by plants and differences between genetic materials. Thus, the addition of organic fertilizer is a viable alternative for field planting and seedling production.

Considering that the best seedling growth occurred with the addition of 20 g dm⁻³ of poultry manure (Figure 2), at this dose, the availability in the soil of P₂O₅ (34.3 mg dm⁻³), K₂O (345 mg dm⁻³), and Ca (4.7 mg dm⁻³) is considered, respectively, very high, very high and high level (SBCS, 2017). This result indicates that yerba mate is a much more nutritionally demanding crop than was postulated until recently. Nutrient availability in the soil promotes a positive effect on biomass accumulation in yerba mate seedlings, and each nutrient behaves in a specific way (Santin et al., 2008). The increase in biomass in plants produced in soil fertilized with poultry manure has already been observed by other authors (Mažeika et al., 2020); these fertilizers promote an

increase in crop productivity similar to that provided by mineral fertilizers, which was observed with the increase in LFW in both clones (Figure 3A).

In an experiment with yerba mate seedlings submitted to NPK fertilization, Santin et al. (2008) observed that the species respond positively to the addition of P in height and diameter, as observed in our results. However, this aspect may also be influenced by plants genetic characteristics, considering that the clones used in this study responded differently ways for the height variable. These are the morphological variables most used in determining the quality of seedlings due to their ease of measurement and their non-destructive characteristic (Ivetić et al., 2016). Furthermore, these are considered the best morphological characteristics to predict survival and initial growth in the field, mainly because they are correlated with the size of root system, biomass accumulation, and competitive advantage with other vegetation (Grossnickle & MacDonald, 2018).

Leaf contents of P, K, Mg, and S showed an interaction between clone and poultry manure dose (Figure 4), indicating that, in addition to the applied fertilizer doses, there is an influence of the genetic factor on nutrient accumulation in the plants. N and Ca contents altered only as a function of fertilizer doses, increasing N contents as the poultry manure dose increased and the Ca contents decreased.



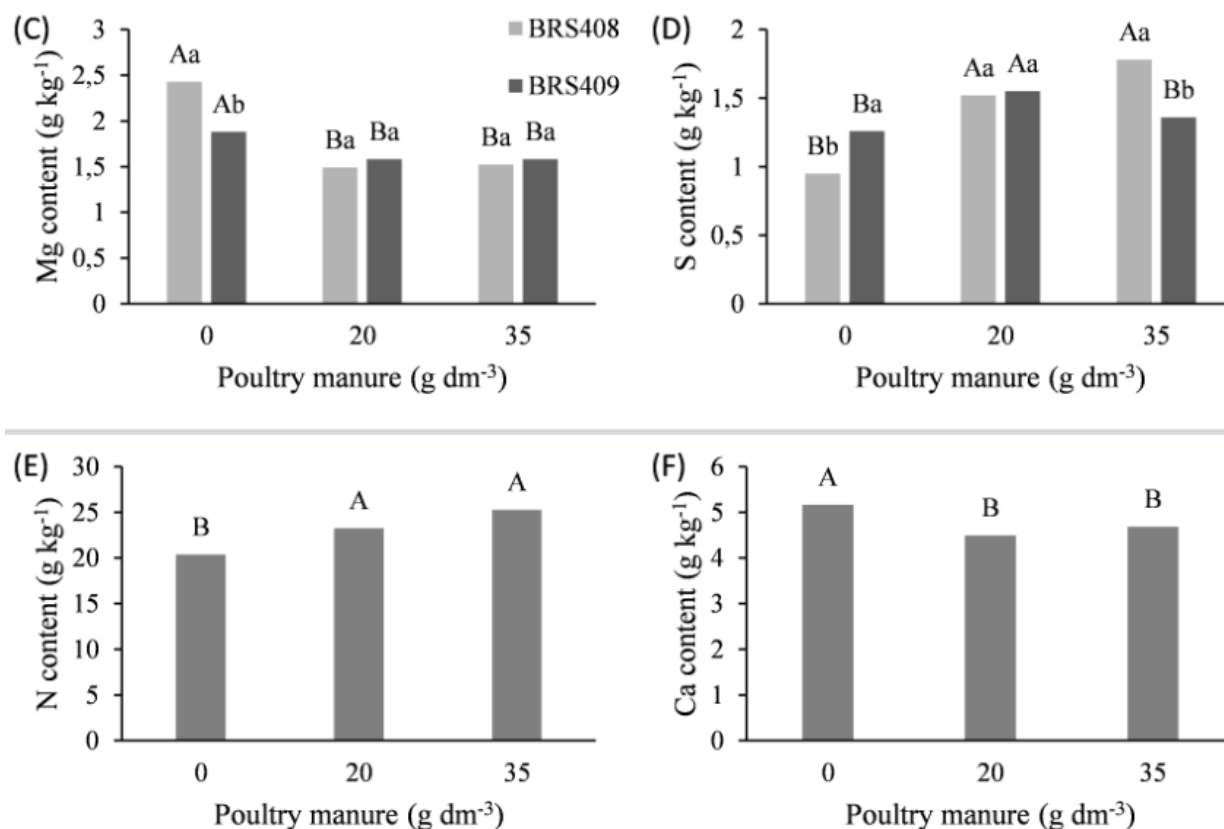


Figure 4. P content (A), K content (B), Mg content (C), S content (D), N content (E), and Ca content (F) in *Ilex paraguariensis* seedlings 210 days after planting. Same capital letters for poultry manure and same small letters for clones do not differ by the Tukey test at 5 % probability.

Source: Authors


Studies using different doses of P and K in the production of yerba mate seedlings indicate that the addition of these nutrients positively influences all plant growth variables (Santin et al., 2017). In the present study, we obtained a significant seedling growth with poultry manure, mainly composed of P and K (6.59 % of P₂O₅ and 2.51 % of K₂O). P is the most present macronutrient in poultry manure composition, and it was the one with the highest leaf content compared to what is commonly found in yerba mate. Leaf content of 1.2 to 1.6 g kg⁻¹ of P is considered adequate for yerba mate (Santin et al., 2017). At the best growth dose, BRS408 presented 4.0 g kg⁻¹ of P (Figure 4A). Mg can explain this high foliar P content in plants in poultry manure, which has a synergistic effect on P absorption, functioning as a carrier and acting directly on ATP synthesis through photosynthesis.

The foliar P content (Figure 4A) was above what commonly occurs in mate seedlings; On the other hand, the foliar Mg content at the recommended dose (around 1.5 g kg⁻¹) is

below the 4.7 g kg⁻¹ indicated as ideal (Santin et al., 2013). However, the foliar content of the other nutrients is higher than those observed in other studies evaluating the influence of soil attributes on yerba mate elemental composition in the field without fertilizers (Toppel et al., 2018). It indicates the capacity of yerba mate to absorb and accumulate nutrients according to their availability in the soil, which was more significant for P, possibly due to the high concentration of these nutrients in the poultry manure. We also observed differences in nutrient content between the clones evaluated, which may be related to absorption patterns or differences in soil exploration by the root system. The reduction in Mg, S, and Ca content, mainly in clone BRS409, may be related to a nutrient dilution effect in the greater volume of fresh weight obtained for treatments or by the greater efficiency of this cultivar in converting nutrients into biomass (Schmitt et al., 2018).


The results obtained in this study indicate the potential use of organic fertilizers in the

production of yerba mate seedlings, which has already been the focus of studies with other species of commercial interest (Cayci et al., 2017; Higashikawa et al., 2016; Nguyen & Wang, 2016; Yaldiz et al., 2019). Based on

these results, it will be possible to establish alternative nutritional management plans, enabling new studies on species response to other organic fertilizers from regional agricultural residues. 

CONCLUSIONS

The addition of poultry manure promotes an increase in soil fertility to produce yerba mate seedlings. The species respond

positively to adding 20 g dm⁻³ of poultry manure to the soil for seedling production, increasing growth and quality. 

AUTHOR'S CONTRIBUTION

Mônica Moreno Gabira: Research, data analysis, writing, original draft and editing.

Delmar Santin: Research, conceptualization, review and editing.

Ivar Wendling : Conceptualization, review and edition.

Eliziane Luiza Benedetti: Resource acquisition, project manager, supervision, conceptualization, review and editing.

de enxofre em solos e plantas. Viçosa: Editora UFV.

Barbosa, J. Z., Motta, A. C. V., Consalter, R., Poggere, G. C., Santin, D., & Wendling, I. (2018). Plant growth, nutrients and potentially toxic elements in leaves of yerba mate clones in response to phosphorus in acid soils. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 90(1), 557–571. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160701>

Braga, J. M., & Defelipo, B. V. (1974). Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Ceres*, 21, 73–85.

Bremner, J. M. (1996). Nitrogen Total. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods* (pp. 1085–1122). Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America.

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

Cayci, G., Temiz, C., & Sözüdogru Ok, S. (2017). The effects of fresh and composted chicken manures on some soil characteristics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(13), 1528–1538. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1373794>

Embrapa. (1997). *Manual de métodos de análise de solo* (No. 1). Rio de Janeiro.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank to Programa Institucional de apoio a projetos de Pesquisa Científica, de Desenvolvimento Tecnológico e de Inovação do IFSC – PROPI (Edital 05/2015), to Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), and to Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES – Financing code 001).

LITERATURE CITED

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>

Alvarez, V. V. H., Dias, L. E., Ribeiro, E. S., & Fonseca, C. A. (2001). *Métodos de análises*



- Ghori, N. H., Ghori, T., Hayat, M. Q., Imadi, S. R., Gul, A., Altay, V., & Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(3), 1807–1828. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02215-8>
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests*, 49(1), 1–34. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>
- Higashikawa, F. S., Silva, C. A., Nunes, C. A., Bettiol, W., & Guerreiro, M. C. (2016). Physico-Chemical Evaluation of Organic Wastes Compost-Based Substrates for Eucalyptus Seedlings Growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(5), 581–592. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146741>
- Ivetić, V., Devetaković, J., & Maksimović, Z. (2016). Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. *Reforesta*, (2), 6–21. <https://doi.org/10.21750/refor.2.02.17>
- Mažeika, R., Arbačiauskas, J., Masevičienė, A., Narutytė, I., Šumskis, D., Žičkienė, L., ... Baltrusaitis, J. (2020). Nutrient dynamics and plant response in soil to organic chicken manure - based fertilizers. *Waste and Biomass Valorization*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00978-7>
- Nguyen, V. T., & Wang, C. H. (2016). Effects of organic materials on growth, yield, and fruit quality of honeydew melon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(4), 495–504. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1123723>
- R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.r-project.org/>
- Santin, D., Benedetti, E. L., Barros, N. F. De, Almeida, I. C. De, & Wendling, I. (2016). Intervalos de colheita e adubação potássica influenciam a produtividade da erva-mate. *Floresta*, 46(4), 509–518. <https://doi.org/10.5380/rf.v46i3.41551>
- Santin, D., Benedetti, E. L., Barros, N. F. de, Fontes, L. L., Almeida, I. C. de, Neves, J. C. L., & Wendling, I. (2017). Manejo de colheita e adubação fosfatada na cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em fase de produção. *Ciência Florestal*, 27(3), 783–797.
- Santin, D., Benedetti, E. L., Bastos, M. C., Kaseker, J. F., Reissmann, C. B., Brondani, G. E., & Barros, N. F. de. (2013). Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. *Ciência Florestal*, 23(2), 363–375. <https://doi.org/10.5902/198050989282>
- Santin, D., Benedetti, E. L., Brondani, G. E., Reissmann, C. B., Orrutía, A. G., & Roveda, L. F. (2008). Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. *Scentia Agraria*, 9(1), 59–66.
- Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo. Núcleo Estadual Paraná (2017). Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR. 482p.
- Schmitt, D. E., Vendrusculo, R. B., Gatiboni, L. C., Santin, D., Wendling, I., Dall’Orsoletta, D. J., & Coldebella, F. D. (2018). Teor crítico de enxofre no solo para o estabelecimento de clones de erva-mate no Sul do Brasil. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 17(1), 70–76. <https://doi.org/10.5965/223811711712018070>
- Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). *Análises de solo, plantas e outros materiais*. (No. 5). Porto Alegre.
- Toppel, F. V., Junior, A. M., Motta, A. C. V., Frigo, C., Magri, E., & Barbosa, J. Z. (2018). Soil chemical attributes and their influence on elemental composition of yerba mate leaves. *Floresta*, 48(3), 425–434. <https://doi.org/10.5380/rf.v48>
- Wendling, I., & Brondani, G. E. (2015). Vegetative rescue and cuttings propagation

of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Árvore*, 39(1), 93–104. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100009>

Wendling, I., & Santin, D. (2015). *Propagação e nutrição de erva-mate*. Brasília: Embrapa.

Yaldiz, G., Çamlıca, M., Özen, F., & Eratalar, S. A. (2019). Effect of poultry manure on yield and nutrient composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(7), 838–852. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1589488>

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 ACEITES ESENCIALES Y PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE *Mentha spicata* CULTIVADA EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS Y CAMAS CONTENIDAS

ESSENTIAL OILS IDENTIFICATION AND PRODUCTIVE PARAMETERS OF *Mentha spicata* GROWN IN AQUAPONIC SYSTEMS AND BEDS OF SEEDING

Diego Fernando Cárdenas • diegof.cardenas@unad.edu.co

Magister en Biología Aplicada, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá-Cundinamarca, Colombia.

Ana Constanza Torres Mesa • ana.torres@unimilitar.edu.co

Magister en Biología Aplicada, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá-Cundinamarca, Colombia.

Edwin Gómez Ramírez • edwin.gomez@unimilitar.edu.co

Magister en acuicultura, Universidad de los Llanos, Cajicá-Cundinamarca, Colombia.

Citación: Cárdenas, D., Torres, A. y Gómez, E. (2022). Identificación de aceites esenciales y parámetros productivos de *Mentha spicata* cultivada en sistemas acuapónicos y camas contenidas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 149 – 163. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4704>

RESUMEN

Contextualización: Es de amplio conocimiento el hecho de que los sistemas de producción agrícola han estado en procesos de mejora para ser cada día más eficientes. Lo anterior con el objetivo de alcanzar la demanda básica de alimentos en un menor espacio de cultivo. Los sistemas acuapónicos permiten aumentar la producción de cultivos de interés comercial y nutricional en una pequeña área, haciendo uso más racional de los recursos naturales.


Vacío de conocimiento: Son pocos los estudios de aceites esenciales en plantas aromáticas, tanto a nivel nutricional como medicinal, cultivados en sistemas acuapónicos. De estos, la menta es uno de los cultivos que presenta más potencial en la medicina, por sus múltiples características bioactivas.

Propósito: Este trabajo evaluó los metabolitos secundarios presentes en aceites esenciales de plantas de menta (*Mentha spicata*) cultivadas en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y también sus parámetros productivos, en comparación con un cultivo en cama contenida.

Metodología: Se implementaron tres sistemas acuapónicos de 3 m² para siembra de plantas y la misma área en cultivos en cama contenida (9 m²). Mensualmente se realizaron mediciones de crecimiento en las plantas y los peces. Semanalmente se midieron los parámetros de calidad de agua: NAT, nitrito, nitrato, fosfatos y pH. Al final del cultivo se realizó la extracción de aceites esenciales por el método de arrastre por vapor. Luego se obtuvieron las matrices y

se caracterizaron bajo un modelo de CG-MS, comparando el área y tiempo de retención de los compuestos hallados en ambos cultivos.

Resultados y conclusiones: Las muestras extraídas de los sistemas acuapónicos presentaron una mayor diversidad de compuestos en comparación con las camas contenidas. El compuesto más abundante en ambos sistemas fue la *menta-Furanona*, siendo mayor en los sistemas acuapónicos. La menta desarrollo un mayor porcentaje

de crecimiento en los sistemas acuapónicos, presentando una mayor biomasa, número de tallos y parámetros productivos. Este trabajo sugiere que las plantas cultivadas bajo sistemas acuapónicos presentan una mayor diversidad de compuestos al ser evaluadas bajo diferentes enfoques, en contraste con lo observado en las plantas de un cultivo tradicional en cama contenida. 

Palabras clave: producción limpia; metabolitos secundarios; menta; sistemas de recirculación; CG-MS

ABSTRACT


Contextualization: It is widely known that agricultural production systems have been in processes of improvement to become more efficient every day. The objective is to achieve the basic food demand in a small space. The aquaponics systems allow to increase the production of crops of commercial and nutritional interest in a minor area, with a rational use of natural resources.

Knowledge gap: There are few studies about essential oils in aromatic plants, focused on nutritionally and medicinally topics, which have been cultivated in aquaponic systems. Mint is one of the crops with greatest potential in alternative medicine, due to its multiple bioactive characteristics.

Purpose: This research evaluated the secondary metabolites present in essential oils of mint plants (*M. spicata*) from an aquaponic system with red tilapia (*Oreochromis* sp.) and its productive parameters, compared with a harvest in a bed of seeding.

Methodology: Three aquaponics systems (3 m²) were employed for planting plants, and the same area in a bed of seeding (9

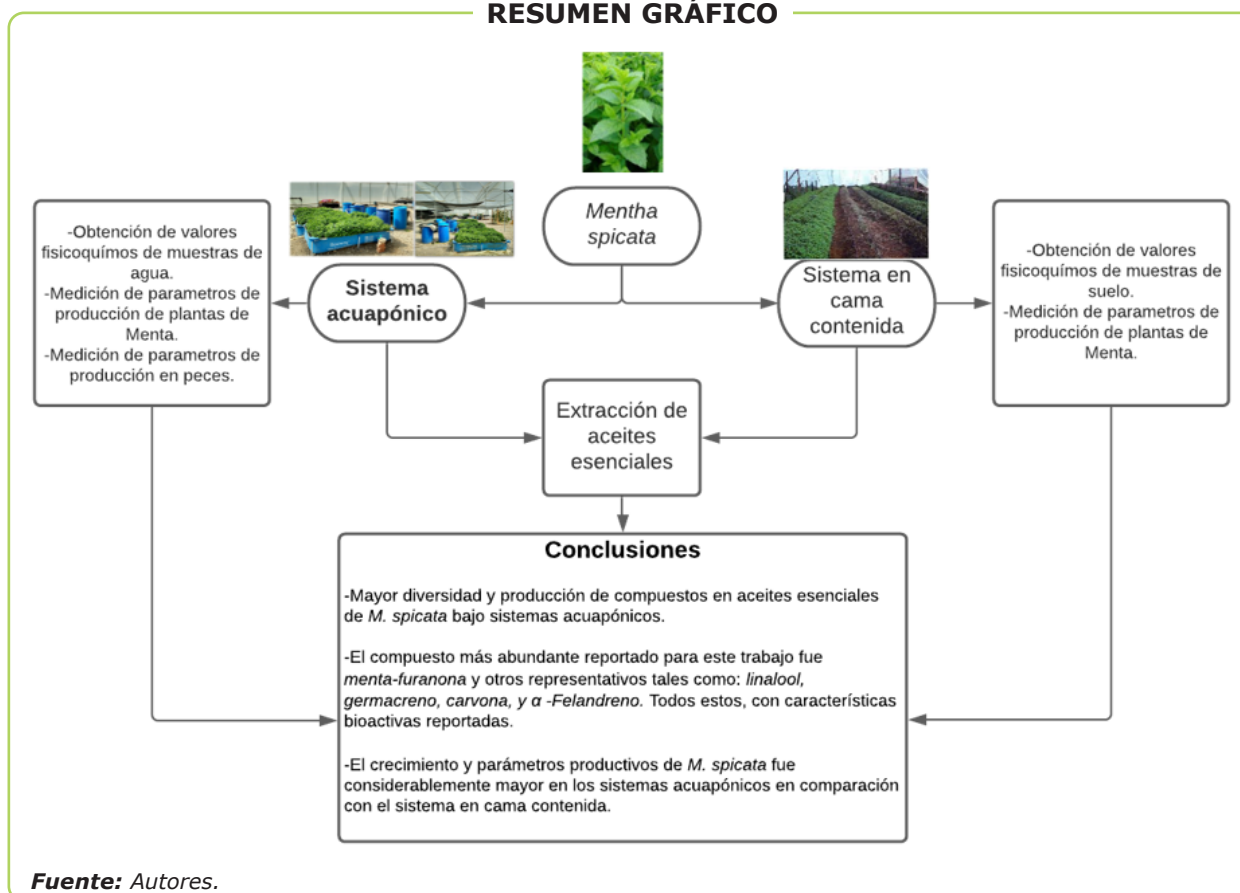
m²). Plant and fish growth measurements were conducted monthly. The water quality parameters were measured weekly: NAT, nitrite, nitrate, phosphates, and pH. The extraction of essential oils was carried out by the steam drag method. The matrices obtained were characterized under a GC-MS model, comparing the area and retention time of the compounds found in both culture systems.

Results and conclusions: Samples extracted from aquaponic systems exhibited a higher diversity of compounds compared to the bed of seeding. The most abundant compound in both systems was mint-Furanone, which was higher in the aquaponic systems. The mint grew considerably better in aquaponic systems, showing higher biomass, number of stems and productive parameters. This work has demonstrated that aquaponic systems have a greater diversity of compounds and better performance than traditional culture in bed of seeding. 

Keywords: Clean production; secondary metabolites; peppermint; recirculation systems; CG-MS



RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de las plantas que generan algún interés biológico, como la posibilidad de extracción de aceites esenciales, es una de las mayores aplicaciones en la fitoquímica. En la mayoría de los casos, estos aceites serán matrices ricas en compuestos, con alguna actividad biológica (Ambrosio et al., 2017). Estos aceites esenciales son compuestos volátiles, naturales y complejos; que presentan un fuerte olor y hacen parte constitutiva de la mayoría de las plantas aromáticas, siendo productos de su metabolismo secundario (Chouhan et al., 2017). Sus actividades biológicas pueden llegar a ser de tipo antioxidante, antiangiogénico y antidiabético, entre otras (Tahir et al., 2016).

Los aceites esenciales pueden presentar cambios en cantidad y composición, debido a factores extrínsecos e intrínsecos como: el clima; componentes del sustrato; el órgano, etapa y edad de la planta donde se toma la muestra (Masotti, et al., 2003; Angioni et

al., 2006). La composición y estimación de la cantidad de dichos aceites determina la actividad de estos (Croteau et al., 2000). Se estima que el carvacrol en un 30 % y el timol 27 %, son los principales componentes del aceite del orégano (*Origanum compactum*). En estudios exploratorios de fitoconstituyentes en hinojo (*Anethum graveolens*), el limoneno está presente en un 31 %, carvona 58 % En el aceite esencial de *Mentha piperita* (*Mentha X Piperita*), el mentol está presente en un 59 % y la mentona en un 19 % (Betts, 2001; Bowles, 2001; Pichersky et al., 2006).

Por otra parte, el desarrollo de cultivos en sistemas acuapónicos comprende un amplio grupo de especies vegetales de interés comercial y/o medicinal (Somerville et al., 2016). Rakocy (2012) manifiesta que las plantas aromáticas son la mejor opción en acuaponía, ya que generan el nivel más alto de ingresos por unidad de área y tiempo de cultivo. Estos sistemas generan dos productos, uno ligado a la acuicultura (peces, moluscos y crustáceos) y otro enfocado a la

producción de plantas de interés comercial. Dentro de las plantas de interés económico se encuentran las plantas aromáticas (Konig et al., 2018).

Los sistemas acuapónicos están diseñados para funcionar conceptualmente como un sistema eficiente de reciclaje ecológico (Eck et al., 2019; Greenfeld et al., 2019). El funcionamiento de estos sistemas se basa en el uso de los productos de desecho generados por los organismos acuáticos y residuos de alimentos, los cuales son transformados por la actividad microbiana en nutrientes para las plantas, evitando la descarga y contaminación de efluentes hídricos (Ramírez et al., 2009). Debido al reciclaje de estos nutrientes, se ha encontrado que los sistemas acuapónicos hacen uso racional del agua entre un 0.3 y 5.0 % de la totalidad del sistema, sin necesidad de hacer recambios todos los días (Maucieri et al., 2018). Dentro de las diferentes ventajas de los sistemas acuapónicos, están que estos requieren un bajo uso de fertilizantes comparados con la agricultura convencional y sistemas hidropónicos (Pérez-Urrestarazu et al., 2019). Estos pueden instalarse casi en cualquier sitio: zonas urbanas o rurales, y a pequeña, mediana o gran escala (Junge et al., 2017).

Los sistemas acuapónicos con plantas aromáticas se han centrado en la producción en fresco de material vegetal, siendo casi inexploradas las características y/o composición de matrices complejas de compuestos, como lo son los aceites esenciales (Wilson et al., 2017). Con la intención de explorar estas características, este estudio evaluó los metabolitos secundarios presentes en aceites esenciales de plantas de menta (*M. spicata*) y además sus parámetros productivos, tanto de un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*) como de uno en cama contenida, determinando sus parámetros de producción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en invernaderos de acuaponía y horticultura de la Universidad Militar Nueva Granada, sede Campus, ubicada en el municipio de Cajicá, con latitud

4°56'34.7" y longitud 74°00'55.9", a una altura de 2559 m. s. n. m. y una temperatura media de 14°C.

Diseño sistemas Acuapónicos

Se trabajó con tres sistemas acuapónicos de las mismas características estructurales. Estos constaban de un tanque de peces de 1 m³ y dos recipientes cilíndricos de 0,2 m³, los cuales funcionaban como filtro mecánico (clarificador) y un biofiltro. En el biofiltro se utilizó como sustrato anillos plásticos de tubería Conduit, con un volumen aproximado de 5 811.6 mm³. El sistema hidropónico fue de tipo de cama flotante (Raft), el cual estaba compuesto por una piscina de 1m³ de volumen y 3 m² de área para siembra de plantas. Se utilizó como sustrato una espuma de polietileno expandido de 1.5 cm de espesor (jumbolon) y las plantas se sembraron a una densidad de 25 plantas m² (Somerville et al., 2016). Para la recirculación se utilizó una bomba de agua sumergible de 1 400 L/h (Resun®). La aireación para todos los sistemas acuapónicos se realizó con una turbina de aire de 370 W (Resun®), con una potencia de ½ hp. En cada sistema acuapónico se instalaron ocho piedras difusoras en el tanque de peces y cuatro en el biofiltro (Figura 1).

Sistema de cama contenida

Para la siembra en cama contenida se trabajó en camas de 9.00 m de largo x 1.00 m de ancho donde estaban dispuestas cuatro hileras de plantas. La cama se dividió en tres parcelas de 3 m², obteniendo tres repeticiones con la misma área que contaban los sistemas acuapónicos. El riego fue proporcionado por un sistema de goteo donde estaban dispuestas cuatro líneas de riego. Antes de la siembra se realizó un análisis de suelo con el fin de determinar la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo del cultivo de menta (Anexo 1). Las plantas finalmente se sembraron, a una densidad de 25 plantas/m², para un total de 75 plantas por parcela de 3 m², teniendo en cuenta lo sugerido anteriormente para los sistemas bajo hidroponía.

Parámetros de crecimiento de plantas y peces

Las plántulas de menta (*M. spicata*) se adquirieron en el Centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (Colombia).



Figura 1. Sistemas acuapónicos para menta (*M. spicata*) con tilapia roja (*Oreochromis sp.*).

Fuente: autores.

Estas plantas presentaban un peso fresco de $4,45 \pm 1,65$ g, una longitud total de $3,11 \pm 0,46$ cm y un número de tallos $1,5 \pm 0,50$. Se evaluó el crecimiento y los parámetros productivos de plantas y peces a partir de lo propuesto por Ramírez et al. (2011): Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = (1/AT) * (PS2 - PS1 / T2 - T1)$ y la Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) $\text{g} \cdot \text{día}^{-1} = (PS2 - PS1) / (T2 - T1)$. Al finalizar el estudio se tomó el 10 % de las plantas de ambos sistemas y se registró el peso seco, para lo cual fueron secadas en un horno Memmert® a 25 °C por ocho días.

Treinta y seis peces se adquirieron en empresas piscícolas especializadas y se mantuvieron en sistemas acuapónicos en el invernadero de Ictiología de la Universidad Militar Nueva Granada. Las tilapias rojas (*Oreochromis sp.*) se alimentaron tres veces al día (8:00, 12:00 y 16:00 h) con alimento comercial al 32 % de proteína cruda al 1.5 % de su biomasa. Se les registró el peso, longitud total y estándar, tanto al inicio como al final del experimento (Tabla 3). A partir de estos datos se estimaron los parámetros productivos: Ganancia de Peso (GP) = peso final – peso inicial y Supervivencia (S) = (número de peces final/número de peces inicial) * 100 (Ramírez et al., 2011 y Riaño et al., 2015).

Extracción de aceites esenciales

Los aceites esenciales fueron obtenidos bajo la técnica de destilación con arrastre por vapor. Una cantidad de 30 g de material

vegetal fue dispuesta en un balón aforado y luego fue sometida a una corriente de vapor de agua sobrecalentada (200 mL). Se estableció un tiempo de destilación de una hora a partir de la primera gota del destilado y la matriz fue recolectada y depurada en un volumen de 30 mL de diclorometano, esto se realizó tres veces para eliminar el exceso de agua. Para lo anterior se realizaron tres repeticiones en cada uno de los sistemas (sistemas acuapónicos y camas contenidas) (Boutekedjiret et al., 2003)

Análisis cromatográfico

Los aceites esenciales obtenidos se analizaron con un cromatógrafo de gases Thermo Scientific Trace 1300, acoplado a un detector de espectrometría de masas (MSD) Thermo Scientific ISQ LT con analizador de cuadrupolo. Se inyectó 1 μL en forma de relación Split 30. Como rampa de temperatura se empezó con 40 °C y se mantuvo durante 5 minutos, luego se elevó la temperatura a 290 °C y se mantuvo durante 15 minutos. La forma de ionización de la muestra fue mediante impacto electrónico, siendo el gas de arrastre el helio grado 5. Todas las muestras fueron preparadas a una concentración de 1 mg/mL en hexano grado GC/MS (Plazas-Jiménez et al., 2016).

Análisis estadístico

Los resultados son presentados como el promedio \pm de la desviación estándar. A todas las variables evaluadas se les validaron los supuestos de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) y que presentaran una

distribución normal (prueba de Shapiro Wilk). Después se realizó una prueba de T-Student para comparar si había diferencias entre los sistemas acuapónicos y los de cama contenida. Todos los análisis estadísticos se desarrollaron usando el software R 3.2.3 de libre distribución en internet.

Parámetros de calidad de agua y nutrientes

Semanalmente se registraron los valores de pH con una sonda Hanna® HI 9829.

Los niveles de nitrógeno amoniacal total (NAT), nitrito (NO₂-N), nitrato (NO₃-N) y fosfato (PO₄-P) se registraron con kits de alta sensibilidad Merck® y se analizaron los valores de absorbancia en un equipo Spectroquant Multy®. Para mantener los parámetros de calidad de agua y nutrientes en niveles adecuados se realizaron las siguientes enmiendas semanales en los sistemas acuapónicos: 20 g de bicarbonato de sodio y 45 g de quelato de hierro en forma de DTPA (Rakocy et al., 2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Parámetros productivos de menta (*M. spicata*)

	Sistema acuapónico		Cama contenida	
	Fresco	Seco	Fresco	Seco
Peso final/planta (g)	328,55 ± 96,19a	60,58 ± 29,78a	102,59 ± 45,59b	16,75 ± 8,53b
Biomasa (kg)	14,42 ± 1,06a	2,85 ± 0,22a	4,62 ± 0,33b	0,74 ± 0,03b
Porcentaje de agua (%)	82,38 ± 3,89a		84,32 ± 3,34a	
TCC/ sistema	0,33 ± 0,067a		0,09 ± 0,02b	
TCA/sistema	1,00 ± 0,20a		0,27 ± 0,06b	
Altura final	40,17±5,32a		37,33±6,27a	
Número de tallos	52,05±10,05		24,77±7,05	
Rendimiento Kg/m ²	8,21a		1,90b	

TCC: tasa de crecimiento del cultivo; TAC: tasa de crecimiento absoluto. Cada valor representa la media aritmética ± y la desviación estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas (P < 0.05).

Fuente: autores.

En la **tabla 1** se observa que tanto las variables de crecimiento como los parámetros de rendimiento bajo sistemas acuapónicos fueron mejores que los del cultivo en cama contenida; especialmente en términos de peso final, biomasa, TCC (tasa de crecimiento en el cultivo), TCA (tasa de crecimiento absoluto), altura final y número de tallos. Lo anterior demuestra que los sistemas acuapónicos son más productivos por unidad de área en comparación con un sistema de agricultura tradicional (Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

Este trabajo presentó rendimientos incluso mejores que otros sistemas acuapónicos, alcanzando 8.21 Kg/m². Al comparar los rendimientos con los obtenidos por Espinosa-Moya et al., (2018), se observa

una notable diferencia de 0.83 ± 0.072 Kg/m² para *M. spicata* y 5.98 ± 0.32 Kg/m² para otra variedad de menta *M. piperita*. Es importante mencionar que Espinosa-Moya et al. (2018) empezaron con plantas de 90 días de emergencia y realizaron 51 días de experimentación, mientras que en el presente trabajo las plántulas tenían 15 días y se finalizó con alrededor de 84 días de experimentación. Los datos de altura final de las plantas y número de tallos en ambos sistemas parecen indicar que la gran diferencia en rendimiento es atribuida al mayor número de tallos generados en los sistemas acuapónicos (Tabla 1). Lo anterior reafirma los buenos resultados obtenidos en esta investigación con un sistema acuapónico sencillo, económico y funcional.



Los valores en TCC y TCA fueron estadísticamente mejores en los sistemas acuapónicos, como ya se había mencionado en comparación con los de cama contenida (Tabla 1). Sin embargo, se tiene la premisa de que, en estudios anteriores, la TCA fue

menor a la obtenida por Espinosa-Moya et al., (2018). Esto posiblemente se deba a que se trabajó con plantas de mayor tamaño y edad, por lo que aumentaban más gramos al día.

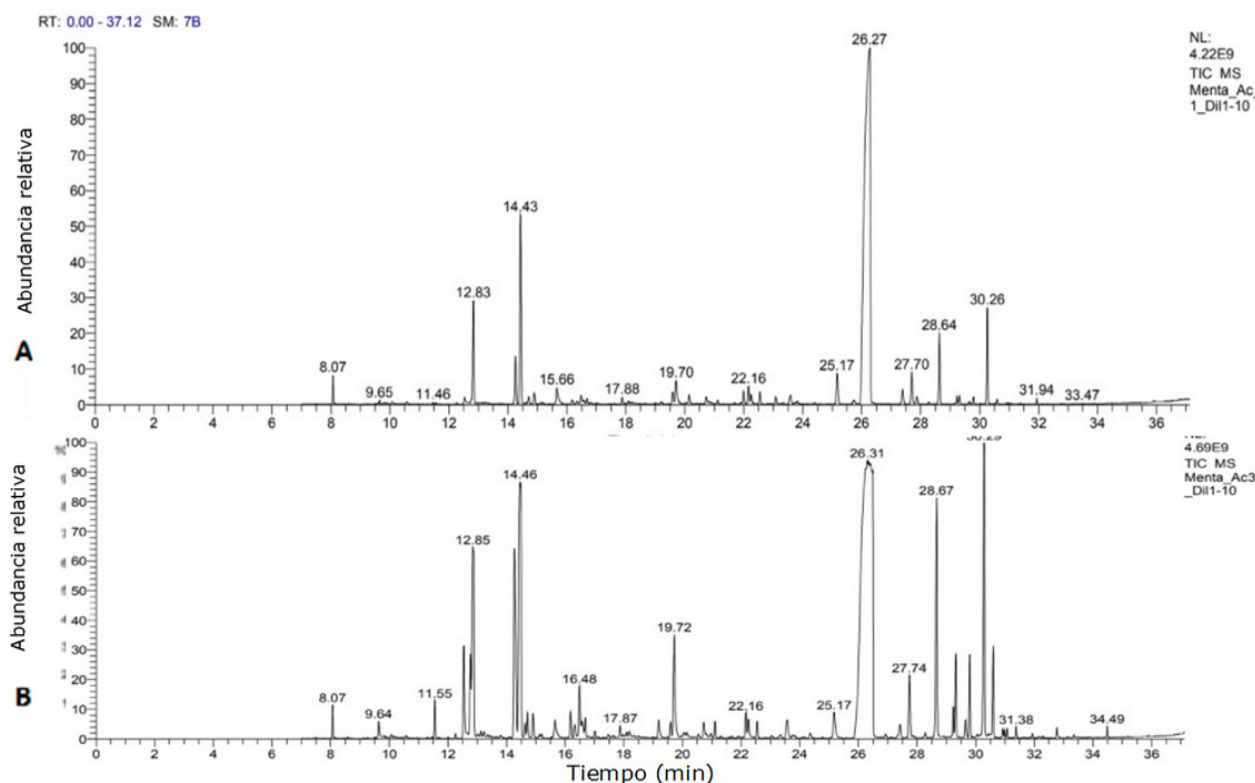


Figura 2. Perfiles cromatográficos representativos bajo GC-MS de muestras de aceites esenciales de *M. spicata*. (A) Perfil cromatográfico obtenido de muestras en sistema de cama contenida y (B) Perfil cromatográfico obtenido de muestras en sistema acuapónico. **Fuente:** autores.

En la **figura 2** se puede observar que el sistema acuapónico presenta una mayor diversidad de compuestos con una mayor abundancia, todo lo anterior comparado con el sistema en cama contenida. Esto se evidencia por la cantidad de “picos” en los cromatogramas y la abundancia relativa que se observa. Lo anteriormente mencionado apoya al hecho de contar con matrices ricas en compuestos con propiedades bioactivas, tales como: antiinflamatorias (Andrade & De Sousa, 2013), antioxidantes (Singh et al., 2015), antimicrobianas (Singh et al., 2015), entre otras características sin estudiar. Cabe mencionar que la producción de estas plantas es bajo sistemas de producción limpia, libre de pesticidas, y lo apoya el hecho de tener matrices de compuestos libres de sustancias

toxicas o que a su vez estén acompañadas de ellas (Goddek et al., 2015).

Como se puede observar en la **tabla 2**, el compuesto *menta-furanona*, con valor en porcentaje de 52.11 ± 10.04 % en sistemas acuapónicos, fue el compuesto mayoritario dentro de todas las muestras. Según lo reportado por Štefanidesová et al. (2019) este compuesto resulta ser el más abundante para esta especie, aunque en valores máximos hasta del 33 %, lo que evidencia que los sistemas acuapónicos para la producción de este metabolito son óptimos. Este compuesto presenta actividad, reportada en estudios, antioxidante (Surendran et al., 2017; Hameed et al., 2015) y antimicrobiana (Aprotosoai et al., 2018; He et al., 2016). Teniendo en cuenta lo anterior, esto se sumaría al hecho de

tener matrices no solo ricas en compuestos, sino que, a su vez, tengan una característica bioactiva.

Compuestos como *linalool*, *limoneno* y *1,8 cineol (eucaliptol)* se identificaron en mayor cantidad en los sistemas acuapónicos. Estos isoprenoides de diez carbonos son derivados de la vía del mevalonato en plantas, siendo esta una de las principales vías para la producción en masa de compuestos de interés. Los compuestos anteriormente mencionados, según estudios realizados con anterioridad, son capaces de inhibir el crecimiento de células tumorales, tanto “*in vitro*” como “*in vivo*”, de las líneas tumorales HepG2 y A549 (Rodenak Kladniew et al., 2012).

En términos generales, en un cultivo convencional de *M. spicata* los principales compuestos encontrados son: carvona

(60,72-68,09 %), limoneno (14,23 - 16,41 %), α -pineno (0,12 -3,14%), β -mirceno (0,35 - 2,33 %), 1,8-cineol (1,69 - 2,73 %) cis-di-hidrocarvona (1,82-2,31 %), trans -craveol (1,09 - 1,19 %), β -bourboneno (2,44 - 3,17 %) y β -cariofileno (1,42 - 1,82 %) (Meloni et al., 2019). La mayoría de estos compuestos presentan propiedades antioxidantes cuando alcanzan valores de IC₅₀ entre 7,5-12,06 μ g/mL (método DPPH) y de 26,94-38,14 μ g/mL (método β -caroteno/ácido linoleico) (Meloni et al., 2019), esto suma importancia en el sector nutraceutico y/o estético. A partir de los resultados obtenidos se puede decir que ambos sistemas de producción exhibieron estos compuestos, no obstante, tendieron a ser más abundantes en la matriz obtenida de las plantas de menta acuapónicas, recordando de nuevo el perfil cromatográfico obtenido.

Tabla 2. Compuestos obtenidos en la caracterización de los aceites esenciales de *M. spicata*

Pico	Tr (min)	Compuesto	Tipo	Porcentaje área (%)	
				Sistema acuapónico	Cama contenida
1	10.07	<i>p</i> -Xileno	Hidrocarburo aromático	np	0.08 ± 0.04
2	12.54	<i>a</i> -Felandreno	Monoterpeno	4.52	0.90 ± 0.25
3	12.83	<i>a</i> -Pineno	Terpeno	8.77 ±3.81	10.89 ± 2.77
4	14.08	<i>Cimeno</i>	Monoterpeno	0.15	np
5	14.43	<i>Eucaliptol</i>	Monoterpeno	12.18 ± 2.18	20.16 ± 2.71
6	14.63	<i>3-careno</i>	Monoterpeno	np	0.34 ± 0.14
7	15.2	<i>Terpineno</i>	Monoterpeno	0.11	np
8	15.69	<i>Terpineol</i>	Monoterpeno	0.67 ± 0.44	0.52 ± 0.14
9	16.18	<i>Limoneno</i>	Monoterpeno	0.34 ± 0.15	0.31 ± 0.12
10	16.48	<i>a</i> -Linaliol	Terpeno	1.54 ± 0.58	1.43 ± 0.58
11	17.87	<i>Ciclohexanona, 2-(1-metiletilideno)</i>	Terpeno	0.64 ± 0.08	0.35 ± 0.12
12	19.2	<i>a</i> -terpineol	Terpeno	0.26 ± 0.21	np
13	19.72	<i>p</i> - <i>Cimen</i> -8-ol	Benceno	2.08 ± 0.55	0.69 ± 0.40
14	20.15	(1 <i>R</i>)(-) <i>Mirtenal</i>	Terpeno	0.39 ± 0.04	0.29 ± 0.18
15	20.73	<i>Fenol</i> , <i>o</i> -(2-metilalil)-	Fenol	0.72	0.56 ± 0.20
16	22	<i>Ascaradiol</i>	Monoterpeno	np	2.71 ± 2.0
17	22.55	<i>Carvona</i>	Monoterpeno	0.49	0.24
18	23.15	<i>Timol</i>	Monoterpeno	0	0.25 ± 0.05
19	23.82	<i>p</i> - <i>Mentan</i> -3-one, 1,2-epoxi-	Monoterpeno	0.53	0.47 ± 0.47
20	25.15	<i>Crisantenona</i>	Monoterpeno	0.83	0.60 ± 0.40
21	25.17	2- <i>Pinen</i> -4-ona	Monoterpeno	1.02 ± 0.73	np
22	25.66	<i>Eugenol</i>	Monoterpeno	0.39 ± 0.13	0.31 ± 0.10



23	26.18	<i>Menta-furanona</i>	Butenolide	52.11 ± 10.04	41.0 ± 4.52
24	26.88	<i>Copaena</i>	Sesquiterpeno	0.08	np
25	28.63	<i>Cariofileno</i>	Sesquiterpeno	3.28 ± 1.64	4.30 ± 0.82
26	30.26	<i>Germacreno</i>	Sesquiterpeno	6.53 ± 3.11	5.29 ± 1.27
27	31.38	<i>α-Muroleno</i>	Sesquiterpeno	0.08 ± 0.05	0.09 ± 0.01
28	32.77	<i>Cubadol</i>	Sesquiterpeno	0.16	0.10 ± 0.03

TR: tiempo de retención en minutos. np: no presente. Que haya valores que no presentan promedio ± de desviación estándar se debe a que solo una repetición exhibió el compuesto.

Fuente: autores.

Por otra parte, teniendo en cuenta la facilidad que tienen los sistemas acuapónicos de producir compuestos nitrogenados (NAT), debido a la excreción de los peces, y que luego por procesos de nitrificación del biofiltro se obtiene NO₂ y NO₃, se puede tener una integración de este nitrógeno dentro de la presencia de metabolitos secundarios producidos (S. Wongkiew et al., 2017). Estudios como los de Chrysargyris et al. (2017) muestran que los niveles de N influyen no solo en el crecimiento de las plantas sino también en el contenido de clorofila, en el que el rendimiento del aceite esencial de *M. spicata* aumentó con la aplicación de 225 mg/L de N. Los principales componentes del aceite esencial fueron *carvona*, *limoneno*, *1,8-cineol*, *germacreno D* y *β-pineno*. Esta alta producción de N reduce el contenido de micronutrientes de las hojas (ej. Mn), disminuyendo el contenido de carvonas. En este sentido, los sistemas acuapónicos, al tener una alta producción

de estos compuestos y de forma continua, podrían mejorar la producción en diversidad y abundancia de fitoconstituyentes en aceites esenciales.

Las carvonas son ampliamente utilizadas para tratar insectos plaga (como *Sitophilus zeamais* y *Tribolium castaneum*) en diferentes especies de gramíneas, mostrando valores de toxicidad letal (LT 50 = 7,3 h) (Peixoto et al., 2015). Lo anterior podría explicar el hecho de que, en los sistemas acuapónicos, la presencia de insectos plaga que pudieran afectar la producción se vio considerablemente disminuida, teniendo un efecto en la integridad del material al final de la toma de muestras. Sumado a lo anterior, las carvonas han mostrado una fuerte actividad inhibidora contra las principales enzimas asociadas con la enfermedad de Alzheimer (EA) y las enfermedades del sobrepeso (colinesterasa y lipasa pancreática porcina) (Ali-Shtayeh et al., 2019).

Tabla 3. Parámetros de crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en sistemas acuapónicos.

VARIABLE	INICIAL	FINAL
Peso individuo (g)	460,22 ± 85,17	566,39 ± 112,07
LE (cm)	22,85 ± 1,62	23,64±0,13
LT (cm)	27,68 ± 1,93	27,81±0,28
Biomasa (g)	5522,67 ± 280,10	6852,67 ± 612,07
GP individuo (g)	106,17	
S (%)	86,10 ± 4,80	

LE: longitud estándar; LT: longitud total; GP: ganancia de peso; S: sobrevivencia. Cada valor representa el promedio ± de la desviación estándar.

Fuente: autores de esta investigación.

En la **tabla 3** se observan los parámetros de crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en sistemas acuapónicos. Las variables de crecimiento, la GP y el aumento de biomasa no fueron tan altos, debido a que se trataba de peces que estaban cerca de la talla y peso comercial. Pese a esto, los peces presentaron un crecimiento similar al reportado por Espejo y Torres (2001) para tilapias de estos tamaños y tiempos. Aunque si se compara, la biomasa final por sistema acuapónico es más alta a la presentada en cultivos tradicionales de estanque en tierra, en los cuales se maneja entre 1, 3 y máximo 5 peces por m² (1.5 m³), es decir biomasa que irían desde los 500 g a los 2500 g (Espejo y Torres, 2001); mientras que los sistemas acuapónicos evaluados alcanzaron

una biomasa de 6852,67 g/m³, casi tres veces mayor a la presentada en estanques en tierra, con un gasto de agua 95 % menor y sin generar contaminantes a los efluentes.

Además, al revisar los parámetros de calidad de agua se observa que estos estuvieron en las condiciones apropiadas, lo que permitió un adecuado crecimiento de los peces y también proporcionó los principales nutrientes para el adecuado crecimiento de las plantas (Yildiz et al., 2017; Dolezelova et al., 2011; Yanbo et al., 2006). Cabe mencionar que aunque se están nombrando estos valores de crecimiento en peces, el objetivo principal del estudio era tener en cuenta lo obtenido en los cultivos y sus características intrínsecas.

Tabla 4. Parámetros de calidad de agua y nutrientes en los sistemas acuapónicos.

Parámetro	Sistemas Acuapónicos		
	1	2	3
NAT (mg/L)	1,19± 2,21	1,01±1,13	0,4±0,22
Nitrito (mg/L)	0,55±0,46	0,63±0,42	0,34±0,56
Nitrato (mg/L)	5,01±6,39	5,84±7,63	6,67±6,84
Fosfato (mg/L)	11,32±8,28	9,98±8,31	10,81±8,80
pH	5,92±0,77	5,42±0,87	5,87±0,57

Cada valor representa el promedio ± la desviación estándar. **Fuente:** autores de esta investigación.

En cuanto a los productos nitrogenados, se puede decir que estos estuvieron dentro de los rangos adecuados para el crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) e indican un buen funcionamiento del biofiltro. El NAT, aunque estuvo levemente elevado, no fue un parámetro limitante para el crecimiento de los peces, ya que este se encuentra en los medios acuáticos bajo dos formas químicas el NH₃ y el NH₄⁺, siendo más tóxica la primera que la segunda (Riaño et al., 2015). No obstante, para que el NH₃ sea predominante requiere de pH básicos, lo cual no ocurrió en nuestra investigación (**Tabla 4**). El nitrito, que en bajas concentraciones suele ser más tóxico que el NAT, nunca estuvo en valores que pudiera afectar el adecuado transporte de oxígeno de la sangre a los tejidos de los peces (Dos Santos, 2018).

El nitrato estuvo bajo para los niveles recomendados en sistemas acuapónicos (Rakocy, 2012). Sin embargo, se pudo evidenciar que no fue un factor limitante al observar el crecimiento y parámetros productivos de la menta en estos sistemas (Tabla 1). Estos valores pueden deberse a dos razones: la primera se debe a que en los sistemas acuapónicos se genera una producción constante de nutrientes, en este caso el nitrato, por los procesos de nitrificación que ocurren en el biofiltro (Torres, 2017). La segunda razón puede ser atribuida a una continua absorción de nutrientes por parte de las plantas (Heise et al., 2021). Adicionalmente, Gouran-Orimi et al. (2018) reportan que la baja concentración de un anión puede promover la entrada de otro, al disminuir la competencia por los canales



iónicos en la rizosfera de las plantas. En este caso puede ser que la baja concentración del anión nitrato haya favorecido el ingreso del fosfato y el potasio, por lo que no se observaron estas deficiencias en las plantas de menta (Figura 1) (Oelkers & Valsami., 2008).

El pH en los sistemas acuapónicos es un asunto controversial, pues algunos autores recomiendan pH 7 (Rakocy, 2012) mientras que otros pH entre 6.5 a 7.5 (Resh, 2012), aduciendo que en esos pH se obtiene una buena nitrificación y es adecuada para la salud y bienestar de los peces. No obstante, estos valores de pH pueden llegar a ser inapropiados para el crecimiento de las plantas, más si se compara con los valores recomendados en técnicas como la hidroponía (Kim et al., 2018; Quagrainie et al., 2018). El pH mantenido en

esta investigación osciló entre 5.5 – 6.5, y, aunque puede ser bajo, puede explicar el buen crecimiento presentado en las plantas de menta, dado que en estos pH las plantas asimilan la mayor cantidad de nutrientes (Torres, 2017; Kim et al., 2018).

La diferenciación en la producción de metabolitos secundarios por parte de plantas está mediada, de forma positiva o negativa, por diferentes factores, de los cuales se podrían tomar tan solo tres como relevantes. El primero es la especie de la planta tomada, el segundo es el órgano de esta (Chen et al., 2010), y el tercero, la nutrición dada a las plantas, lo cual efectúa un cambio diferencial en su expresión y producción, que para nuestro estudio estaría totalmente ligado a los nutrientes dispuestos en sistemas acuapónicos. (Nurzyńska-Wierdak, 2013).

CONCLUSIONES

El crecimiento y los parámetros productivos de *M. spicata* fueron considerablemente mayores en los sistemas acuapónicos en comparación con el sistema en cama contenida. Lo que demuestra que un sistema funcional, económico y versátil como este puede instalarse como método de agricultura urbana.

Lo que sugiere este estudio es que los aceites esenciales extraídos de plantas de *M. spicata* en sistemas acuapónicos presentan una diversidad de compuestos mayor a la observada en sistemas en cama contenida. Lo anterior apoya el hecho de que, en los perfiles cromatográficos obtenidos, el número de picos y la abundancia relativa expresada es mayor. Se sugiere que se podría aumentar el número de repeticiones y así garantizar la desviación estándar obtenida. Al tener este tipo de matrices, ricas en compuestos, los aceites obtenidos bajo sistemas acuapónicos tendrán una gran relevancia, tanto en términos

comerciales como medicinales, teniendo así un valor agregado en el mercado.

El estudio encontró que, de los compuestos encontrados en plantas cultivadas en sistemas acuapónicos, tanto por su abundancia como por su importancia destacan: la *mentafuranona*, el *linalool*, el *germacreno*, la *carvona*, y el *α-Felandreno*. Cada uno de ellos con características bioactivas (antioxidante, antimicrobial, antitumoral, entre otras). Del grupo anteriormente mencionado, la menta furanona resultó ser el compuesto de mayor abundancia de (52.11 ± 10.04 %) dentro de las muestras de sistemas acuapónicos; comparado con lo visto en cama contenida, en el que tuvo una abundancia de 41.0 ± 4.52 %. Por otra parte, los parámetros de calidad de agua en los sistemas acuapónicos estuvieron entre los rangos adecuados para un buen crecimiento de *M. spicata* y tilapia roja (*Oreochromis* sp). Todo lo anteriormente mencionado se suma a las características notablemente buenas en la implementación de estos sistemas.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Diego Fernando Cárdenas: escritura, análisis de los datos.

Ana Constanza Torres Mesa : investigación, revisión y edición.

Edwin Gómez Ramírez: investigación, revisión, adquisición de recursos, administrador de proyecto, escritura.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Militar Nueva Granada y su vicerrectoría de investigaciones por su apoyo en el proyecto CIAS 2552. Al laboratorio de Química bio-orgánica de la Universidad Militar Nueva Granada y a Sergio David Ruiz Becerra.

LITERATURA CITADA

Ali-Shtayeh, M. S., Jamous, R. M., Abu-Zaitoun, S. Y., Khasati, A. I. & Kalbouneh, S. R. (2019). Biological Properties and Bioactive Components of *Mentha spicata* L. Essential Oil: Focus on Potential Benefits in the Treatment of Obesity, Alzheimer's Disease, Dermatophytosis, and Drug-Resistant Infections. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3834265>

Ambrosio, C. M. S., De Alencar, S. M., De Sousa, R. L. M., Moreno, A. M. & Da Gloria, E. M. (2017). Antimicrobial activity of several essential oils on pathogenic and beneficial bacteria. *Industrial Crops and Products*, 97, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.045>

Andrade, L. N. & De Sousa, D. P. (2013). A review on anti-inflammatory activity of monoterpenes. *Molecules*, 18(1), 1227–1254. <https://doi.org/10.3390/molecules18011227>

Angioni, A., Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S. & Cabras, P. (2006). Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and Flowers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4364–4370. <https://doi.org/10.1021/jf0603329>

Aprotosoia, A. C., Ciocârlan, N., Brebu, M., Trifan, A., Grădinaru, A. C. & Miron, A. (2018). Chemical composition, antioxidant

and antimicrobial activities of *Mentha gattefossei* maire essential oil. *Farmacia*, 66(5), 778–782. <https://doi.org/10.31925/farmacia.2018.5.6>

Betts, T. J. (2001). Chemical characterisation of the different types of volatile oil constituents by various solute retention ratios with the use of conventional and novel commercial gas chromatographic stationary phases. *Journal of Chromatography A*, 936(1–2), 33–46. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)01284-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)01284-5)

Boutekdjiret, C., Bentahar, F., Belabbes, R. & Bessiere, J. M. (2003). Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. *Flavour and Fragrance Journal*, 18(6), 481–484.

Bowles, J. (2001). The basic chemistry of aromatherapeutic essential oils. *International Journal of Aromatherapy*, 11(2), 112–113. [https://doi.org/10.1016/s0962-4562\(01\)80028-x](https://doi.org/10.1016/s0962-4562(01)80028-x)

Chen, S., Ling, J. & Blancheton, J. P. (2006). Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 179–197. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>

Chen, Y., Olson, D. M., & Ruberson, J. R. (2010). Effects of nitrogen fertilization on tritrophic interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, 4(2), 81–94. <https://doi.org/10.1007/s11829-010-9092-5>

Chouhan, S., Sharma, K. & Guleria, S. (2017). Antimicrobial Activity of Some Essential Oils—Present Status and Future Perspectives. *Medicines*, 4(4), 58. <https://doi.org/10.3390/medicines4030058>

Chrysargyris, A., Nikolaidou, E., Stamatakis, A. & Tzortzakis, N. (2017). Vegetative, physiological, nutritional and antioxidant behavior of spearmint (*Mentha spicata* L.) in response to different nitrogen supply in hydroponics. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.jarmp.2017.01.006>

Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (Secondary



- Metabolites). In biochemistry and molecular biology of plants. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00018-0>
- Dolezelova, P., Macova, S., Pistekova, V., Svobodova, Z., Bedanova, I. & Voslarova, E. (2011). Nitrite toxicity assessment in *Danio rerio* and *Poecilia reticulata*. *Acta veterinaria Brno*, 80, 309–312. <https://doi.org/10.2754/avb201180030309>
- Dos Santos, M. J., Batista, F. F., Paes, F., Takata, R., Costa, C., Campos, C., Kennedy, R., Campos, K. (2018). Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophiosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite. *Science of The Total Environment*, (616–617) 1566–1575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>
- Eck, M., Körner, O. & Jijakli, M. H. (2019). Nutrient cycling in aquaponics systems. En S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen y G. Burnell. (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems* (pp. 231–246). Springer Nature.
- Espejo, C. y Torres, E. (2001) Cultivo de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.) y plateada (*Oreochromis niloticus*). En H. Rodríguez, P. Daza y M. Carrillo, *Fundamentos de acuicultura continental* (pp. 283–289). INPA.
- Espinosa-Moya, A., Álvarez-González, A., Albertos-Alpuche, P., Guzmán-Mendoza, R., & Martínez-Yáñez, R. (2018). Growth and development of herbaceous plants in aquaponic systems. *Acta universitaria*, 28(2), 1–8. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1387>
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H. & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7, 4199–4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Gouran-Orimi, R., Mirzayi, B., Nematollahzadeh, A. & Tardast, A. (2018). Competitive adsorption of nitrate in fixed-bed column packed with bio-inspired polydopamine coated zeolite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2232–2240. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.049>
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J. & Angel, D. (2019). Identifying knowledge levels of aquaponics adopters. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4536–4540. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06758-8>
- Hameed, I. H., Hussein, H. J., Kareem, M. A. & Hamad, N. S. (2015). Identification of five newly described bioactive chemical compounds in methanolic extract of *Mentha viridis* by using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 7(7), 107–125.
- He, X., Du, X., Zang, X., Dong, L., Gu, Z., Cao, L., Chen, D., Keyhani, N., Yao, L., Qiu, J. & Guan, X. (2016). Extraction, identification and antimicrobial activity of a new furanone, grifolaone A, from *Grifola frondosa*. *Natural Product Research*, 30(8), 941–947. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1081197>
- Heise, J., Müller, H., Probst, A. J. & Meckenstock, R. U. (2021). Ammonium Removal in Aquaponics Indicates Participation of Comammox Nitrospira. *Current Microbiology*, 78, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02358-3>
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., Jijakli, M. H. (2017) Strategic points in aquaponics. *Water*, 9(3), 1–9. <https://doi.org/10.3390/w9030182>
- Kim, H. J., Yang, T., Lin, M. Y. & Langenhoven, P. (2018). Plant propagation for successful hydroponic production. *Acta Horticulturae*, 1212, 109–115. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1212.22>
- König B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M. & Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production*, 180, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>
- Masotti, V., Juteau, F., Bessière, J. M. & Viano, J. (2003). Seasonal and Phenological Variations of the Essential Oil from the Narrow Endemic Species *Artemisia molinieri* and Its Biological Activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), 7115–7121. <https://doi.org/10.1021/jf034621y>

- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmutz, Z., Sambo, P. & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1-11. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012>
- Meloni, D. A., Lescano, J. A., Arraiza, M. P. & Beltrán, R. E. (2019). Yield, chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha spicata* (Lamiaceae) in Santiago del Estero, Argentina. *UNED Research Journal*, 11(3), 327-333. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2624>
- Nurzyńska-Wierdak, R. (2013). Does mineral fertilization modify essential oil content and chemical composition in medicinal plants? *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 12(5), 3-16.
- Oelkers, E. & Valsami-Jones, E. (2008). Phosphate Mineral Reactivity and Global Sustainability. *Elements*, 4, 83-88. <https://doi.org/10.1057/9780230583412>
- Peixoto, M. G., Bacci, L., Blank, A. F., Araújo, A. P. A., Alves, P. B., Silva, J. H. S. & Arrigoni-Blank, M. (2015). Toxicity and repellency of essential oils of *Lippia alba* chemotypes and their major monoterpenes against stored grain insects. *Industrial Crops and Products*, 71, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.084>
- Pérez-Urrestarazu, L., Lobillo-Eguibar, J., Fernández-Cañero, R., Fernández-Cabanás, V. M. (2019). Suitability and optimization of FAO's small-scale aquaponics systems for joint production of lettuce (*Lactuca sativa*) and fish (*Carassius auratus*). *Aquacultural Engineering*, 85, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.04.001>
- Pichersky, E., Noel, J. P. & Dudareva, N. (2006). Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. *Science*, 311(5762), 808-811. <https://doi.org/10.1126/science.1118510>
- Plazas-Jiménez, D., Macias-Villamizar, V. E. & Coy-Barrera, E. (2016). Antifungal Activity and Chemical Constituents of the Essential Oil from Leaves of *Nectandra longifolia* (Ruiz & Pav.) Nees. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 12(1), 66-73. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1855>
- Quagraine, K. K., Flores, R. M. V., Kim, H. J. & McClain, V. (2018). Economic analysis of aquaponics and hydroponics production in the U.S. Midwest. *Journal of Applied Aquaculture*, 30(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1414009>
- Rakocy J. E. (2012). Aquaponics - integrating fish and plant culture. En J.H. Tidwell. (Ed.), *Aquaculture Production Systems*. Wiley..
- Rakocy, J., Masser, M. P. & Losordo, T. (2016). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics — Integrating Fish and Plant Culture. *AgriLife Extension*, 454, 1-17.
- Ramírez, L. M., Pérez, M. M., Jiménez, P., Hurtado, H. y Gómez, E. (2011) Evaluación preliminar de sistemas acuapónicos e hidropónicos en cama flotante para el cultivo de orégano (*Origanum vulgare*). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 7(2), 102-119. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2057>
- Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez-Ramírez, E., Rodríguez-Cañedo, D. y Hurtado-Giraldo, H. (2009). Montaje Y Evaluación Preliminar De Un Sistema Acuapónico Goldfish-Lechuga. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1), 154-170. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2128>
- Resh, H. M. (2012). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press.
- Riaño, E. R., Torres, A. C., Hurtado, H. y Gómez, E. 2015. Efecto del nivel de proteína cruda en la dieta sobre el crecimiento y excreción de nitrógeno amoniacal total de *Carassius auratus* (Cyprinidae) Linnaeus (1758) bajo condiciones de laboratorio. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 11(1), 34 - 47. <https://doi.org/10.18359/rfcb.380>
- Rodenak, B. E., Salvatori, J., Polo, M. P. y García, M. M. (2012). Acción combinada de los isoprenoides naturales geraniol, linalool,



limoneno y 1,8 cineol sobre la proliferación de las líneas celulares HepG2 y A549. *Tercera Época*, 3(2), 1-2.

Singh, R., Shushni, M. A. & Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 322-328. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.01.019>

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. (2016). *Small-scale aquaponic food production*. FAO..

Štefanidesová, K., Špitalská, E., Csicsay, F., Friedländerová, V., Šáner, A. & Škultéty, Ľ. (2019). Evaluation of the possible use of genus *Mentha* derived essential oils in the prevention of SENLAT syndrome caused by *Rickettsia slovaca*. *Journal of Ethnopharmacology*, 232, 55-61. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.12.005>

Surendran, U., Chandran, C. & Joseph, E. J. (2017). Hydroponic cultivation of *Mentha spicata* and comparison of biochemical and antioxidant activities with soil-grown plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2320-6>

Tahir, H. U., Sarfraz, R. A., Ashraf, A. & Adil, S. (2016). Chemical Composition and Antidiabetic Activity of Essential Oils Obtained from Two Spices (*Syzygium aromaticum* and *Cuminum cyminum*). *International Journal of Food Properties*, 19(10), 2156-2164. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1110166>

Torres-Mesa, A. C. (2017). *Dinámica de nutrientes en sistemas cerrados de recirculación*

en el cultivo de *Piaractus brachipomus*, *Oreochromis sp* y *Cyprinus carpio*, para su aplicación en la acuaponía [Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada]. RIUMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16356/TorresMesaAnaConstanza2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wilson, L. E., Duncan, N. C. & Crain, D. A. (2017). Comparison of Aquaponics and Hydroponics on Basil (*Ocimum basilicum*) Morphometrics and Essential Oil Composition. *Review of Undergraduate Research in Agricultural and Life Sciences*, 11(1), 1-16.

Wongkiew, Sumeth., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W. & Kumar Khanal, S. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review Advanced WWTP control View project Bioresource Technology Special Issue on Anaerobic Digestion View project Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76, 9-19.

Yanbo, W., Wenju, Z., Weifen, L. & Ziong, X. (2006). Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. *Fish Physiology and Biochemistry*, 32(1), 49-54. <https://doi.org/10.1007/s10695-005-5744-2>

Yildiz, H. Y., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D. & Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: Its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—A review. *Water*, 9(1), 1-17. <https://doi.org/10.3390/w9010013>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

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





EFFECTO DE LA HARINA DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao*) SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE POLLO DE ENGORDE

EFFECT OF (*Theobroma cacao*) SHELL FLOUR COCOA ON THE PRODUCTIVE PERFORMANCE OF BROILERS

Dixon Fabián Flórez Delgado • dixon.florez@unipamplona.edu.co

Zootecnista, Magister en Sistemas Sostenibles de Producción, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

Yingrid Marbelt Velásquez Prada • ingrid.velasquez@unipamplona.edu.co

Zootecnista, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

Citación: Flórez, D. y Velásquez, Y. (2022). Efecto de la harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) sobre el desempeño productivo de pollo de engorde. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 165 – 174. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4480>

RESUMEN

Contextualización: la cáscara de cacao es un residuo agroindustrial sin ningún valor comercial. Se genera en el lugar de recolección de este fruto durante su producción primaria y normalmente es abandonado en grandes pilas que generan problemas ambientales. Sin embargo, la cáscara de cacao posee propiedades nutricionales adecuadas que permiten su uso en alimentación animal.

Vacío de conocimiento: existe poca evidencia científica del uso de la cáscara de cacao como alternativa alimenticia en pollo de engorde.


Propósito: el objetivo de la presente investigación fue determinar el desempeño productivo de los pollos de engorde alimentados con cáscara de cacao, la cual se utilizó como reemplazo parcial del alimento balanceado comercial.

Metodología: se empleó un diseño aleatorizado con cinco tratamientos de inclusión de cáscara de cacao como reemplazo parcial del alimento balanceado

comercial: Tcc2,5 %, Tcc5 %, Tcc7,5 %, Tcc10 % y un control de cada uno con 25 réplicas. Se evaluaron los siguientes parámetros productivos: consumo, peso corporal final, ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia, rendimiento y peso en canal, peso de vísceras, pigmentación, costos por concepto de alimentación, ingreso neto parcial por pollo en pie e ingreso parcial por pollo en canal. Los resultados fueron sujetos al análisis de la varianza [ANOVA] con una significancia del 5 %, teniendo en cuenta el peso inicial como covariable. Los efectos lineales, cuadráticos y cúbicos fueron evaluados por contrastes ortogonales.

Resultados y conclusiones: no se presentaron diferencias estadísticas para las variables de estudio entre el tratamiento control y los niveles de sustitución de alimento balanceado por harina de cáscara de cacao. Se presentó un efecto de orden lineal negativo para el rendimiento en canal y la pigmentación. No se observaron efectos de orden cuadrático y cúbico. Con relación al análisis económico, en los costos

de alimentación se observa una disminución sustancial por kilogramo de carne producido para el T_{CC10} % respecto al grupo control y demás tratamientos; mientras que para el ingreso neto por pollo en pie e ingreso neto por pollo en canal, el T_{CC2,5} % presentó los valores más elevados. Se concluye que la sustitución parcial de alimento balanceado

comercial por harina de cáscara de cacao en pollo de engorde no afecta el desempeño productivo y reduce sustancialmente los costos de producción. 

Palabras clave: avicultura; costo de producción; pigmentación; rendimiento productivo; *Theobroma cacao*

ABSTRACT


Contextualization: the cocoa shell is an agro-industrial waste with no commercial value. It is generated at the collection site of this fruit during its primary production and is normally abandoned in large piles that generate environmental problems. However, the cocoa shell has adequate nutritional properties that allow its use in animal feed.

Knowledge gap: there is a small amount of scientific evidence about the use of cocoa shell as a food alternative in broilers.

Purpose: the objective of this research was to evaluate the productive performance of broilers fed with cocoa shell as a partial replacement for commercial balanced nutriment.

Methodology: a randomized design was used with five cocoa shell inclusion treatments as partial replacement of commercial balanced aliment: T_{CC2.5} %, T_{CC5} %, T_{CC7.5} %, T_{CC10} % and a control of each one with 25 replications. The following productive parameters were evaluated: consumption, final body weight, weight gain, feed conversion and efficiency, yield and carcass weight, viscera weight, pigmentation, feeding costs, partial net income per live chicken and partial income

per carcass chicken. The results were subjected to an analysis of variance [ANOVA] with a significance of 5%, considering the initial weight as a covariate. The linear, quadratic, and cubic effects were evaluated by orthogonal contrasts.

Results and conclusions: there were no statistical differences for the variables studied between the control treatment and the substitution levels of balanced nutriment for cocoa shell flour. There was a negative linear order effect for carcass performance and pigmentation. Quadratic and cubic order effects were not observed. In relation to the economic analysis, the feeding costs observed had a substantial decrease per kilogram of meat produced for the T_{CC10} % compared to the control group and other treatments; while for the net income per live chicken and net income per carcass chicken, the T_{CC2.5} % presented the highest values. It is concluded that the partial substitution of commercial balanced aliment for cocoa shell flour in broilers does not affect productive performance and substantially reduces production costs. 

Keywords: poultry farming; production cost; pigmentation; productive performance; *Theobroma cacao*



RESUMEN GRÁFICO



Harina de cáscara de cacao



Reemplazo
ABC



Parámetros productivos y
costos pollo de engorde

Variable	Nivel de sustitución					Error Estándar	P - valor ¹				
	Control	T _{C25%}	T _{C50%}	T _{C75%}	T _{C100%}		C vs S	L	Q	C	
PCF (g)	2228,00	2404,70	2326,20	2226,40	2312,10	99,98	0,359	0,963	0,420	0,184	
GP (g)	2168,00	2344,70	2266,20	2166,40	2252,10	99,98	0,359	0,963	0,420	0,184	
CA	1,97	1,84	1,89	1,98	1,91	0,08	0,500	0,895	0,462	0,131	
EA	0,51	0,55	0,53	0,50	0,53	0,02	0,327	0,938	0,436	0,173	
PC (g)	1867,70	1997,80	1896,50	1788,40	1837,00	96,46	0,278	0,182	0,495	0,101	
RC (%)	83,70	82,90	81,40	80,60	79,70	1,95	0,246	0,019	0,929	0,866	
Visc (g)	307,70	346,60	337,70	325,70	326,50	17,52	0,252	0,656	0,166	0,188	
Pig.	11,30	10,90	10,80	10,50	10,60	0,38	0,28	0,047	0,407	0,918	

↓ \$ producción

Fuente: Autores.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de alimento, especialmente de origen animal, va en aumento debido al crecimiento acelerado de la población mundial y el desarrollo económico. Esta situación ha conllevado a innovar en los sistemas de producción agropecuarios, llevando a que sean más eficientes, provechosos y que lleven al consumidor final productos de calidad. Sin embargo, estos se caracterizan por elevados costos de inversión, dependencia de mercados internacionales y vulnerabilidad al cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014). Por lo anterior, una estrategia para suplir la demanda de productos de origen animal son las especies menores. En este sentido, los productores deben incrementar las materias primas necesarias para la alimentación animal, surgiendo así la necesidad de emplear alternativas que permitan reducir la dependencia de los alimentos balanceados comerciales sin afectar la productividad de los sistemas agropecuarios (González et al., 2014).

Con relación a la estrategia mencionada, el conocer los requerimientos nutricionales y los hábitos alimenticios de las aves, como especies menores, permite incorporar materias primas alternativas para su alimentación que permitan mantener el desempeño productivo con la premisa de que sea a un menor costo. Esto debido a que los desbalances nutricionales afectan la calidad del producto final, pues su exceso incrementa su excreción afectando el margen

de rentabilidad y su deficiencia afecta la expresión del potencial productivo (Torres, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, estudios realizados con el uso de morera, yuca, soya y sorgo han demostrado la viabilidad de incluir otras alternativas alimenticias en la producción de aves de engorde (Gómez et al., 2011). El uso de subproductos agroindustriales en la dieta de aves de engorde es una de las principales opciones para obtener producciones más eficientes y rentables en este sistema de producción (González et al., 2020). De esta manera, se buscan fuentes de proteína a bajo costo que por sus propiedades nutricionales pueden garantizar un buen desempeño animal, como es el caso de la cáscara de cacao (Sánchez et al., 2018).

En la explotación cacaotera solo es aprovechable, desde el punto de vista económico, la semilla, que representa el 10 % del peso del fruto fresco. Esta circunstancia se ha traducido en serios problemas ambientales, tales como la aparición de malos olores y el deterioro del paisaje, así como también problemas de disposición de los residuos que se generan. En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue evaluar los efectos de la sustitución parcial del alimento balanceado comercial por harina de cáscara de cacao en el desempeño productivo y costos de obtención en aves de engorde.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de la Investigación: la presente investigación se realizó en la Finca el Manantial, ubicada en la vereda Palo de Agua, del municipio de Fortul. Tiene una altitud media de 246 m. s. n. m, temperatura promedio de 28°C y topografía llana, con una precipitación anual promedio de 2000 mm.

Animales y manejo: se emplearon aves de un día de nacidos de la línea genética Ross 308 con 25 réplicas para cada tratamiento y una población total de 125 animales con una media de peso de 42g \pm 0,4 sin sexar vacunados contra Marek. Se mantuvieron en un galpón de manera conjunta hasta el día 15 de vida con la misma alimentación a base de balanceado comercial para garantizar el desarrollo homogéneo de las aves. Desde ese momento, las aves se dividieron de manera aleatoria en cada uno de los tratamientos y se inició un periodo de acostumbramiento a la harina de cáscara de cacao ofreciendo pequeñas cantidades mezcladas con el alimento balanceado comercial.

A partir del día 20 de vida se inició la toma de datos para la evaluación de los parámetros productivos hasta el momento del sacrificio. Cada ave se identificó de manera individual para facilitar el seguimiento de su desempeño a través de registros. El alimento se fraccionó en dos raciones, una a las 07:00 horas y la segunda a las 16:00 horas con el 40 % y 60

% del total respectivamente. Esta práctica se realizó para disminuir el riesgo de mortalidad a causa de infartos debido a las altas temperaturas de la zona de estudio durante gran parte del día. El agua se mantuvo a voluntad de manera constante. Todas las aves se manejaron bajo los principios del bienestar animal.

Elaboración de Harina de cáscara de cacao: la recolección de las cáscaras de cacao se realizó directamente en el cultivo. Se procedió a retirar las mazorcas del fruto de la planta con unas tijeras podadoras de mango largo, se extrajeron los granos y la placenta. Las cáscaras de cacao se lavaron con abundante agua con anterioridad a su deshidratación natural en una marquesina para eliminar rastros de mucilago y suciedad que pudieran quedar adheridos en el proceso de recolección y extracción. La cáscara de cacao se picó en pequeñas partes y se llevaron a una marquesina, realizándole volteos cada hora para acelerar su secado. El proceso de molienda se realizó con un molino tradicional de rodillo.

Composición nutricional: para determinar la composición nutricional de la dieta de las aves, se remitió una muestra de la harina de cáscara de cacao y del alimento balanceado comercial. En la tabla 1 se muestra la composición nutricional de estos dos alimentos.

Tabla 1. Composición nutricional de la harina de cáscara de cacao y del alimento balanceado comercial.

Determinación Analítica	ABC	Harina de cáscara de cacao	Método
Humedad (%)	11,35	15,55	ISO 6496:2009-NTC 4888:2000
Cenizas (%)	4,92	8,78	AOAC 942.05-2008 21 th 2019
Extracto Etéreo (%)	4,34	0,66	AOAC 2003.06-2006 21 th 2019
Proteína (%)	17,20	6,99	AOAC 960.52-2008 21 th 2019
Fibra Cruda (%)	3,67	27,66	ISO 6865:2000-NTC 5122:2002

ABC: alimento balanceado comercial, **Fuente:** autores

Evaluación de parámetros productivos: a continuación, se describe la metodología empleada para el cálculo de cada uno de los parámetros productivos de pollos de engorde alimentados con diferentes porcentajes de inclusión de harina de cáscara

de cacao en la dieta, como reemplazo del alimento balanceado comercial:

Peso corporal final: Se midió empleado una balanza digital con precisión de 0,001 g (Flórez e Hidalgo, 2020).



Ganancia de peso: se calculó de la siguiente manera (Flórez y Cobos, 2021) (ecuación 1):

$$GP=PF(g)-PI(g), \text{ donde: } \quad (\text{ecuación 1})$$

GP es la Ganancia de peso (g); PF es el Peso final (g); PI es el Peso inicial (g)

Conversión alimenticia: se determinó así (Castro et al., 2016) (ecuación 2):

$$CA=AC/GP, \text{ donde: } \quad (\text{ecuación 2})$$

CA es la Conversión alimenticia; AC es el Alimento consumido (kg); GP es la Ganancia de peso (kg).

Eficiencia alimenticia: el cálculo se realizó mediante la siguiente ecuación (Uzcátegui et al., 2020). (ecuación 3):

$$EA=GP/AC, \text{ donde: } \quad (\text{ecuación 3})$$

EA es la Eficiencia alimenticia; AC es el Alimento consumido (kg); GP es la Ganancia de peso (kg)

Rendimiento en canal: es la relación entre el peso de la canal caliente y el peso vivo del animal. El peso vivo representó el 100 % de la canal. Esta variable se expresó en porcentaje (Flórez y Arteaga, 2019).

Pigmentación: con la ayuda de un abanico colorimétrico RYCF de Roche que varía de amarillos en una escala del 1 al 15, siendo uno el color más pálido y 15 el color más intenso, se evaluó el color final de la piel de los pollos de engorde después de ser sacrificados y eviscerados (Carvajal et al., 2017).

Peso de las vísceras: Se midió empleado una balanza digital con precisión de 0,001 g (Gómez et al., 2011).

Análisis económico: el análisis de los efectos económicos del nivel de inclusión de harina de cáscara de cacao se realizó a través de técnicas de presupuestos parciales. Se llevó a cabo un análisis comparativo entre los tratamientos basado en los costos e ingresos por tratamiento o grupo experimental.

Costo de alimentación: la evaluación de los costos del alimento por pollo y el costo de producción de kilogramo de carne de pollo se realizaron por medio de alimento exclusivamente (Flórez y Romero, 2018) (ecuación 4 y ecuación 5):

$$\text{Costo de alimentación por ave} = \text{consumo de alimento por pollo (kg)} * \text{costo de kg de alimento (\$)} \quad (\text{ecuación 4})$$

$$\text{Costo de kg de carne de pollo} = \text{costo de alimentación por ave} / \text{peso final (kg)} \quad (\text{ecuación 5})$$

Ingreso neto parcial por pollo en pie: El Ingreso Neto Parcial por Pollo en pie (INPC) se calculó de la siguiente forma (Rodríguez et al., 2014) (ecuación 6):

$$INPC=(Py*Yi)-(Px*Xi) / n, \text{ donde: } \quad (\text{ecuación 6})$$

Py es el precio de un kg de pollo en pie; Y es la cantidad de pollo (kg) al final del experimento; Px es el precio del kg de alimento, X es la cantidad de alimento consumido durante el experimento; n es el número de pollos al final del experimento / réplica e i es el tratamiento experimental.

Ingreso parcial por pollo en canal: El Ingreso Parcial por Pollo en Canal (IPCC) se estimó mediante la ecuación (ecuación 7):

$$IPCC=[Py (Yi*Xi)]-INCP / n, \text{ donde: } \quad (\text{ecuación 7})$$

Y es la cantidad de pollo (kg) al final del experimento; X es el rendimiento en canal (%); n es el número de pollos por tratamiento e i es el tratamiento experimental.

Análisis Estadístico: los resultados obtenidos fueron sujetos a ANOVA de un factor, adoptando el peso inicial como covariable. Se aplicaron supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilks y Levene respectivamente. Los efectos lineales, cuadrático y cúbicos fueron evaluados por contrastes ortogonales con el objetivo de representar el comportamiento

de los parámetros productivos en función de los niveles de inclusión de harina de cáscara de cacao como reemplazo parcial del alimento balanceado comercial. La diferencia estadística se consideró significativa cuando $P \leq 0,05$ y se consideró tendencia cuando $0,05 < P \leq 0,1$. Se empleó el software IBM SPSS Statistics 22. Por lo tanto, el experimento se analizó de acuerdo con este modelo (ecuación 8):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + P_i + e(i)j, \text{ donde:} \quad (\text{ecuación 8})$$

Y_{ij} : respuesta productiva del pollo al tratamiento; μ : Media general; T_i : Efecto del tratamiento (dieta); P_i : peso inicial; $e(i)j$ = Error aleatorio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio no se observó diferencia estadísticamente significativa para las variables de estudio entre el grupo control y los tratamientos que contienen harina de cáscara de cacao en su composición (Tabla 2).

Tabla 2. Medias ajustadas, error estándar e indicadores de importancia para los parámetros productivos en los diferentes tratamientos.

Variable	Nivel de sustitución					Error Estd.	C vs S	P – valor ⁻¹		
	Control	T _{c2,5} %	T _{c5} %	T _{c7,5} %	T _{c10} %			L	Q	C
PCF (g)	2228,00	2404,70	2326,20	2226,40	2312,10	99,98	0,359	0,963	0,420	0,184
GP (g)	2168,00	2344,70	2266,20	2166,40	2252,10	99,98	0,359	0,963	0,420	0,184
CA	1,97	1,84	1,89	1,98	1,91	0,08	0,500	0,895	0,462	0,131
EA	0,51	0,55	0,53	0,50	0,53	0,02	0,327	0,938	0,436	0,173
PC (g)	1867,70	1997,80	1896,50	1788,40	1837,00	96,46	0,278	0,182	0,495	0,101
RC (%)	83,70	82,90	81,40	80,60	79,70	1,95	0,246	0,019	0,929	0,866
Vísc. (g)	307,70	346,60	337,70	325,70	326,50	17,52	0,252	0,656	0,166	0,188
Pig.	11,30	10,90	10,80	10,50	10,60	0,38	0,28	0,047	0,407	0,918

PCF: peso corporal final, GP: ganancia de peso, CA: conversión alimenticia, EA: eficiencia alimenticia, PC: peso de la canal, RC: rendimiento en canal, Visc.: vísceras, Pig.: pigmentación. C vs C: control versus suplementación; L, Q y C efectos de orden lineal, cuadrático y cúbico referidos a los niveles de sustitución. Error Estd.: Error estándar.

Fuente. Autores

Los resultados obtenidos para PCF permiten evidenciar que el uso de harina de cáscara de cacao puede sustituir parcialmente al alimento balanceadoW comercial como alternativa alimenticia hasta un 5 %, como fuente de proteína más económica. Esto se explica debido a que las aves de engorde no presentan dientes (Nieves, 2015), los alimentos suministrados en la dieta son descompuestos de manera mecánica y química en el sistema digestivo, liberando nutrientes y haciendo posible su absorción por parte del organismo (Gutiérrez y Hurtado, 2019). Según lo reportado por Méndez et al. (2017), valores superiores para PCF con una media de 2680 g empleando suplementos con aceite de orégano mexicano, mientras que Abdulazeez et al. (2019) reportaron una media de 1898 g empleando harina de semilla de *Adansonia digitata* como reemplazo de la harina de soja.

Se observa que los animales alimentados con las dietas convencionales en las que se incluyó un 7,5 % y 10 % de harina de cáscara de cacao presentaron ganancias de peso inferiores con respecto a los animales alimentados con 2,5 % y 5 % de harina de cáscara de cacao. La fibra contenida en las dietas utilizadas pudo ejercer algún efecto sobre la digestibilidad de los pollos de engorde sin influir significativamente en este parámetro. Para López et al. (2012), el alto contenido de fibra en la dieta puede afectar la palatabilidad, digestibilidad, saciedad y reducir el consumo de alimento por parte del ave, sin embargo, en este estudio no se evidenciaron tales efectos; posiblemente debido a que los porcentajes de inclusión no fueron los suficientemente amplios para causarlos.

El hambre es una necesidad fisiológica del ave y el apetito se relaciona con una



experiencia previa de consumo placentera. Sin embargo, factores como la palatabilidad, la capacidad del sistema digestivo y el volumen de la dieta pueden afectarlo. Es así como un ingrediente de la dieta puede disminuir el consumo de alimento sin que el ave cubra sus requerimientos nutricionales. De la misma manera, la distensión del buche que se produce con alimentos con alto contenido de fibra, reduce el consumo durante las 3 horas siguientes a la ingesta debido a las señales físicas que se transmiten al cerebro llevando a la sensación de saciedad (Savón, 2002).

La conversión y eficiencia alimenticia están estrechamente relacionados con el consumo de alimento y la ganancia de peso en las aves de engorde. Gutiérrez y Hurtado

(2019), emplearon harina de *Tithonia diversifolia* como reemplazo del alimento balanceado comercial encontrando que la harina de este forraje no supera el desempeño productivo del alimento balanceado. Connolly (2017) obtuvo valores de CA de 2,12 con alimentación no convencional en aves de engorde sin presentar diferencia estadística en relación al alimento balanceado; mientras que Stadig et al. (2016) reportaron CA de 2,83 para aves alimentadas en campo libre. Flórez y Romero (2018) obtuvieron EA de 0,64 incluyendo harina de *Morus alba* en la dieta de aves de engorde.

Para PIG y RC se presentó un efecto de orden lineal negativo con el aumento de harina de cáscara de cacao en la dieta (Figura 1).

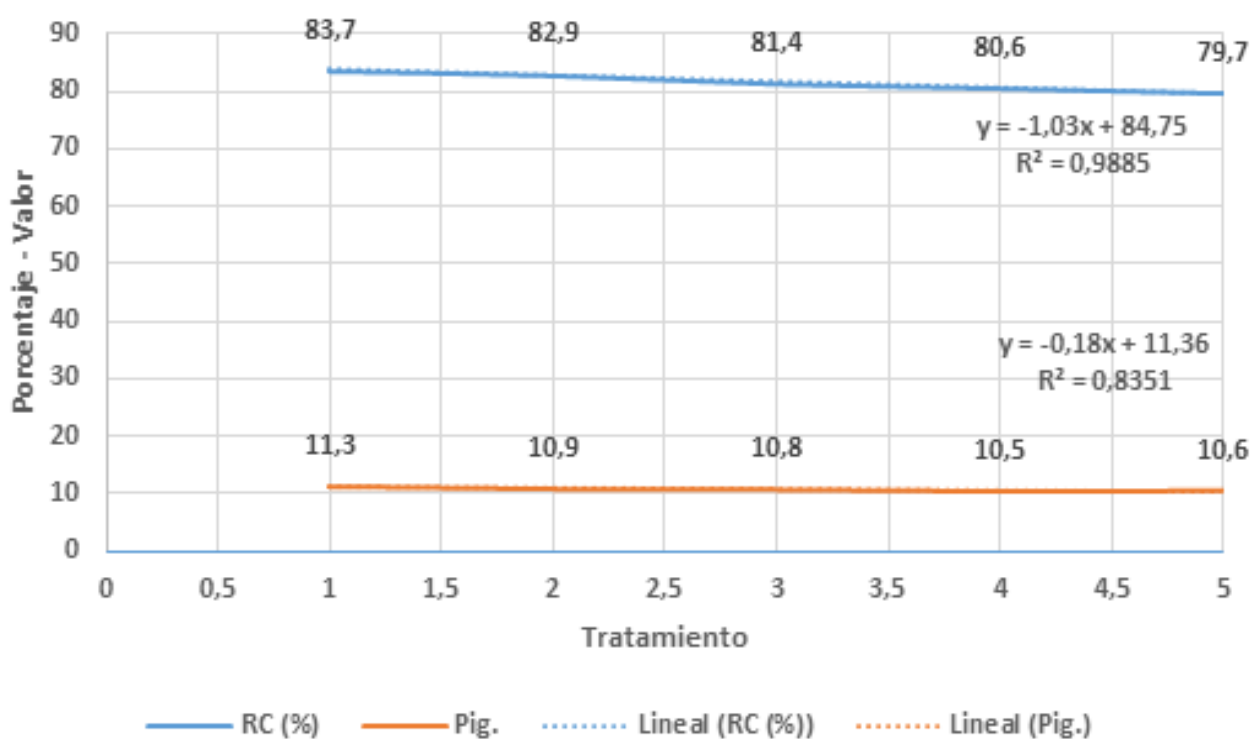


Figura 1. Efecto de orden lineal negativo para RC y Pig. Fuente. Autores

Esto se explica debido a la reducción en la cantidad de alimento balanceado comercial, lo que pudo ocasionar la reducción en la cantidad de pigmento que aporta dicho alimento, afectando de esta manera la coloración de la canal. Para el RC, el bajo aporte de proteína de la cáscara de cacao pudo ocasionar una reducción en la transformación de nutrientes en carne (Martins et al., 2016). El RC obtenido fue superior al reportado por

Valdivié et al. (2008), quienes evaluaron el desempeño zootécnico de pollos Ross con diferentes tablas de consumo.

Con relación al análisis económico, en los costos de alimentación se observa una disminución sustancial por kilogramo de carne producido para el TC10 % respecto al grupo control y demás tratamientos; mientras que para el ingreso neto por pollo en pie INCP

e ingreso neto por pollo en canal INCC, el TC2,5 % presentó los valores más elevados (Tabla 3). Para ello se estimó el costo de un kilogramo de harina de cáscara de cacao en \$ 400 COP y del alimento balanceado comercial en \$ 1900 COP.

Tabla 3. Costos por Concepto de Alimentación e Ingreso neto Pollo en pie y en Canal.

	Control	T _{c2,5%}	T _{c5%}	T _{c7,5%}	T _{c10%}
COP por kg carne (alimentación)	\$ 4.701,29	\$ 3.930,55	\$ 4.099,23	\$ 4.274,21	\$ 3.697,66
COP ingreso neto pollo en pie	\$ 12.897,87	\$ 14.035,15	\$ 13.547,28	\$ 12.930,98	\$ 13.502,83
COP ingreso neto pollo en canal	\$ 9.916,41	\$ 10.583,29	\$ 10.024,27	\$ 9.437,30	\$ 9.671,72

COP: peso colombiano. **Fuente.** Autores

El beneficio neto de la producción de pollo de engorde no sólo depende de reportar bajos costos en alimentación sino de conseguir excelentes rendimientos productivos.

CONCLUSIONES

La sustitución parcial de alimento balanceado comercial por harina de cáscara de cacao como alternativa alimenticia y nutricional no afecta el desempeño productivo en aves de engorde, observándose un efecto

lineal negativo sobre las características de la canal como peso y pigmentación. Además, reduce sustancialmente los costos de producción e incrementa la rentabilidad para el productor.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

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

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al propietario de la finca El Manantial por permitir el desarrollo de la investigación en el predio.

LITERATURA CITADA

Abdulazeez, H., Mohammed, U. & Jiddah, M. (2019). Performance and economic parameters of broiler chickens fed baobab (*Adansonia digitata* L.) seed meal as replacement for soyabean meal in semi-arid zone of Nigeria. *Global Journal of Biology,*

Agriculture & Health Sciences, 8(8), 1-10. <https://bit.ly/356lruL>

Carvajal-Tapia, J., Martínez-Mamian, C. y Vivas-Quila, N. (2017). Evaluación de parámetros productivos y pigmentación en pollos alimentados con harina de zapallo (*Cucurbita moschata*). *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 15(2), 93-100. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/568/665>

Castro, M. V., Fandiño, C. y Poveda, C. A. (2016). Comportamiento productivo en pollos de engorde alimentados con niveles crecientes de alcachofa (*Cynara scolymus*). *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9(1), 18-26. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/ciencianimal/article/view/1224/941>

Connolly D. S. (2017). *Inclusión de harina de follaje y raíz de yuca (Manihot esculenta crantz), en la alimentación de pollos de engorde y su efecto en el comportamiento*



productivo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria] Riuna. <http://repositorio.una.edu.ni/3500/1/tnl02c752.pdf>

Flórez-Delgado, D. F. y Arteaga-Díaz, A. I. (2019). Evaluación de un alimento peletizado a base de forraje para conejos en fase de levante y ceba en la Granja Experimental Villa Marina. *Mundo Fesc*, 9(179), 78-84.

<https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/403/535>

Flórez-Delgado, D. F. y Cobos-Lizarazo, K. L. (2021). Análisis de la inclusión de *Cucurbita moschata* sobre los parámetros productivos en pollos de engorde. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(3), p. e2123. http://doi:10.21930/rcta.vol22_num3_art:2123

Flórez-Delgado, D. F. e Hidalgo-Angulo, D. F. (2020). Evaluación de un granulado de *Boehmeria nivea* y *Trichanthera gigantea* sobre los parámetros productivos en conejos en fase de ceba. *Mundo Fesc*, 10(19), 80-87. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/512/553>

Flórez-Delgado, D. F. y Romero-Arias, Y. Z. (2018). Evaluación de dos niveles de inclusión de harina de morera (*Morus alba*) sobre los parámetros productivos de pollo de engorde. *Mundo Fesc*, 15(1), 53-60.

<https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/293/441>

Gómez, R. S., Cortés, A., López, C. y Ávila, E. (2011). Evaluación de tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína. *Veterinaria México*, 42(4), 299-309. <http://www.scielo.org.mx/pdf/vetmex/v42n4/v42n4a5.pdf>

González-Vázquez, A., Ponce-Figueroa, L., Alcivar-Cobena, J., Valverde-Lucio, Y y Gabriel-Ortega, J. (2020). Suplementación alimenticia con promotores de crecimiento en pollos de engorde Cobb 500. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 7(1), 3-16. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2020.070100003>

González-Castillo, J. C., Hahn, C. M. y Narváez-Solarte, W. (2014). Características

botánicas de *Tithonia diversifolia* (Asterales: Asteraceae) y su uso en la alimentación animal. *Boletín Científico del Centro de Museos*, 18(2), 45-58.

<http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v18n2/v18n2a04.pdf>

Gutiérrez-Castro, L. L. y Hurtado-Nery, V. L. (2019). Uso de harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la alimentación de pollos de engorde. *Orinoquia*, 23(2), 56-62. <https://doi.org/10.22579/20112629.569>

López, F., Caicedo, A. y Alegría, G. (2012). Evaluación de tres dietas con harina de hoja de bore (*Alocasia macrorrhiza*) en pollos de engorde. *Revista MVZ Córdoba*, 17(3), 3236-3242. <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v17n3/v17n3a20.pdf>

Martins, J. M. S., Carvalho, C. M. C., Litz, F. H., Silveira, M. M., Moraes, C. A., Silva, M. C. A., Fagundes, N. S. & Fernandes, E. A. (2016). Productive and Economic Performance of Broiler Chickens Subjected to Different Nutritional Plans. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18(2), 209-216. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2015-0037>

Méndez, G., Durán, L. A., Hume, M. E. & Silva, R. (2017). Performance, blood parameters, and carcass yield of broiler chickens supplemented with Mexican oregano oil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(6), 515-520. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902017000600006>

Nieves, A. (2015). UF2170 -Control y manejo de aves en la explotación avícola. España, Editorial Elearning S.L.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2014). *Producción pecuaria en América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/americas/prioridades/produccion-pecuaria/es/>

Rodríguez-Aguilar, D., Ariza-Nieto, C. J. y Afanador-Téllez, G. (2014). Potencial del almidón resistente retrogradado de papa frente a otros aditivos funcionales usados en pollos de engorde. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 61(1), 44-63. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v61n1.43883>

Sánchez, V., Ahmed, E., Yépez, M., Mosquera, C., Arizaga, R. y Cadena, N. (2018). Elaboración de alimento balanceado para pollo broiler a base de subproductos de cacao (cáscara, cascarilla y placenta). *Espirales revistas multidisciplinaria de investigación*, 2(13), 105-113. <https://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/173/115>

Savón, L. (2002). Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 36(2), 91-102. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193018119001.pdf>

Stadig, L. M., Rodenburg, T. B., Reubens, B., Aerts, J., Duquenne, B. & Tuytens, F. A. M. (2016). Effects of free-range access on production parameters and meat quality, composition and taste in slow-growing broiler chickens. *Poultry Science*, 95(12), 2971-2978. <https://doi.org/10.3382/ps/pew226>

Torres, D. M. (2018). Exigencias nutricionales de proteína bruta y energía metabolizable para pollos de engorde. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 105-113. <https://doi.org/10.22490/21456453.2052>

Uzcátegui-Varela, J. P., Collazo-Contreras, K. D. y Guillén-Molina, E. A. (2020). Evaluación del comportamiento productivo de pollos Cobb 500 sometidos a restricción alimenticia como estrategia sostenible de control nutricional. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(39), 85-97. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss39.9>

Valdiviá, M., Leyva, C., Cobo, R., Ortiz, A., Dieppa, O. y Febles, M. (2008). Sustitución total del maíz por harina de yuca (*Manihot esculenta*) en las dietas para pollos de engorde. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(1), 61-64. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015413010.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.



BISFENOL A Y EFECTOS DE DISRUPCIÓN ENDOCRINA EN HUMANOS Y ANIMALES: REVISIÓN SISTEMÁTICA

BISPHENOL A AND ENDOCRINE DISRUPTION EFFECTS ON HUMANS AND ANIMALS: A SYSTEMATIC REVIEW

Fernando Tamayo Cabarcas • ftamayoc10@curnvirtual.edu.co
Estudiante de medicina, Corporación Universitaria Rafael Núñez, Cartagena, Colombia

Jorge Agaméz Fuentes • jagamezf10@curnvirtual.edu.co
Estudiante de medicina, Corporación Universitaria Rafael Núñez, Cartagena, Colombia.

Dilia Aparicio Marengo • dilia.aparicio@curnvirtual.edu.co
Microbióloga, M. Sc, Grupo GINUMED, Corporación Universitaria Rafael Núñez, Cartagena, Colombia.

Johana Márquez Lázaro* • johana.marquez@curnvirtual.edu.co
Química, M. Sc, PhD, Grupo GINUMED, Corporación Universitaria Rafael Núñez, Cartagena-Colombia.

* Autor correspondiente

Citación: Tamayo, F., Agaméz, J., Aparicio, D. y Márquez, J. (2022). Bisfenol A y efectos de disrupción endocrina en humanos y animales: Revisión sistemática. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 175 – 200. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4691>

RESUMEN

Contextualización: El Bisfenol A (BPA por su nombre en inglés, Bisphenol A) es una sustancia química utilizada en la fabricación de recipientes de plástico de policarbonato, recubrimiento de latas de metal, empaques de productos cosméticos y de cuidado personal, utensilios de cocina, juguetes, papel térmico para recibos, equipos deportivos y dispositivos médicos y dentales, que posee la facilidad de lixiviarse con el paso del tiempo y las altas temperaturas. En la actualidad, el BPA se ha categorizado como disruptor endocrino, debido a su capacidad de alterar la homeostasis del sistema endocrino tanto de humanos como animales.

Vacío de investigación: El uso de plásticos se ha convertido en una problemática mundial, debido al impacto generado en los diferentes compartimientos ambientales, así como la


salud de los animales y el hombre. En este sentido, se hace necesario la recopilación de información que evidencie el panorama general de los efectos asociados a sustancias presentes en los plásticos, tales como el BPA.

Propósito del estudio: Revisar los efectos de disrupción endocrina inducidos por la exposición a BPA en humanos y animales.

Metodología: Revisión sistemática de acuerdo con la guía PRISMA. Para ello se realizaron búsquedas en las bases de datos Scielo, ScienceDirect, MedLine (PubMed, OVID) entre el periodo de 2017 hasta 2021. Como palabras claves se emplearon los siguientes términos: Bisphenol, endocrine disrupter, animals y humans. Se incluyeron todos los artículos que evidenciaron el efecto disruptor endocrino del BPA en humanos y animales.

Resultados: Para esta revisión se incluyeron 35 estudios, de los cuales 17 se realizaron en humanos y 18 en animales; los estudios seleccionados evidenciaron que la exposición a BPA puede tener efectos sobre la reproducción, aumento de peso (obesógeno), diabetes, neurotoxicidad, estrés oxidativo y función tiroidea.

Conclusión: El BPA puede filtrarse de plásticos y productos y ser ingerido o absorbido

por vía transdérmica en los seres vivos, así como lixiviarse al ambiente; allí puede alcanzar aguas residuales, suelo y cuerpos de agua (superficiales y subterráneos). Por tanto, esta sustancia es considerada como ubicua en el medio ambiente e inevitable para los humanos y animales, en los cuales ha mostrado inducir efectos de disrupción endocrina equiparables. 

Palabras clave: Bisfenol A; disruptor endocrino; reproducción; obesógeno; hormonas

ABSTRACT

Contextualization: Bisphenol A (BPA) is a chemical substance used in the manufacture of polycarbonate plastic containers, lining of metal cans, packaging of cosmetic and personal care products, kitchen utensils, toys, thermal paper, sports equipment, and medical and dental devices. The BPA has the capacity to leach from containers or environmental matrices through time and high temperatures. Currently, BPA has been categorized as an endocrine disruptor, due to its capacity to alter the homeostasis of the endocrine system in humans and animals.


Knowledge gap: The use of plastics has become a global problem, due to the impact generated in the different environmental compartments, as well as the health of animals and man. In this sense, it is necessary to review the information that shows the general panorama of the effects associated with substances present in plastics, such as BPA.

Purpose: To review the endocrine-disrupting effects induced by exposure to BPA in humans and animals.

Methodology: Systematic review according to the PRISMA guide. For this, Scielo, Science

Direct, MedLine (PubMed) databases were searched between the period of 2017 to 2021. The keywords Bisphenol, endocrine disrupter, animals, and humans were used. All articles that evidenced the endocrine disrupting effect of BPA in humans and animals were included.

Results: In this review 35 studies were included, they were divided in humans (17) and animals (18). Selected studies showed that BPA exposure can have effects on reproduction, weight gain (obesogen), diabetes, neurotoxicity, oxidative stress, and thyroid function.

Conclusion: BPA can leach from plastics and other products and then be ingested or absorbed by living beings via transdermal, as well as leaching into the environment, where it can reach wastewater, soil, and water bodies (surface and underground). Thus, this substance is considered ubiquitous in the environment and unavoidable for humans and animals, and it has been shown to induce comparable endocrine disrupting effects on them. 

Keywords: Bisphenol A; endocrine disruptor; reproduction; obesogen; hormones



1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el incremento de la síntesis y producción de compuestos químicos destinados a la fabricación de materiales y/o productos de uso cotidiano ha sido motivo de preocupación por parte de la comunidad científica, puesto que, en la mayoría de los casos, se desconoce su impacto a corto, mediano y largo plazo, tanto en la salud humana como en los distintos ecosistemas (Sivaranjanee & Kumar, 2021). Un ejemplo de estas sustancias son los químicos disruptores endocrinos (EDCs es la sigla en inglés para Endocrine Disruptor Chemicals), cuyos efectos se han asociado a la capacidad de interferir con la síntesis, metabolismo y acción de hormonas endógenas (Chen et al., 2017; Paschoalini et al., 2021). Los EDCs, a diferencia de otras sustancias tóxicas, se caracterizan por ejercer su efecto a concentraciones por debajo de su Nivel de Efecto No Observado (NOAEL, del inglés No Observed Adverse Effect Level). Ese comportamiento, al graficarse, exhibe curvas dosis-respuesta no monotónicas (Figura 1) (Song et al., 2018).

Dentro de las sustancias catalogadas como EDCs se encuentra el BPA (2,2-bis (4-hidroxidifenil) propano), una sustancia química ampliamente utilizada en la síntesis de polímeros (policarbonato, resinas) y en la fabricación de envases de alimentos, contenedores de plástico, biberones, botellas, discos compactos y cosméticos (Ma et al., 2020; Song et al., 2019). Después de su síntesis en el año de 1891 por el químico Aleksandr Dianin, se ha estimado que la producción de este compuesto por cada año es de más de tres millones de toneladas (Hart et al., 2017); cantidad exorbitante pero coincidente con el número de materiales que lo contienen, en especial las botellas de plástico usadas para el almacenamiento de agua. Adicionalmente, se estima que alrededor de 100 toneladas/año de BPA son liberadas al medio ambiente (Hart et al., 2017), situación preocupante porque este puede acumularse en diferentes fuentes hídricas (superficial y subterráneas), potencializando su exposición tanto en seres humanos como en los animales (Hart et al., 2018; Zhang et al., 2018).

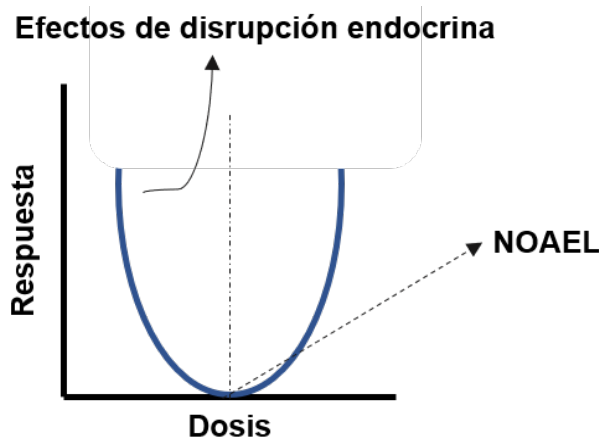


Figura 1. Curva dosis-respuesta no monotónica de compuestos disruptores endocrinos.

Fuente: autores.

Por otro lado, con el paso del tiempo, el BPA puede lixiviarse a los alimentos o las bebidas de los envases fabricados con esta sustancia; fenómeno que es acelerado por la temperatura (28 y 34°C) y cambios de pH (Sarria-Villa et al., 2019). Por tanto, bajo estas condiciones, la ingestión es la principal vía de exposición al BPA en humanos. Después de la ingestión el BPA es rápidamente metabolizado a varios metabolitos inactivos, como BPA-glucurónido y BPA-sulfato. El BPA libre se

excreta principalmente en las heces (56 a 82 %) y sus metabolitos en la orina (13 a 28 %). A pesar del rápido metabolismo, el BPA libre se ha encontrado en la orina de adultos y niños, el suero de mujeres embarazadas y leche materna.

En particular, la presencia de esta sustancia en el suero materno y fetal, así como en la leche materna, puede provocar una exposición prolongada al BPA durante el

período fetal y neonatal, y por tanto inducir efectos nocivos a largo plazo en el feto y el recién nacido (Murata & Kang, 2018). A nivel celular, el BPA mimetiza la acción hormonal e interfiere en vías de señalización involucradas en procesos como carcinogénesis, toxicidad reproductiva, respuesta inflamatoria o inmunitaria, cerebro y sistema nervioso (Chen et al., 2018; Eker et al., 2021; Qiu et al., 2020; Salehpour et al., 2020; Wen et al., 2020).

En los procesos cancerígenos (ej. mama, ovario, testicular) el BPA participa en la regulación del crecimiento, supervivencia, proliferación, migración e invasión de las células malignas a través de la unión o estimulación de los siguientes receptores: de estrógeno α / β (ER α / β), de andrógenos (AR), de estrógeno acoplado a proteína G (GPER), del factor de crecimiento similar a la insulina-1 (IGF-1R) y receptor gamma relacionado con el estrógeno (ERR γ) (Di Donato et al., 2017; Shafei et al., 2018; Sheng et al., 2019).

Respecto a la toxicidad reproductiva, el BPA en las hembras puede inducir desórdenes de desarrollo ovárico, desórdenes en la morfología del útero, decrecimiento de la implantación y desregulación de la secreción de hormonas sexuales (ej. Estrógeno y la progesterona) (Pivonello et al., 2020; Tomza-Marciniak et al., 2018; Ziv-Gal & Flaws, 2016), mientras que en los machos puede afectar la espermatogénesis y la calidad del esperma, criptorquidia, disfunción sexual y desregulación de hormonas sexuales (testosterona, androsterona y androstenediona) (Castellini et al., 2020; Mínguez-Alarcón et al., 2016; Rahman & Pang, 2019; Tomza-Marciniak et al., 2018). A pesar de que estos eventos no tienen un mecanismo definido, se han asociado a la capacidad antagonista del BPA con los receptores de andrógenos, estrógenos y procesos adyacentes como apoptosis y estrés oxidativo (Murata & Kang, 2018).

Por otra parte, el BPA puede inducir trastornos del desarrollo del cerebro y del sistema nervioso como memoria espacial y visión reducida, comportamientos similares a la migraña y morfogénesis dendrítica. Estos trastornos se han relacionado con la unión

del BPA a los receptores IR, ER α / β , GR, del ácido gamma-aminobutírico (GABAA), del ácido N-metil-D-aspartico (NMDA) y GPER (Murata & Kang, 2018; Patisaul, 2020; Santoro et al., 2019).

En aras de proteger la salud, organizaciones internacionales como la Unión Europea (UE), a través de los Reglamentos 2011/10 y 2018/213, han prohibido el uso de BPA en la fabricación de biberones y establecieron el límite de migración del BPA a las superficies o al interior de los alimentos procedente de barnices o revestimientos aplicados a materiales u objetos en 0,05 mg de BPA por kg de alimento. La Ingesta Diaria Tolerable Temporal (TDI-t) para BPA en la UE es de 4 μ g/kg de peso/día (Reglamento 213/2018, Unión Europea), mientras que en Estados Unidos la EPA (Environmental Protection Agency) ha fijado la dosis de referencia (RfD) de BPA en 50 μ g/Kg de peso/día (Sarria-Villa et al., 2019). En Colombia, el Ministerio de Salud, a través de la Resolución 4143 de 2012, ha prohibido el uso de BPA en productos que tengan relación con el consumo humano y ha establecido como límite de migración 50 mg/Kg de alimento o estimulante, siendo esta cantidad 1000 veces mayor a la establecida por la UE; suponiendo así un riesgo más alto de exposición a BPA a través de la ingesta de alimentos o bebidas envasadas en recipientes fabricados con dicha sustancia. Por tanto, el objetivo de este trabajo es revisar los efectos de disrupción endocrina inducidos por la exposición a BPA en humanos y animales, a través de la búsqueda bibliográfica de artículos originales publicados entre 2017 y 2020.

2. METODOLOGÍA

2.1. Protocolo

Esta revisión se realizó bajo las directrices del protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Guidelines). La búsqueda de los artículos se realizó por dos investigadores independientes en las siguientes bases de datos: Scielo, Science Direct, Springer Link, MedLine (PubMed, OVID), sin restricción de idioma o lugar, y abarco el periodo de enero de 2017 a junio de 2021. El resultado de la búsqueda se muestra en la Figura 2.

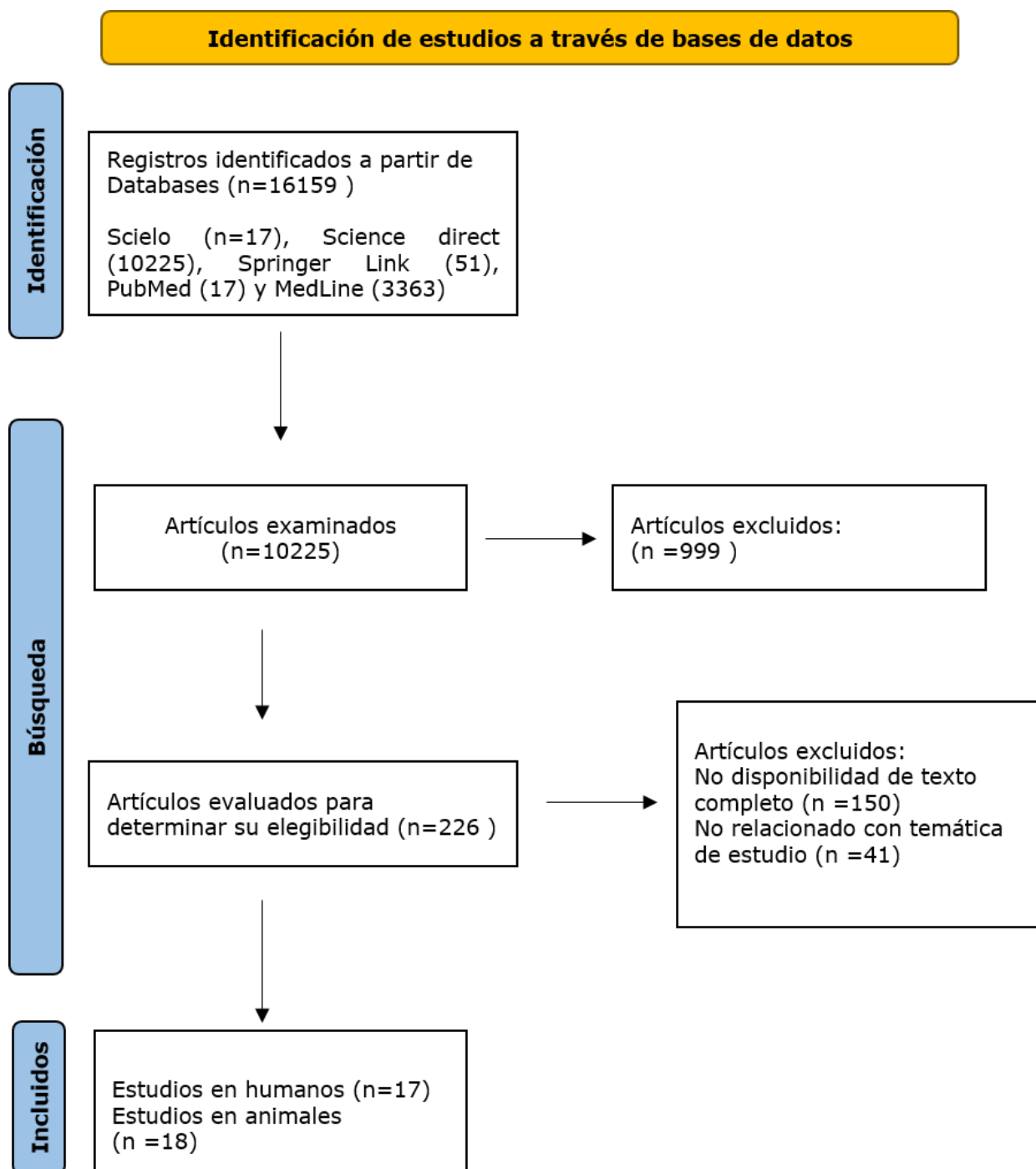


Figura 2. Flujograma de información obtenida durante el proceso de revisión.

Fuente: Guía PRISMA 2020 (Moher et al., 2009).

Adicionalmente, la búsqueda se estructuró y organizó con base en la estrategia PICOS de esta manera: P: humanos y animales; I: exposición a BPA; C: no expuestos a BPA; O: disrupción endocrina; (S): estudios experimentales, estudios de cohortes, estudios de casos y controles.

2.2. Estrategia de búsqueda bibliográfica

Para la búsqueda de los artículos se seleccionaron estas palabras claves: Bisphenol A/ Bisfenol A, endocrine disrupter/ Disruptor endocrino, animals/animales y humans/humanos, las cuales fueron previamente verificadas en el tesauro MeSH

(Subject Headings (MeSH)). La construcción de la ecuación de búsqueda incluyó el operador booleano and/y. Posteriormente, se procedió a su lanzamiento en las bases de datos: Scielo, Science Direct, Springer Link, PubMed y MedLine (OVID).

2.3. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión se basaron en la selección de artículos originales que indicaran la realización de estudios experimentales, estudios de cohortes y estudios de casos y controles, sin restricción de idioma o lugar, abarcando el periodo de enero de 2017 a junio de 2021.

2.4. Criterios de exclusión

Se excluyeron de la revisión cartas al editor, resúmenes, comunicaciones cortas, revisiones narrativas y sistemáticas, y metaanálisis. También se excluyeron los artículos sin disponibilidad de texto completo, no relacionados a la temática y duplicados.

2.5. Extracción de datos

La selección de artículos se realizó mediante la lectura del título y/o resumen y, posteriormente, mediante la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión al texto completo. El proceso de selección de los artículos fue realizado por dos revisores de forma independiente. Con el propósito de tabular la información obtenida de cada estudio se construyó una base de datos en Excel, la cual incluyó: autor, año de publicación, título, objetivo del estudio, modelo biológico, metodología, tipo de estudio, principales resultados y conclusión.

3. RESULTADOS

Identificamos 16.159 artículos a través de nuestra búsqueda en las bases de datos. Después de evaluar títulos y resúmenes, se seleccionaron 226 artículos que cumplían con los criterios inclusión. La revisión adicional de los textos completos y la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión permitió seleccionar 35 estudios, como se observa en la Figura 2. Los artículos incluidos se clasificaron en estudios en animales y

humanos, como se muestra en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

3.1. Efectos de disrupción endocrina del BPA en humanos

Los estudios seleccionados en humanos incluyeron cuatro estudios de cohorte prospectivo, seis de cohorte transversal, cinco de casos y controles, y dos experimentales *in vitro* (Tabla 1). Los niveles de BPA se cuantificaron en la mayoría de los estudios como BPA total y/o BPA-creatinina, empleando para esto muestras de orina (70,5 %), sangre (17,7 %) y tejido (11,8 %). Por otro lado, los desenlaces de cada estudio fueron variables, imposibilitando así la realización de un metaanálisis. A continuación, se describen los hallazgos de acuerdo con la similitud de los principales resultados.

3.1.1. BPA y reproducción

Hart y Col (2018) demostraron que la exposición perinatal a BPA indujo la reducción del volumen testicular, calidad del semen y motilidad de espermatozoides en la etapa de niñez y adultez de los participantes en el estudio, los cuales procedían de mujeres embarazadas con concentraciones de BPA en sangre comprendida entre $\leq 5 - 12\ 580$ ng/L. Por su parte, Li y Col (2020) encontraron una disminución en los niveles de estrógenos de mujeres embarazadas con concentraciones bajas de BPA en orina, así como una asociación significativa entre BPA y E3 de madres con fetos femeninos en el segundo trimestre, evento concordante con la curva dosis-respuesta no monotónica de un EDC. Chen y Col (2018) reportaron una correlación negativa entre las concentraciones de BPA en niñas y los niveles de la hormona folículo estimulante (FSH, del inglés Follicle stimulating hormone). Joensen y Col (2018) encontraron asociaciones significativas entre los niveles urinarios de BPA y marcadores de función testicular (testosterona, estradiol y porcentaje de espermatozoides móviles), así como de portadores de la mutación del gen de la filagrina (FLG). Esta mutación conlleva a una mayor exposición a sustancias químicas a través de la piel, a causa de un incremento en permeabilidad de la barrera epidérmica.



Por otra parte, Shen y Col (2020) y Mínguez-Alarcón y Col (2019), tuvieron hallazgos contradictorios entre las concentraciones de BPA en orina y el proceso de fertilización *in vitro*. Los primeros autores relacionaron las concentraciones de BPA con una disminución en la cantidad de ovocitos y las tasas de embarazo clínico e implantación, mientras que los segundos no encontraron ninguna asociación con el recuento de ovocitos, tasa de fertilización y probabilidades de implantación, así como el embarazo clínico y los nacidos vivos.

3.1.2. BPA y efecto obesógeno

El efecto obesógeno del BPA fue descrito por autores como Li y Col (2017), quienes evaluaron el efecto del BPA en el índice de masa corporal en niños y adolescentes. Los niveles más altos de BPA en orina mostraron estar relacionados con un aumento en el índice de masa magra en niños, hecho que también fue evidenciado por Zhang y Col (2017) en niños expuestos a BPA en la etapa prenatal. Adicionalmente, el estudio realizado por Choi y Col (2020) evidenció que la exposición prenatal a BPA indujo una metilación diferencial de IGF2R en niñas y niños de dos años. Este evento podría estar asociado con el aumento del índice de masa corporal dependiente del sexo.

Siguiendo esta línea, Jain y Col (2019) han reportado que los niveles de BPA en pacientes con diabetes tipo 2 podrían causar un desequilibrio en el tejido adiposo (adipocinas) de los pacientes, una situación que podría favorecer el incremento de esta patología a través del efecto obesógeno del bisfenol A. Soundararajan y Col (2019) refuerzan la hipótesis antes mencionada, porque ellos encontraron una asociación positiva entre niveles elevados de BPA, control glucémico, resistencia a la insulina, senescencia acelerada y acortamiento de los telómeros de pacientes con diabetes tipo 2. Adicionalmente, el estudio *in vitro* realizado por Ahmed y Col (2020) mostró que la exposición de células de tejido adiposo humano, a concentraciones ambientales de BPA por un periodo de 24 h, redujo la expresión génica de marcadores proinflamatorios y adipocinas e inhibió la captación de glucosa en los adipocitos independientemente de la señalización por

insulina. Fenómeno que podría explicar la posible contribución de la exposición a BPA en el aumento de la obesidad en pacientes con diabetes (Ahmed et al., 2020).

3.1.3 BPA y efecto sobre hormonas tiroideas

En cuanto al efecto del BPA sobre las hormonas tiroideas, Derakhshan y Col (2019) relacionaron concentraciones altas de BPA con niveles bajos de T4 total, mientras que Know y Col (2020) hallaron niveles bajos de T3, los cuales fueron más notorios en el grupo con mayor índice de masa corporal. Adicionalmente, Li y Col (2019), reportaron un aumento en la presencia del anticuerpo tiroideo en sangre de mujeres con altos niveles de BPA en orina. Por su parte, el estudio realizado por Zhang y Col (2017) sobre células de cáncer de tiroides humano evidenció la susceptibilidad que tienen estas de activar mecanismos de proliferación celular, mediada por la sobreexpresión del receptor de estrógenos, ante la presencia de concentraciones ambientales de BPA. Bajo este contexto, la presencia de BPA puede desequilibrar la producción de hormonas tiroideas e inducir un aumento de peso, lo cual podría estar relacionado con el efecto obesógeno que ha mostrado este contaminante.

3.1.4 BPA y efectos sobre la capacidad cognitiva

Sobre este aspecto solo fue encontrado el estudio realizado por Rodríguez y Col (2019), en el que se evidenció que no existe una asociación entre los niveles de BPA y las capacidades cognitivas de niños de 9 a 11 años, excepto la disminución en la memoria de trabajo (almacenamiento y manipulación temporal de la información para la realización de tareas cognitivas complejas).

3.2. Efectos de disrupción endocrina del BPA en animales

Los estudios seleccionados en animales se muestran en la Tabla 2. Estos se realizaron en peces (55,5 %), ratas (16,7 %), caracol

(11,1 %), cerdo (11,1 %) y cangrejo (5,6 %). Los tejidos diana incluyeron órganos reproductivos (55.5 %) y órganos en general (44,5 %, cerebro, hígado, riñones, etc.). Al igual que los resultados en humanos, estos se mostrarán de acuerdo con sus desenlaces.

3.2.1. BPA y reproducción

Zhang y Col (2018) reportaron que la exposición a BPA en concentraciones crecientes genera una disminución en la motilidad de los espermatozoides de peces *Gobiocypris rarus*, así como cambios en su estructura y capacidad de fertilización. Además, indujo un aumento en la expresión de genes de osmorregulación (aqp3 y aqp8), a través del receptor de estrógeno en su región flanqueante 5'. Por su parte, Chen y Col (2017) evidenciaron que la exposición de peces cebrá juveniles a BPA, durante el período de diferenciación gonadal, tenía un impacto sobre la proporción de hembras en los peces tratados, con respecto al control (imposex); este evento podría estar mediado por la supresión de la expresión de *fshb* a nivel pituitario, así como de *fshr* y *lhcg* a nivel gonadal. Bajo este contexto, Li y Col (2017) indicaron que la exposición de peces macho a BPA promovía daños a nivel testicular y disminuía la cantidad de esperma, así como la capacidad de cortejo hacia las hembras.

De Andrade y col (2017) indicaron que la exposición a BPA indujo cambios en los patrones de reproducción del caracol manzana (*Pomacea lineata*), así como la disminución en la frecuencia cardíaca, y un aumento de la actividad aspartato aminotransferasa. Estos

hallazgos fueron corroborados por Forner-Piquer y Col (2020) y Wang y Col (2019), quienes, además, relacionaron la exposición a BPA con los trastornos reproductivos y asignación de sexo en peces cebras y de colores, respectivamente. Por otra parte, Spornly-Nees y Col (2018) no encontraron evidencias que indicaran alteración en la reproducción de ratas Fischer machos (jóvenes y adultas) expuestas a BPA, sin embargo, observaron en las ratas adultas un leve infiltrado en las células de epidídimo, hecho que podría afectar la maduración y activación de los espermatozoides en esta zona.

En contraste, Qiu y Col (2020) hallaron que la exposición prenatal a BPA promovía el inicio temprano de la pubertad en ratas hembra, evento que se relacionó con el incremento de LH, FSH y GnRH, así como con cambios en el tejido ovárico (estimulación de folículos) y con la expresión de la proteína kisspeptina (regulador crítico de la pubertad). Siguiendo en esta línea, Molina y Col (2018) encontraron que la exposición a dosis bajas de BPA afecta el sistema neuroendocrino de peces cebrá adultos, observándose modificaciones en la adenohipófisis e hipertrofia/hiperplasia en las células gonadotropas, situación que podría afectar la fertilidad y reproducción femenina al interferir con la funcionalidad ovárica. Adicionalmente, Elmetwally y Col (2019) evidenciaron que la exposición a BPA indujo alteraciones en la proliferación, migración y adhesión de las células del trofotodermo porcino, hecho que podría repercutir en el desarrollo e implantación del blastocito y, por tanto, conllevar a una falla en el embarazo.



Tabla 1. Efectos de disrupción endocrina del BPA en humanos.

Población	Estudio	Muestra	Concentración BPA	Ensayos	Resultados	Referencia
Mujeres embarazadas de menos de 16 semanas de gestación (Wuhan, China)	Cohorte transversal	Orina	Primer trimestre: 1, 47 ng/mL; Segundo trimestre: 1,45 ng/mL; Tercer trimestre: 1,33 ng/mL	Medidas antropométricas y concentración de estrógenos	Primer trimestre: Los niveles estrógeno disminuyeron. Segundo trimestre: Las concentraciones de E3 disminuyeron. Tercer trimestre: Los niveles de E1 y E3 disminuyeron.	Li y Col (2020)
Hombres y mujeres	Experimental/ <i>in vitro</i>	Tejido adiposo sub-cutáneo humano	Cultivo celular de adipocitos expuestos a BPA: 1, 10 y 10 ¹⁰ nM.	Ensayos de viabilidad celular, expresión de IL6, IL1B, IL33, TNFα, transportador de ácidos grasos, GLUT 1 y 4, adipoquinas, receptor de estrógenos, ingesta de glucosa y western blot.	El tejido expuesto a BPA mostró una reducción en la expresión de citoquinas y adipoquinas. Adicionalmente, la exposición a BPA indujo en el tejido adiposo una disminución en la captación de glucosa independiente a la insulina.	Ahmed y Col (2020)
Mujeres embarazadas e hijos (2-4 años) (Corea del Sur, Seúl)	Cohorte prospectiva	Orina Sangre	Grupo de madres de baja exposición: 1.34 ± 0.60 µg/g creatinina Grupo de madres de alta exposición: 7.92±4.97µg/g creatinina.	Cuantificación de BPA en orina por HPLC-MS. Medidas antropométricas en los niños (peso, altura, IMC). Metilación de ADN de niños.	Se encontró un incremento de la metilación en el gen IGF2R en niños y niñas de dos años, mediada por la exposición prenatal a BPA. Además, este estudio evidenció una asociación significativa entre la metilación y el IMC en niñas.	Choi y Col (2020)
Mujeres con infertilidad por factor tubárico sometidas a fertilización <i>in vitro</i> (Zhejiang, China)	Cohorte prospectiva	Orina	<Límite de detección- 12. 862 ng/mL	Niveles de estrógenos, FSH, AFC y recuento de ovocitos.	Las mujeres con concentraciones de BPA urinarias más altas exhibieron un número más bajo de ovocitos, así como, la disminución de estos durante la fertilización y período de gestación, en comparación con las que mostraron niveles más bajos de BPA en orina.	Shen y Col (2020)

Población	Estudio	Muestra	Concentración BPA	Ensayos	Resultados	Referencia
Mujeres y hombres mayores a 19 años. (Corea)	Cohorte transversal	Orina	>0.15 mg/L	Cuantificación de BPA HPLC-MS. Hormonas tiroideas: T3, T4 y TSH.	Los niveles de BPA se relacionaron de forma indirecta con las concentraciones de las hormonas T3 y T4. Sin embargo, no se encontró relación con la hormona TSH.	Kwon y Col (2020)
Pacientes diagnosticados con diabetes mellitus tipo 2 y grupo control sin diabetes diagnosticada por criterios OMS. (Chennai, India)	Casos y controles	Sangre	Media de BPA en grupo diabéticos tipo 2: 52.4±3.8 ng/mL. Media grupo de control: 41,7±3.0 ng/mL	Medidas antropométricas (talla, peso y circunferencia de la cintura). Glucosa en ayunas, TGs, VLDL HDL y LDL, HbA1c. Niveles de insulina y resistencia a insulina. Cuantificación de BPA por ELISA. Expresión de los genes β -GLB1, p16, p21, p53, ER- α , ER- β , ERR- α , ERR- β , ERR- γ , SOCS-3, IL-6, factor de TNF- α , CYP2C9, CYP2C18, AhR, AR, NOD-1, NOD-2, GPER-1 y PPAR- γ .	La exposición a BPA mostró correlación positiva con la expresión de genes inflamatorios y de senescencia. Además, los niveles de glucosa plasmática, HbA1c, VLDL y la resistencia a la insulina se correlacionaron con los niveles de BPA en los pacientes con diabetes.	Soundararajan y Col (2019)
Mujeres embarazadas (Suecia)	Cohorte transversal	Orina	1,51 ng/dL	TSH, T4, T3, TT3 y TPOAb.	Niveles más altos de BPA se asociaron con concentraciones más bajas de TT4 o T4 Total, además, de proporciones más bajas de T4/T3, T4/TT3.	Derakhshan y Col (2019)
Mujeres (Xuzhou, China)	Casos y controles	Orina	BPA nivel corregido con creatinina 1,35ng/mL	Cuantificación de BPA urinario y ecografía tiroidea	Los niveles de BPA urinario se relacionaron con la presencia del anticuerpo tiroideo positivo en sangre.	Li y Col (2019)
Mujeres en tratamiento de fertilización <i>in vitro</i> (Massachusetts, Estados Unidos)	Cohorte prospectiva	Orina	1,14 μ g/L	Niveles de estrógenos y ovocitos recuperados.	No se encontró asociación entre niveles de BPA y tasa de fertilización, implantación, embarazo clínico y nacidos vivos.	Mínguez-Alarcón y Col (2019)



Población	Estudio	Muestra	Concentración BPA	Ensayos	Resultados	Referencia
Niños de 9 a 11 años (Granada, España)	Cohorte transversal	Orina	Mediana de 4.76 ng/mL de BPA y mediana de 4.75 ng/g creatinina/BPA	Cuantificación de BPA HPLC-MS. Evaluación de funciones cognitivas.	No se encontró una relación entre los niveles de BPA en los niños y el desarrollo neuropsicológico. Sin embargo, se encontró una asociación entre los niveles de BPA y la disminución de la memoria de trabajo.	Rodríguez-Carrillo y Col (2019)
Pacientes diagnosticados con diabetes mellitus tipo 2 (Jaipur, India)	Casos y controles	Sangre	Grupo diagnosticado con Diabetes mellitus tipo 2: 109.04 ± 30.32 pg/mL Grupo de control sanos: 102.04 ± 20.67 pg/mL.	Medidas antropométricas (peso, talla, relación cintura-cadera, IMC). Colesterol, triglicéridos, fosfolípidos, HDL, glucosa, insulina sérica, adiponectina, leptina, TNF-α, IL-6 e IL-1, BPA, péptido C e índice de resistencia a la insulina para la homeostasis.	Los niveles de BPA fueron correlacionados de forma positiva con las medidas antropométricas de pacientes diabéticos. Correlación positiva entre BPA y leptina fueron encontrados, así como correlación negativa entre BPA y adiponectina de los pacientes diabéticos.	Jain y Col (2019)
Madres e hijos (Australia)	Cohorte transversal	Suero materno	≤5 – 12580 ng/L	Suero materno: testosterona, estradiol y estrona, LH, FSH e inhB. Hijos: volumen de testículos, características del semen (abstinencia, volumen, salida, concentración, morfología, motilidad y estructura de cromatina espermática).	Las concentraciones de BPA en suero materno fueron correlacionadas positiva con la concentración y motilidad de los espermatozoides.	Hart y Col. (2018)
Niñas 6 a 9 años (Shanghái, China)	Caso y controles	Orina	Casos: 6.88mcg/L – Controles: 1,02mcg/L	Niveles séricos de estradiol, LH, FSH, GnRH.	Encontraron una correlación negativa entre las concentraciones de BPA y los niveles de FSH, que podría significar un mecanismo potencial de toxicidad del BPA en el desarrollo puberal de las niñas.	Chen y Col (2018)

Población	Estudio	Muestra	Concentración BPA	Ensayos	Resultados	Referencia
Hombres con genotipo FLGR501X, 2282del4 y mutaciones R2447X (Dinamarca)	Casos y controles	Orina	3.5 ng/mL	Cuantificación de BPA, parabenos, filtros UV y benzofenonas	Los portadores de mutaciones tuvieron concentraciones más altas de BPA y benzofenonas como BP-1y BP-3, lo cual fue relacionado a su vez con altos niveles de testosterona y estradiol y FSH más baja.	Joensen y Col (2018)
Niños y adolescentes entre 8 y 19 años (Estados Unidos)	Cohorte transversal	Orina	5.61 ng/mL	Índice de masa corporal (composición corporal medida mediante DXA scan)	Los niveles más altos de BPA urinario se asociaron con el aumento del índice de masa corporal magra elevada (LBMI) en niños, pero no en niñas.	Li y Col (2017)
Tumor papilar de tiroides	Experimental <i>/in vitro</i>	Células de cáncer papilar de tiroides	Las células fueron expuestas a niveles de BPA de 1mM – 10 nM	Ensayos de viabilidad y proliferación celular. Identificación Ers y GPR30 por inmunofluorescencia. Expresión de los genes Era, Erb y GPR30.	La exposición a BPA influye en los procesos de proliferación celular en el cáncer de tiroides; evento mediado por la expresión de receptor de estrógenos y receptor GPR30.	Zhang y Col (2017)
Mujeres e hijos (México)	Corte prospectiva	Orina	Media de BPA urinario de madres en tercer trimestre de embarazo: 0.74 ng/mL Nacidos de las madres estudiadas con edades de 8-14 años media de BPA de: 1,4 ng/mL	Medidas antropométricas a los niños (IMC Z). La concentración de BPA en orina fue cuantificada por cromatografía isotópica de dilución líquida/MS-MS.	Los niveles de exposición a BPA en el útero mostraron una relación con un el aumento del índice de masa corporal de niñas que no habían entrado a la pubertad.	Yang y Col (2017)

LH: Hormona luteinizante; FSH: hormona estimulante del folículo; inhB inhibina B; AFC: recuento de folículos antrales; GnRH: hormona liberadora de gonadotropina; TSH: Hormona estimulante de la tiroides; T4: Tiroxina libre; T3: Triyodotironina; TT3: Triyodotironina total; TSH: hormona estimuladora de tiroides; TPOAb: Anticuerpos peroxidasa tiroideos; TNFα: Factor de necrosis tumoral alfa; IMC: Índice de masa corporal; Ers: Receptores de estrógenos; GRP30: Receptor de estrógeno acoplado proteína G30; HbA1c: Hemoglobina glicosilada; TGs: Triglicéridos; GLB1: β-galactosidasa-1; SOCS-3: gen supresor de la señalización de citocinas-3; IL: interleuquinas; CYP: Citocromo; AhR: Receptor aromático, AR: Receptor de andrógenos.

Fuente: autores



3.2.2. BPA y efecto obesógeno

Manukyan y Col (2019) reportaron que la exposición a BPA de ratas embarazadas y su descendencia incrementó la producción de insulina, suponiendo así un posible riesgo de enfermedades metabólicas como la diabetes tipo 2. Además, las concentraciones empleadas de BPA para este estudio fueron ocho veces menor que la ingesta diaria tolerable (TDI) de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), situación alarmante dado que estas concentraciones son consideradas seguras para los seres humanos. Martínez y Col (2020) indicaron que la exposición intrauterina a BPA de peces cebrá aumentó los niveles de triglicéridos, diglicéridos, fosfatidilcolinas y fosfatidilinositoles con respecto al control. En ambas situaciones la exposición a BPA puede conllevar a obesidad, considerando que los altos niveles de insulina conducen a una mayor captación de glucosa, la cual es posteriormente almacenada en forma de lípidos (triglicéridos). Otro aspecto revelado por estos estudios es la modulación del BPA al receptor PPAR γ , involucrado en procesos transporte y anabolismo de lípidos (Manukyan et al., 2019).

3.2.3. BPA y efectos sobre sistema nervioso

Gupta y Col (2018) encontraron que la exposición a BPA induce un aumento en la expresión del gen *cyp19a1b* en el cerebro de los peces (*Labeo rohita*). Este gen codifica la aromatasa Citocromo P450, la cual cataliza la conversión del andrógeno C19 en estrógeno C18 durante el desarrollo y la reproducción temprana. En este contexto, los autores indican que la exposición temprana a BPA tiene efectos estrogénicos en el desarrollo del cerebro, aun cuando la gónada no se diferencia, evento que a su vez puede repercutir en la diferenciación sexual del pez. Adicionalmente, esta investigación resalta que el BPA induce una fuerte sobreexpresión de la aromatasa B y su actividad en cerebro, a través de la unión a los receptores de estrógenos nucleares.

Por otro lado, Liliana y Col (2019) determinaron que la exposición a dosis bajas de BPA tenía un impacto significativo en la codificación química de nervios pertenecientes al sistema nervioso simpático ubicados en el cuello y cuernos del útero porcino. Este suceso evidencia los efectos neurotóxicos del BPA, los cuales, según los autores, pueden estar modulados por la unión a los receptores de estrógenos.

Tabla 2. Efectos de disrupción endocrina del BPA en animales.

Modelo	Muestra	Ensayos	Concentración de exposición a BPA	Resultados	Referencia
<i>Aristichthys nobilis</i>	Sangre, cerebro, hígado, riñones y branquias.	Cambios morfológicos y nucleares en eritrocitos. Genotoxicidad y determinación de ROS, TBARS, GSH, proteína total y enzimas antioxidantes: SOD, CAT y POD.	0.5, 1 y 1.5 mg/L	La exposición a BPA indujo cambios morfológicos en los eritrocitos y daño oxidativo por disminución del contenido de proteínas totales, actividad CAT, SOD y POD. Además, de inducir peroxidación lipídica y ROS en el cerebro, riñones y branquias.	Akram y Col (2021)

Modelo	Muestra	Ensayos	Concentración de exposición a BPA	Resultados	Referencia
Ratas hembra Sprague-Dawley	Sangre del tronco, ovarios e hipotálamo	Morfología de ovarios. Cuantificación: HL, FSH, estradiol, GnRH y testosterona. Expresión de los genes Kiss1 y Gnrh1 en hipotálamo. Expresión de las proteínas kisspeptina y GnRH.	0,05-0,5-5,0 y 10 mg/Kg/día	La exposición a BPA indujo un incremento en las hormonas LH, FSH y GnRH y una disminución en los niveles de testosterona a todas las concentraciones ensayadas. A nivel de hipotálamo, la expresión de los genes Gnrh1 y Kiss1 y sus proteínas kisspeptina y GnRH fue mayor en las ratas expuestas a 10 mg/Kg/día de BPA.	Qiu y Col (2020)
<i>Aristichthys nobilis</i>	Células del tejido del bazo	Determinación de ROS, actividad de SOD, CAT, GSH-PX, contenido de GSH, NOS y MDA. Expresión de miR-27b-3p, CYP1B1 y BCL-2.	1, 5 y 10 nM	La exposición al BPA reguló al alza la expresión de CYP1B1 y a la baja la expresión de miR-27b-3p, provocando estrés oxidativo por la inhibición de la actividad de las enzimas antioxidantes y acumulación de ROS.	Liu y Col (2020)
<i>Danio rerio</i>	Tejido de gónadas y hígado	Expresión de genes <i>rplp0</i> y <i>18s</i> para el ovario, y <i>rplp0</i> y <i>rpl13a</i> para los testículos y vtg en hígado. Determinación de AEA y 2-AG y PEA y OEA e Histología.	10 y 20 µg/L	La exposición a BPA indujo un aumento la proporción de ovocitos en estadio vitelogénico. La exposición a 20 µg/L de BPA causó una disminución significativa del área de las espermatogonias, lo cual afectó la función gonadal en peces machos y hembras.	Forner-Piquer y Col (2020)
<i>Procambarus clarkii</i>	Hepatopáncreas	Análisis histológico. Actividades SOD, CAT y POD, ACP, AKP y lisozima. Expresión de genes relacionados a la inmunidad.	225 µg/L	El hepatopáncreas de los cangrejos tratados con BPA mostró una desaparición del borde de cepillo, aumento de lumen y desconexión entre los túbulos hepáticos. Adicionalmente, se observó un incremento en el número de gotitas de lípidos en el hepatocito y las mitocondrias se hincharon y algunas crestas mitocondriales desaparecieron. Las enzimas antioxidantes mostraron un decremento en sus actividades.	Zhang y Col (2020)



Modelo	Muestra	Ensayos	Concentración de exposición a BPA	Resultados	Referencia
<i>Sus scrofa</i>	Células del trofotodermo porcino	Proliferación, adhesión y migración celular. Expresión de genes Acuaporinas (AQP3 y AQP4), transportadores de aminoácidos catiónicos (SLC7A1) y de aromáticos (SLC7A6); IGF1 e IGF1R. Análisis de aminoácidos.	0.1×10^{-9} , 1×10^{-8} , 1×10^{-7} , 1×10^{-6} , 1×10^{-5} , y 1×10^{-4} M	Las células pTr2 expuestas a BPA disminuyeron su proliferación, migración y adhesión. En altas concentraciones de BPA se redujo la liberación de los aminoácidos catiónicos y aromáticos; además, la expresión de genes IGF1, IGF1R y de acuaporinas (AQP) 3 y 4, se regularon a la baja.	Elmetwally y Col (2020)
Ratas Fisher	Páncreas	Secreción y contenido de insulina	0,5 y 50 μ g /Kg peso	La exposición de madres y sus descendencias a BPA inducen una disminución en la secreción de insulina a dosis de 50 μ g/Kg peso, mientras que a la dosis 0.5 μ g/Kg peso indujo una hipersecreción.	Manukyan y Col (2019)
<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tejido del cuerpo uterino	Doble inmunofluorescencia con marcaje contra dopamina beta-hidroxilasa, isoforma neuronal del óxido nítrico sintasa, sustancia P, polipéptido intestinal vasoactivo, galanina y péptido relacionado con el gen de la calcitonina y densidad de nervios inmunoreactivos.	0.05 mg/kg pc/día y 0.5 mg/kg pc/día	Ambas dosis de BPA causaron los cambios en el número y la caracterización neuroquímica de los nervios DBH-LI en la pared uterina. En la capa muscular del cuerpo uterino, dosis bajas de BPA provocaron el aumento del número promedio de fibras de DAP-LI por campo microscópico. En la capa muscular del cuerpo uterino, dosis bajas de BPA provocaron el aumento del número promedio de fibras de DAP-LI por campo microscópico.	Liliana y Col (2019)

Modelo	Muestra	Ensayos	Concentración de exposición a BPA	Resultados	Referencia
<i>Danio rerio</i>	Saco endodérmico de útero-embriones	Observación de tasas de mortalidad, eclosión, inflamación de la vejiga natatoria. Análisis lipídico mediante HPTLC y UHPLC-TOF/MS.	4, 6 y 8 mg/L	La exposición a BPA redujo las tasas de inflamación de la vejiga natatoria a concentraciones ≥ 6 mg/L y provocó un aumento en el área del saco vitelino. El análisis lipídico correlacionó el efecto obesógeno de BPA con un aumento en cantidades de lípidos relacionados con el metabolismo energético, principalmente, TG, DG, PC y PI.	Martínez y Col (2019)
<i>Carassius auratus</i>	Tejido gonadal, cerebro y sangre	Análisis histológico. Expresión de genes: 17 β -estradiol y 11-cetotestosterona. Inmunohistoquímica (IHC) y tinción TUNEL.	1, 50 y 500 mg/ L	La exposición al BPA reduce la maduración de las células germinales masculinas. Los resultados de la histología testicular sugieren que, después de la exposición a BPA, las espermatidas y los espermatoцитos desaparecieron. El índice gonadosomático en los peces machos se redujo significativamente en comparación con el control. Adicionalmente, la tinción TUNEL en células germinales y células de Leydig evidenció una disminución en los niveles de 11-KT de los peces expuestos.	Wang y Col (2019)
<i>Gobiocypris rarus</i>	Testículos	Densidad, movilidad y capacidad de fertilización espermática. Gradiente osmótico espermático. Análisis histopatológico e inmunohistoquímico testicular. Expresión de los genes aqp3 y 8.	15 y 225 μ g /L	La exposición a BPA indujo una disminución de la rapidez y movimiento testicular en la semana 3 y 4. Además de un decremento en la tasa de fertilización, anomalías en la estructura espermática y aumento de la expresión de los genes aqp3 y aqp8, así como de sus respectivas proteínas (AQP3 Y AQP8).	Zhang y Col (2018)



Modelo	Muestra	Ensayos	Concentración de exposición a BPA	Resultados	Referencia
Ratas Fischer en pubertad media y adultos	Testículos y epidídimo, vesícula seminal, próstata dorsolateral y ventral, plasma	Histopatología, histomorfología, Cuantificación de testosterona, estrona, androstenediona.	0,5- 50 µg/Kg/día	La exposición a BPA indujo en ratas adultas un incremento del índice anogenital. El peso de los testículos fue significativamente menor en las ratas que no presentaron espermiogénesis.	Sporndly-Nees y Col (2018)
<i>Danio rerio</i>	Cabeza	Acumulación de BPA en cerebro. Expresión de gen <i>Cyp19b</i> . Cambios histológicos y morfométricos.	1, 10, 100 y 1000 µg/L	No se observó mortalidad en ninguna de las concentraciones de BPA. La exposición a 1000 µg/L indujo modificaciones irreversibles en las células gonadotropas y regulación a la baja de <i>cyp19b</i> .	Molina y Col (2018)
<i>Physa acuta</i>	Molusco completo	Expresión de los genes ER, ERR, RXR, Hsp70 y hsp90. Actividad glutatión-S-transferasa	100 y 500 µg/L	La actividad transcripcional de ER aumentó a 500 µg/L de BPA, mientras que los niveles de ARNm de RXR se regularon negativamente con 100 y 500 µg / L de BPA. La expresión de ERR aumento a la exposición de 500 µg / L. La expresión de los genes de choque térmico Hsp70 y Hsp90 aumentaron con la exposición a BPA.	Morales y Col (2018)
<i>Danio rerio</i>	Cerebro, pituitaria y ovarios	Expresión de los genes kiss1, kiss2, gnrh2, gnrh3, fshb, lhb, cga, gh, fshr, lhcr y ef1a.	1 y 10 µM	La exposición a BPA 1 µM no afectó la proporción de sexos ni el índice gonadosomático de los peces expuestos. El BPA aumentó la proporción de peces hembra en aproximadamente un 78 %.	Chen y Col (2017)

Modelo	Muestra	Ensayos	Concentración de exposición a BPA	Resultados	Referencia
<i>Pomacea lineata</i>	Neonatos, adultos y hemolinfa	LC ₅₀ y frecuencia cardíaca. Aspectos morfométricos y comportamentales. Perfil bioquímico de hemolinfa: aspartato aminotransferasa, gamma GT, fosfatasa alcalina, albúmina, creatinina, proteína total, colesterol triglicéridos, urea, ácido úrico.	1, 5, 10, 15 y 20 mg/L. 10 % y 50 % de LC ₅₀ .	Exposiciones \geq a 10 mg/L de BPA indujeron un aumento de al menos 77%, sobre la actividad de aspartato aminotransferasa en hemoflina y disminución de la frecuencia cardíaca de los caracoles.	de Andrade y Col (2017)
<i>Danio rerio</i>	Cerebro y testículos	Análisis histopatológico y de expresión génica. Análisis de comportamiento. Ensayo modelo de cadena de Markov.	50 ng/L y 500 ng/L.	La exposición a BPA inhibió los comportamientos de cortejo del macho hacia la hembra y promovió los comportamientos agresivos contra el competidor, así como daño en la estructura histológica del tejido testicular.	Li y Col (2017)

ROS: Especies reactivas de oxígeno; SOD: superóxido dismutasa, CAT: catalasa, GSH-PX: glutatión peroxidasa; GSH: Glutacion reducido; POD: peroxidasa; NOS: Óxido nítrico sintasa; MDA: malondialdehído; CYP: citocromo; rplp0: proteína ribosomal grande P0; 18s: ubunidad ribosomal 18s; vtg: vitelogenina; ACP: fosfatasa ácida; AKP: fosfatasa alcalina.

Fuente: autores

3.2.4. BPA y estrés oxidativo

Morales y Col (2018) hallaron que la exposición a BPA induce la expresión de los genes *hsp70* y *hsp90* en el caracol, los cuales codifican las proteínas de choque térmico Hsp70 y Hsp 90, respetivamente. Estos productos génicos actúan como sensores de estrés, mediados por la presencia de microorganismos, hipoxia, virus y/o sustancias químicas (Morales et al., 2018). Su función principal es reparar las proteínas que sufren daños por condiciones de estrés, incluido el oxidativo, el cual ha sido ampliamente documentado para el BPA en términos de actividades enzimáticas antioxidantes y daño a macromoléculas (Murata & Kang, 2018).

Por su parte, Liu y Col (2020) evidenciaron que la presencia de BPA induce en los linfocitos del bazo del pez carpa una sobreexpresión del gen *cyp1b1*, e interrumpe las actividades enzimáticas de SOD, GSH y CAT, situación que conlleva a un aumento del estrés oxidativo y activación de la vía apoptótica mitocondrial. Así mismo, Zhang y Col (2020) también encontraron un incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno en el hepatopáncreas de cangrejos expuestos a BPA. Adicionalmente, Akram y Col (2021) observaron que la exposición a BPA inducía un aumento del estrés oxidativo y una reducción de las actividades enzimáticas antioxidantes de cerebro, hígado, riñones y branquias de la carpa cabeza de manera dosis-dependiente.



4. DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática se centró en examinar los efectos de disrupción endocrina del BPA documentados para humanos y animales. Los estudios seleccionados evidenciaron que el BPA tiene impacto sobre la reproducción, hormonas tiroideas, aumento de peso (obesógeno), sistema nervioso y estrés oxidativo. Si bien los mecanismos por los cuales se dan estos eventos no son iguales, la gran mayoría confluyen en la importancia de la unión del BPA a los receptores de estrógenos y su efecto en la posterior modulación de vías de señalización involucradas en procesos apoptóticos, estrés, metabolismo hormonal y diferenciación celular. De ahí que la presencia ubicua de este contaminante a nivel ambiental suponga un riesgo para la salud del hombre y los ecosistemas (Ohore & Songhe, 2019).

En los últimos años, las investigaciones que estudian los efectos de la disrupción endocrina del BPA en los humanos se han incrementado, sin embargo, la extrema heterogeneidad en la medición de la exposición, población, diseño del estudio y resultados dificulta la posibilidad de encontrar una relación definitiva entre la exposición y los efectos observados (Tabla 1). De acuerdo con los hallazgos obtenidos en nuestra revisión, el bisfenol A puede afectar la fertilidad, tanto de hombres como mujeres, y la exposición prenatal tiene un rol preponderante en este fenómeno. Este impacto está evidenciado en la presencia de pubertad temprana, decremento en la calidad de espermatozoides y ovocitos, así como por fallas en la implantación de óvulos fecundados en la prole (Chen et al., 2018; Hart et al., 2018; Joensen et al., 2018; Jiufeng Li et al., 2020; Mínguez-Alarcón et al., 2019; Shen et al., 2020). Estos resultados son similares a los reportados por Gonsioroski y Col (2020), quienes (a través de una revisión sistemática) evidenciaron que el BPA reduce la función reproductiva de hombres y mujeres, a través del detrimento de la concentración de esperma, calidad del semen y disminución de los niveles de antioxidante, así como aumento en la producción de hormonas sexuales y pérdida de la calidad de ovocitos (Gonsioroski et al., 2020). Con relación a esto, existen varios estudios que han resaltado la implicación del BPA en la infertilidad. En hombres, se ha

documentado que puede causar disminución en el recuento, motilidad y concentración de espermatozoides, así como daños en el ADN e incremento de la apoptosis en los tubos seminíferos; mientras que en mujeres, ha sido relacionado con la aparición de enfermedades como endometriosis y ovario poliquístico, razón por la cual se hipotetiza que la exposición a contaminantes ambientales, durante las actividades diarias, tiene un rol importante en el desarrollo de patologías (Adoamnei et al., 2018; De Toni et al., 2020; Di Nisio & Foresta, 2019; Radwan et al., 2018; Simonelli et al., 2017).

El efecto obesógeno de BPA es otro de los efectos de disrupción endocrina encontrado en esta revisión, el cual fue caracterizado por la ganancia de grasa (>IMC) en niños expuestos en la etapa prenatal (Choi et al., 2020; Li et al., 2017; Zhang et al., 2017). Además, este se relacionó con la susceptibilidad al desarrollo de diabetes tipo 2 y alteraciones en las hormonas tiroideas (Adoamnei et al., 2018; Derakhshan et al., 2019; Jain et al., 2020; (Li et al., 2019; Soundararajan et al., 2019). Al igual que los efectos en la reproducción, la ganancia de peso inducida por el BPA es un tema de gran interés en la comunidad científica, dados los altos índices mundiales de obesidad presentada en niños y adultos. No obstante, se requieren de más estudios en humanos que permitan validar esta información. De acuerdo con la evidencia presentada por diferentes autores, se cree que el efecto obesógeno estaría mediado por la activación de la adipogénesis y lipogénesis; así como por la modulación de la secreción de adipocinas (mediadas por la unión del BPA a receptores nucleares) y de los receptores de estrógeno, de los receptores de glucocorticoides, del receptor gamma activado por proliferador de peroxisomas (PPAR γ), del receptor de retinoides X (RXR) y de los receptores de tiroideas (TR) (Braun, 2017; Legeay & Faure, 2017; Rubin et al., 2019; Sonavane & Gassman, 2019).

Por otra parte, los efectos de disrupción endocrina del bisfenol A encontrados en animales son equiparables a los previamente descritos en humanos. Así, la reproducción, obesidad, y estrés oxidativo fueron los efectos más destacados (Ahmed et al., 2020; Akram et al., 2021; Chen et al., 2017; Forner-Piquer et al., 2020; Li et al., 2020; Li

et al., 2017; Morales et al., 2018; Qiu et al., 2020; Spöndly-Nees et al., 2018; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2020; Zhang et al., 2018; Zhang et al., 2017).

La inducción de estrés oxidativo es uno de los efectos regularmente asociado al bisfenol A, debido a su implicación en los daños observados en células sexuales femeninas y masculinas, los cuales pueden conllevar a la infertilidad, tanto en animales como humanos, como se describió anteriormente (Huang et al., 2020; Meli et al., 2020). En general, el estrés oxidativo puede promover daños al ADN e inducción de apoptosis en las células, como proceso subsecuente a la unión del BPA a receptores nucleares y su posterior expresión génica (Akram et al., 2021; Li et al., 2020; Zhang et al., 2020). Adicionalmente, los efectos del BPA sobre el sistema nervioso y cerebro de animales también se han atribuido al estrés oxidativo, hecho que resalta la importancia de este mecanismo bioquímico en la toxicidad de esta molécula (Arita et al., 2019; Birla et al., 2019).

Otro fenómeno observado en animales, fue el incremento de la población de peces cebra hembra expuestos a BPA en la etapa de diferenciación gonadal, las cuales no tuvieron desarrollo ovárico, evento que podría estar vinculado a una gónada intersexual (ovostesis), caracterizada por una morfología tanto testicular como ovárica

(Chen et al., 2017). Bajo este panorama, sería de esperarse que el BPA impacte en la prolongación de la especie, considerando que las hembras con esta condición mueren en las etapas de reproducción (Liu et al., 2017; Zheng et al., 2015). En paralelo, este hecho resulta opuesto al imposex, imposición de características sexuales masculinas en el sistema reproductor femenino de algunos gasterópodos. Sin embargo, ambos evidencian la implicación de los disruptores endocrinos en la conservación de los ecosistemas (Rodríguez-Grimon et al., 2020; Sierra-Marquez et al., 2017).

Dentro de las limitaciones de este estudio se encuentra que solo se consideraron artículos enfocados en la disrupción endocrina del BPA de forma general, excluyendo así aquellos que consideraban temas específicos como la infertilidad, intersexualidad, estrés oxidativo, cáncer etc., tanto en animales como humanos. Además, debido

, los autores de la revisión solo pudieron examinar los artículos que estaban de forma abierta en las bases de datos. Por otra parte, los resultados de esta revisión evidencian la necesidad de la realización de más investigaciones centradas en los efectos del BPA en humanos, especialmente en los países en vías de desarrollo donde los sistemas de monitoreo de contaminantes ambientales son laxos, y algunos materiales y utensilios aún incorporan esta sustancia dentro de su fabricación.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la evidencia publicada, se sugiere que la exposición ambiental y experimental a BPA tiene efectos de disrupción endocrina a nivel reproductivo, produce obesidad, afecta las hormonas tiroideas, y aumenta el estrés oxidativo en humanos,

animales y sus progenies. Por tanto, la presencia ubicua de este contaminante constituye una problemática de interés global en salud pública que requiere de control y monitoreo constante, particularmente en los países donde aún se emplea a escala industrial.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Fernando Tamayo: Recolección, análisis e interpretación de la información, escritura y borrador original.

Jorge Agaméz: Recolección, análisis e interpretación de la información, escritura y borrador original.

Dilia Aparicio: Escritura, revisión y edición.
Johana Márquez: Supervisión, conceptualización, escritura, revisión y edición.



LITERATURA CITADA

- Adoamnei, E., Mendiola, J., Vela-Soria, F., Fernández, M. F., Olea, N., Jørgensen, N., Swan, S. H. & Torres-Cantero, A. M. (2018). Urinary bisphenol A concentrations are associated with reproductive parameters in young men. *Environmental Research*, 161, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.002>
- Ahmed, F., Sarsenbayeva, A., Katsogiannos, P., Aguer, C. & Pereira, M. J. (2020). The effects of bisphenol A and bisphenol S on adipokine expression and glucose metabolism in human adipose tissue. *Toxicology*, 445, 152600. <https://doi.org/10.1016/J.TOX.2020.152600>
- Akram, R., Iqbal, R., Hussain, R., Jabeen, F. & Ali, M. (2021). Evaluation of Oxidative stress, antioxidant enzymes and genotoxic potential of bisphenol A in fresh water bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fish at low concentrations. *Environmental Pollution*, 268, 115896. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115896>
- Arita, Y., Park, H. J., Cantillon, A., Getahun, D., Menon, R. & Peltier, M. R. (2019). Effect of bisphenol-A (BPA) on placental biomarkers for inflammation, neurodevelopment and oxidative stress. *Journal of Perinatal Medicine*, 47(7), 741–749. <https://doi.org/10.1515/jpm-2019-0045>
- Birla, H., Keswani, C., Rai, S. N., Singh, S. Sen, Zahra, W., Dilnashin, H., Rathore, A. S. & Singh, S. P. (2019). Neuroprotective effects of *Withania somnifera* in BPA induced-cognitive dysfunction and oxidative stress in mice. *Behavioral and Brain Functions* : *BBF*, 15(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s12993-019-0160-4>
- Braun, J. M. (2017). Early-life exposure to EDCs: role in childhood obesity and neurodevelopment. *Nature Reviews. Endocrinology*, 13(3), 161–173. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2016.186>
- Castellini, C., Totaro, M., Parisi, A., D'Andrea, S., Lucente, L., Cordeschi, G., Francavilla, S., Francavilla, F. & Barbonetti, A. (2020). Bisphenol A and Male Fertility: Myths and Realities. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 353. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00353>
- Chen, W., Lau, S.-W., Fan, Y., Wu, R. S. S. & Ge, W. (2017). Juvenile exposure to bisphenol A promotes ovarian differentiation but suppresses its growth – Potential involvement of pituitary follicle-stimulating hormone. *Aquatic Toxicology*, 193, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.10.008>
- Chen, Y., Wang, Y., Ding, G., Tian, Y., Zhou, Z., Wang, X., Shen, L. & Huang, H. (2018). Association between bisphenol a exposure and idiopathic central precocious puberty (ICPP) among school-aged girls in Shanghai, China. *Environment International*, 115, 410–416. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.02.041>
- Choi, Y. J., Lee, Y. A., Hong, Y. C., Cho, J., Lee, K. S., Shin, C. H., Kim, B. N., Kim, J. I., Park, S. J., Bisgaard, H., Bønnelykke, K. & Lim, Y. H. (2020). Effect of prenatal bisphenol A exposure on early childhood body mass index through epigenetic influence on the insulin-like growth factor 2 receptor (IGF2R) gene. *Environment International*, 143, 105929. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2020.105929>
- de Andrade, A. L. C., Soares, P. R. L., da Silva, S. C. B. L., da Silva, M. C. G., Santos, T. P., Cadena, M. R. S., Soares, P. C. & Cadena, P. G. (2017). Evaluation of the toxic effect of endocrine disruptor Bisphenol A (BPA) in the acute and chronic toxicity tests with *Pomacea lineata* gastropod. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 197, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2017.04.002>
- De Toni, L., De Rocco Ponce, M., Petre, G. C., Rtibi, K., Di Nisio, A. & Foresta, C. (2020). Bisphenols and Male Reproductive Health: From Toxicological Models to Therapeutic Hypotheses. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 301. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00301>
- Derakhshan, A., Shu, H., Peeters, R. P., Kortenkamp, A., Lindh, C. H., Demeneix, B., Bornehag, C. G. & Korevaar, T. I. M. (2019). Association of urinary bisphenols and triclosan with thyroid function during early pregnancy. *Environment International*, 133, 105123. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2019.105123>

Di Donato, M., Cerner, G., Giovannelli, P., Galasso, G., Bilancio, A., Migliaccio, A. & Castoria, G. (2017). Recent advances on bisphenol-A and endocrine disruptor effects on human prostate cancer. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 457, 35–42. <https://doi.org/10.1016/J.MCE.2017.02.045>

Di Nisio, A. & Foresta, C. (2019). Water and soil pollution as determinant of water and food quality/contamination and its impact on male fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology : RB&E*, 17(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0449-4>

Elmetwally, M. A., Halawa, A. A., Tang, W., Wu, G. & Bazer, F. W. (2020). Effects of Bisphenol A on expression of genes related to amino acid transporters, insulin-like growth factor, aquaporin and amino acid release by porcine trophectoderm cells. *Reproductive Toxicology*, 96, 241–248. <https://doi.org/10.1016/J.REPROTOX.2020.07.008>

Forner-Piquer, I., Beato, S., Piscitelli, F., Santangeli, S., Di Marzo, V., Habibi, H. R., Maradonna, F. & Carnevali, O. (2020). Effects of BPA on zebrafish gonads: Focus on the endocannabinoid system. *Environmental Pollution*, 264, 114710. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.114710>

Gonsioroski, A., Mourikes, V. E. & Flaws, J. A. (2020). Endocrine Disruptors in Water and Their Effects on the Reproductive System. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), 1929. <https://doi.org/10.3390/ijms21061929>

Gupta, S., Guha, P., Majumder, S., Pal, P., Sen, K., Chowdhury, P., Chakraborty, A., Panigrahi, A. K. & Mukherjee, D. (2018). Effects of bisphenol A (BPA) on brain-specific expression of cyp19a1b gene in swim-up fry of *Labeo rohita*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 209, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2018.04.002>

Hart, R. J., Doherty, D. A., Keelan, J. A., Minaee, N. S., Thorstensen, E. B., Dickinson, J. E., Pennell, C. E., Newnham, J. P., McLachlan, R., Norman, R. J. & Handelsman, D. J. (2018). The impact of antenatal Bisphenol A exposure on male reproductive function at 20–22 years

of age. *Reproductive BioMedicine Online*, 36(3), 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2017.11.009>

Huang, M., Liu, S., Fu, L., Jiang, X. & Yang, M. (2020). Bisphenol A and its analogues bisphenol S, bisphenol F and bisphenol AF induce oxidative stress and biomacromolecular damage in human granulosa KGN cells. *Chemosphere*, 253, 126707. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126707>

Jain, J., Gupta, N., Mathur, R., Nimesh, S. & Mathur, S. K. (2020). A Study on Impact of BPA in the Adipose Tissue Dysfunction (Adiposopathy) in Asian Indian Type 2 Diabetes Mellitus Subjects. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 35(4), 451–457. <https://doi.org/10.1007/s12291-019-00843-y>

Joensen, U. N., Jørgensen, N., Thyssen, J. P., Szecsi, P. B., Stender, S., Petersen, J. H., Andersson, A. M. & Frederiksen, H. (2018). Urinary excretion of phenols, parabens and benzophenones in young men: Associations to reproductive hormones and semen quality are modified by mutations in the Filaggrin gene. *Environment International*, 121, 365–374. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.09.020>

Kwon, J. A., Shin, B. & Kim, B. (2020). Urinary bisphenol A and thyroid function by BMI in the Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) 2012–2014. *Chemosphere*, 240, 124918. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.124918>

Legeay, S. & Faure, S. (2017). Is bisphenol A an environmental obesogen? *Fundamental & Clinical Pharmacology*, 31(6), 594–609. <https://doi.org/10.1111/fcp.12300>

Li, J., Lai, H., Chen, S., Zhu, H. & Lai, S. (2017). Gender differences in the associations between urinary bisphenol A and body composition among American children: The National Health and Nutrition Examination Survey, 2003–2006. *Journal of Epidemiology*, 27(5), 228–234. <https://doi.org/10.1016/j.je.2016.12.001>

Li, J., Zhang, W., Zhao, H., Zhou, Y., Xu, S., Li, Y., Xia, W. & Cai, Z. (2020). Trimester-specific, gender-specific, and low-dose effects



- associated with non-monotonic relationships of bisphenol A on estrone, 17β -estradiol and estriol. *Environment International*, 134, 105304. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105304>
- Li, L., Ying, Y., Zhang, C., Wang, W., Li, Y., Feng, Y., Liang, J., Song, H. & Wang, Y. (2019). Bisphenol A exposure and risk of thyroid nodules in Chinese women: A case-control study. *Environment International*, 126, 321–328. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.026>
- Li, X., Guo, J. Y., Li, X., Zhou, H. J., Zhang, S. H., Liu, X. D., Chen, D. Y., Fang, Y. C. & Feng, X. Z. (2017). Behavioural effect of low-dose BPA on male zebrafish: Tuning of male mating competition and female mating preference during courtship process. *Chemosphere*, 169, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.053>
- Liliana, R., Slawomir, G., Tomasz, J., Joanna, W. & Andrzej, P. (2019). The effects of Bisphenol A (BPA) on sympathetic nerve fibers in the uterine wall of the domestic pig. *Reproductive Toxicology*, 84, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2018.12.004>
- Liu, K. C., Lau, S.W. & Ge, W. (2017). Spatiotemporal expression analysis of nuclear estrogen receptors in the zebrafish ovary and their regulation in vitro by endocrine hormones and paracrine factors. *General and Comparative Endocrinology*, 246, 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2016.12.011>
- Liu, Q., Wang, W., Zhang, Y., Cui, Y., Xu, S. & Li, S. (2020). Bisphenol A regulates cytochrome P450 1B1 through miR-27b-3p and induces carp lymphocyte oxidative stress leading to apoptosis. *Fish & Shellfish Immunology*, 102, 489–498. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.05.009>
- Ma, L., Yu, H., Wang, X., Li, D., Zhang, Y., Pei, X., Duan, Z. & Ma, M. (2020). The effects of maternal exposure to BPA during pregnancy on the male reproductive system and the testicular microRNA expression profile. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), 17290–17302. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08156-x>
- Manukyan, L., Dunder, L., Lind, P. M., Bergsten, P. & Lejonklou, M. H. (2019). Developmental exposure to a very low dose of bisphenol A induces persistent islet insulin hypersecretion in Fischer 344 rat offspring. *Environmental Research*, 172, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.009>
- Martínez, R., Navarro-Martín, L., Van Antro, M., Fuertes, I., Casado, M., Barata, C. & Piña, B. (2020). Changes in lipid profiles induced by bisphenol A (BPA) in zebrafish eleutheroembryos during the yolk sac absorption stage. *Chemosphere*, 246, 125704. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125704>
- Meli, R., Monnolo, A., Annunziata, C., Pirozzi, C. & Ferrante, M. C. (2020). Oxidative Stress and BPA Toxicity: An Antioxidant Approach for Male and Female Reproductive Dysfunction. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/antiox9050405>
- Mínguez-Alarcón, L., Hauser, R. & Gaskins, A. J. (2016). Effects of bisphenol A on male and couple reproductive health: a review. *Fertility and Sterility*, 106(4), 864–870. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2016.07.1118>
- Mínguez-Alarcón, L., Messerlian, C., Bellavia, A., Gaskins, A. J., Chiu, Y. H., Ford, J. B., Azevedo, A. R., Petrozza, J. C., Calafat, A. M., Hauser, R. & Williams, P. L. (2019). Urinary concentrations of bisphenol A, parabens and phthalate metabolite mixtures in relation to reproductive success among women undergoing in vitro fertilization. *Environment International*, 126, 355–362. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.025>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, T. P. (2009). Preferred reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1000097>
- Molina, A., Abril, N., Morales-Prieto, N., Monterde, J., Ayala, N., Lora, A. & Moyano, R. (2018). Hypothalamic-pituitary-ovarian axis perturbation in the basis of bisphenol A (BPA) reproductive toxicity in female zebrafish (*Danio rerio*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156, 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.029>

- Morales, M., Martínez-Paz, P., Sánchez-Argüello, P., Morcillo, G. & Martínez-Guitarte, J. L. (2018). Bisphenol A (BPA) modulates the expression of endocrine and stress response genes in the freshwater snail *Physa acuta*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 152, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.034>
- Murata, M. & Kang, J.-H. (2018). Bisphenol A (BPA) and cell signaling pathways. *Biotechnology Advances*, 36(1), 311–327. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.12.002>
- Ohore, O. E. & Zhang, S. (2019). Endocrine disrupting effects of bisphenol A exposure and recent advances on its removal by water treatment systems. A review. *Scientific African*, 5, e00135. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00135>
- Paschoalini, A. L., Savassi, L. A., Weber, A. A., Moreira, D. P., Ribeiro, Y. M., Rizzo, E. & Bazzoli, N. (2021). Evaluation of the oestrogenic potential of oestrone and bisphenol-A on the reproduction of *Astyanax bimaculatus* males after subacute exposure. *Fish Physiology and Biochemistry*, 47(4), 797–810. <https://doi.org/10.1007/s10695-021-00938-5>
- Patisaul, H. B. (2020). Achieving CLARITY on bisphenol A, brain and behaviour. *Journal of Neuroendocrinology*, 32(1), e12730. <https://doi.org/10.1111/jne.12730>
- Pivonello, C., Muscogiuri, G., Nardone, A., Garifalos, F., Provisiero, D. P., Verde, N., de Angelis, C., Conforti, A., Piscopo, M., Auriemma, R. S., Colao, A. & Pivonello, R. (2020). Bisphenol A: an emerging threat to female fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology : RB&E*, 18(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s12958-019-0558-8>
- Qiu, J., Sun, Y., Sun, W., Wang, Y., Fan, T. & Yu, J. (2020). Neonatal exposure to bisphenol A advances pubertal development in female rats. *Molecular Reproduction and Development*, 87(4), 503–511. <https://doi.org/10.1002/mrd.23329>
- Radwan, M., Wielgomas, B., Dziewirska, E., Radwan, P., Kałużny, P., Klimowska, A., Hanke, W. & Jurewicz, J. (2018). Urinary Bisphenol A Levels and Male Fertility. *American Journal of Men's Health*, 12(6), 2144–2151. <https://doi.org/10.1177/1557988318799163>
- Rahman, M. S. & Pang, M.-G. (2019). Understanding the molecular mechanisms of bisphenol A action in spermatozoa. *Clinical and Experimental Reproductive Medicine*, 46(3), 99–106. <https://doi.org/10.5653/cerm.2019.00276>
- Rodríguez-Carrillo, A., Mustieles, V., Pérez-Lobato, R., Molina-Molina, J. M., Reina-Pérez, I., Vela-Soria, F., Rubio, S., Olea, N. & Fernández, M. F. (2019). Bisphenol A and cognitive function in school-age boys: Is BPA predominantly related to behavior? *NeuroToxicology*, 74, 162–171. <https://doi.org/10.1016/J.NEURO.2019.06.006>
- Rodríguez-Grimon, R., Campos, N. H. & Castro, Í. B. (2020). Imposen Incidence in Gastropod Species from Santa Marta Coastal Zone, Colombian Caribbean Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105(5), 728–735. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03020-7>
- Rubin, B. S., Schaeberle, C. M. & Soto, A. M. (2019). The Case for BPA as an Obesogen: Contributors to the Controversy. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 30. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00030>
- Santoro, A., Chianese, R., Troisi, J., Richards, S., Nori, S. L., Fasano, S., Guida, M., Plunk, E., Viggiano, A., Pierantoni, R. & Meccariello, R. (2019). Neuro-toxic and Reproductive Effects of BPA. *Current Neuropharmacology*, 17(12), 1109–1132. <https://doi.org/10.2174/1570159X17666190726112101>
- Sarria-Villa, R., Gallo-Corredor, J. & Perez, E. (2019). Bisfenol-A: Un contaminante presente en los envases plásticos. *Revista ITTPA*, 1(1), 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.02.041>
- Shafei, A., Ramzy, M. M., Hegazy, A. I., Husseny, A. K., EL-hadary, U. G., Taha, M. M. & Mosa, A. A. (2018). The molecular mechanisms of action of the endocrine disrupting chemical bisphenol A in the development of cancer. *Gene*, 647, 235–243. <https://doi.org/10.1016/J.GENE.2018.01.016>



- Shen, J., Kang, Q., Mao, Y., Yuan, M., Le, F., Yang, X., Xu, X. & Jin, F. (2020). Urinary bisphenol A concentration is correlated with poorer oocyte retrieval and embryo implantation outcomes in patients with tubal factor infertility undergoing in vitro fertilisation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109816. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2019.109816>
- Sheng, Z., Wang, C., Ren, F., Liu, Y. & Zhu, B. (2019). Molecular mechanism of endocrine-disruptive effects induced by Bisphenol A: The role of transmembrane G-protein estrogen receptor 1 and integrin $\alpha\beta 3$. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 75, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.05.002>
- Sierra-Marquez, L., Sierra-Marquez, J., De la Rosa, J. & Olivero-Verbel, J. (2017). Impossex in Stramonita haemastoma from coastal sites of Cartagena, Colombia. *Brazilian Journal of Biology*, 78(3), 548–555. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.173301>
- Simonelli, A., Guadagni, R., De Franciscis, P., Colacurci, N., Pieri, M., Basilicata, P., Pedata, P., Lamberti, M., Sannolo, N. & Miraglia, N. (2017). Environmental and occupational exposure to bisphenol A and endometriosis: urinary and peritoneal fluid concentration levels. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 90(1), 49–61. <https://doi.org/10.1007/s00420-016-1171-1>
- Sivaranjanee, R. & Kumar, P. S. (2021). A review on remedial measures for effective separation of emerging contaminants from wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101741. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101741>
- Son, S., Nam, K., Kim, H., Gye, M. C. & Shin, I. (2018). Cytotoxicity measurement of Bisphenol A (BPA) and its substitutes using human keratinocytes. *Environmental Research*, 164, 655–659. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.043>
- Sonavane, M. & Gassman, N. R. (2019). Bisphenol A co-exposure effects: a key factor in understanding BPA's complex mechanism and health outcomes. *Critical Reviews in Toxicology*, 49(5), 371–386. <https://doi.org/10.1080/10408444.2019.1621263>
- Song, D., Wu, G., Wei, Q. & Shi, F. (2019). Bisphenol A attenuates thyroxine-induced apoptosis in ovarian granulosa cells of pigs. *Reproduction in Domestic Animals*, 54(6), 864–872. <https://doi.org/10.1111/rda.13436>
- Soundararajan, A., Prabu, P., Mohan, V., Gibert, Y. & Balasubramanyam, M. (2019). Novel insights of elevated systemic levels of bisphenol-A (BPA) linked to poor glycemic control, accelerated cellular senescence and insulin resistance in patients with type 2 diabetes. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 458(1–2), 171–183. <https://doi.org/10.1007/s11010-019-03540-9>
- Spörndly-Nees, E., Boberg, J., Ekstedt, E., Holm, L., Fakhrzadeh, A., Dunder, L., Kushnir, M. M., Lejonklou, M. H. & Lind, P. M. (2018). Low-dose exposure to Bisphenol A during development has limited effects on male reproduction in midpubertal and aging Fischer 344 rats. *Reproductive Toxicology*, 81, 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2018.08.007>
- Tomza-Marciniak, A., Stępkowska, P., Kuba, J. & Pilarczyk, B. (2018). Effect of bisphenol A on reproductive processes: A review of in vitro, in vivo and epidemiological studies. *Journal of Applied Toxicology : JAT*, 38(1), 51–80. <https://doi.org/10.1002/jat.3480>
- Wang, Q., Yang, H., Yang, M., Yu, Y., Yan, M., Zhou, L., Liu, X., Xiao, S., Yang, Y., Wang, Y., Zheng, L., Zhao, H. H. & Li, Y. (2019). Toxic effects of bisphenol A on goldfish gonad development and the possible pathway of BPA disturbance in female and male fish reproduction. *Chemosphere*, 221, 235–245. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.01.033>
- Yang, T. C., Peterson, K. E., Meeker, J. D., Sánchez, B. N., Zhang, Z., Cantoral, A., Solano, M. & Tellez-Rojo, M. M. (2017). Bisphenol A and phthalates in utero and in childhood: association with child BMI z-score and adiposity. *Environmental Research*, 156, 326–333. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2017.03.038>

Zhang, Y., Guan, Y., Zhang, T., Yuan, C., Liu, Y. & Wang, Z. (2018). Adult exposure to bisphenol A in rare minnow *Gobiocypris rarus* reduces sperm quality with disruption of testicular aquaporins. *Chemosphere*, 193, 365–375. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.034>

Zhang, Y. H., Wei, F., Zhang, J., Hao, L., Jiang, J., Dang, L., Mei, D., Fan, S. S., Yu, Y. & Jiang, L. (2017). Bisphenol A and estrogen induce proliferation of human thyroid tumor cells via an estrogen-receptor-dependent pathway. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 633, 29–39. <https://doi.org/10.1016/J.ABB.2017.09.002>

Zhang, Y., Mi, K., Xue, W., Wei, W. & Yang, H. (2020). Acute BPA exposure-induced

oxidative stress, depressed immune genes expression and damage of hepatopancreas in red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *Fish & Shellfish Immunology*, 103, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.04.032>

Zheng, B., Liu, R., Liu, Y., Jin, F. & An, L. (2015). Phenolic endocrine-disrupting chemicals and intersex in wild crucian carp from Hun River, China. *Chemosphere*, 120, 743–749. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.10.049>

Ziv-Gal, A. & Flaws, J. A. (2016). Evidence for bisphenol A-induced female infertility: a review (2007-2016). *Fertility and Sterility*, 106(4), 827–856. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2016.06.027>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.





ELECTROCOAGULACIÓN CON RADIACIÓN UV PARA REMOVER DQO, COT Y SDT EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EMPLEANDO ELECTRODOS DE GRAFITO

ELECTROCOAGULATION INTENSIFIED BY UV RADIATION TO REMOVE COD, COT AND TDS IN WASTEWATER OF THE TEXTILE INDUSTRY USING GRAPHITE ELECTRODES

María Alejandra Rodríguez Oviedo • Mariaa-rodriguezo@unilibre.edu.co
Facultad de Ingeniería, Universidad Libre de Colombia. Bogotá, Colombia.

Ángela Daniela Sánchez Suárez • angelad.sanchezs@unilibrebog.edu.co
Facultad de Ingeniería, Universidad Libre de Colombia. Bogotá, Colombia.

Rafael Nikolay Agudelo Valencia • rafaeln.agudelo@unilibre.edu.co
Facultad de Ingeniería, Universidad Libre de Colombia. Bogotá, Colombia.

Citación: Rodríguez, M., Sánchez, A. y Agudelo, R. (2022). Electrocoagulación con radiación UV para remover DQO, COT y SDT en aguas residuales de la industria textil empleando electrodos de grafito. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 201 – 219. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4723>

RESUMEN

Contextualización: La industria textil hace uso de grandes cantidades de agua y diversas sustancias químicas que hacen parte de las distintas etapas del procesamiento de las telas, incluidos los procesos de pintura y acabado. Como resultado del uso de estas sustancias químicas, las aguas residuales de la industria textil presentan altas concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT), sólidos disueltos totales (SDT) y baja biodegradabilidad.

Vacío de conocimiento: En la actualidad, las distintas industrias de Colombia presentan fallas en la disposición final de las aguas residuales, ya que; se ha logrado identificar que algunas industrias no cumplen con la normatividad que establece los valores máximos permisibles de algunos


contaminantes en sus vertimientos. Específicamente, la industria textil consume grandes volúmenes de agua y aporta considerables cargas contaminantes a los cuerpos de agua, por lo que la búsqueda de alternativas que permitan mejorar el tratamiento de este tipo de efluentes representa un tema de interés particular. En este sentido, las técnicas actuales para el tratamiento de estas aguas requieren del uso de diferentes insumos químicos, de manera que evaluar la electrocoagulación con electrodos de grafito y radiación UV representa una alternativa que permite reducir el consumo de insumos y reducir la concentración de los contaminantes presentes en estos efluentes.

Propósito del estudio: La presente investigación tiene como objetivo evaluar

el proceso de electrocoagulación, como método de tratamiento de agua, empleando electrodos de grafito e intensificada por radiación UV, en busca de determinar el porcentaje de remoción de DQO, COT y SDT en las aguas residuales de la industria textil.

Metodología: Se realizó una investigación experimental con el fin de evaluar la técnica de electrocoagulación, intensificada por radiación proveniente de una lámpara UV sumergible. Para el desarrollo metodológico se midieron algunos parámetros físicos y químicos antes y después de cada ensayo. Se llevó a cabo un diseño experimental de tipo factorial, con dos factores en tres niveles (3^2), es decir 9 ensayos; todos estos se realizaron por triplicado para un total de 27 experimentos. Los factores o variables seleccionados fueron el pH inicial del agua residual (6, 7 y 8) y la intensidad de corriente aplicada (0.5 A, 1 A y 1.5 A). Las variables de respuesta seleccionadas fueron el porcentaje de remoción de DQO, COT y SDT. Una vez realizados todos los ensayos, los resultados se analizaron por medio de análisis de varianza para determinar el efecto o influencia de

cada factor sobre cada una de las variables de respuesta.

Resultados y conclusiones: Los ensayos permitieron determinar que las condiciones experimentales más favorables para el proceso de electrocoagulación fueron el pH inicial 8 a una intensidad de corriente de 0.5 amperios. El proceso presenta alta eficiencia en cuanto al porcentaje de remoción de DQO, COT y SDT para cada uno de los ensayos, lo cual es coherente con el uso de electrodos inertes que poseen una mayor resistencia química que otros electrodos lo que facilita el proceso de oxidación y reducción. Además, el uso de radiación UV intensifica el proceso por dar lugar a la formación de ozono y radicales OH^* en el agua, en especial cuando el pH es alcalino. Estos factores combinados permiten alcanzar valores más altos en la remoción de los distintos contaminantes presentes en el agua residual de la industria textil. 

Palabras clave: Aguas residuales textiles; Carbono Orgánico Total [COT]; Demanda Química de Oxígeno [DQO]; Electrocoagulación; Grafito; Radiación UV; Sólidos Disueltos Totales [SDT]

ABSTRACT

Contextualization: The textile industry makes use of large quantities of water and various chemicals that are part of the different stages of the cloth processing, including painting and finishing. As a result of the use of these chemicals, wastewater from the textile industry has high concentrations of chemical oxygen demand (COD), total organic carbon (TOC), total dissolved solids (TDS) and low biodegradability.

Knowledge gap: Currently, the different industries in Colombia have failures in the final disposal of wastewater, since it has been identified that some industries do not comply the regulations that establish the maximum permissible values of some pollutants in their discharges. Specifically, the textile industry consumes large volumes of water and contributes considerably to the pollutant loads in the water bodies, which is why searching for alternatives to improve the treatment of this type of effluent is a matter of particular interest. On the other hand,

current techniques for the treatment of these waters require the use of different chemical inputs, so the evaluation of electrocoagulation with graphite electrodes and UV radiation represents an alternative that allows reducing the consumption of inputs and reducing the concentration of pollutants present in these effluents.

Purpose: This research aims to evaluate the electrocoagulation process in water treatment, using graphite electrodes and intensified by UV radiation, to determine the percentage of removal of COD, TOC, and TDS in the wastewater of the textile industry.

Methodology: Experimental research was carried out to evaluate the technique of electrocoagulation, intensified by radiation from a submersible UV lamp. For methodological development, some physical and chemical parameters were measured before and after each test. A factorial-type experimental design was carried out, with



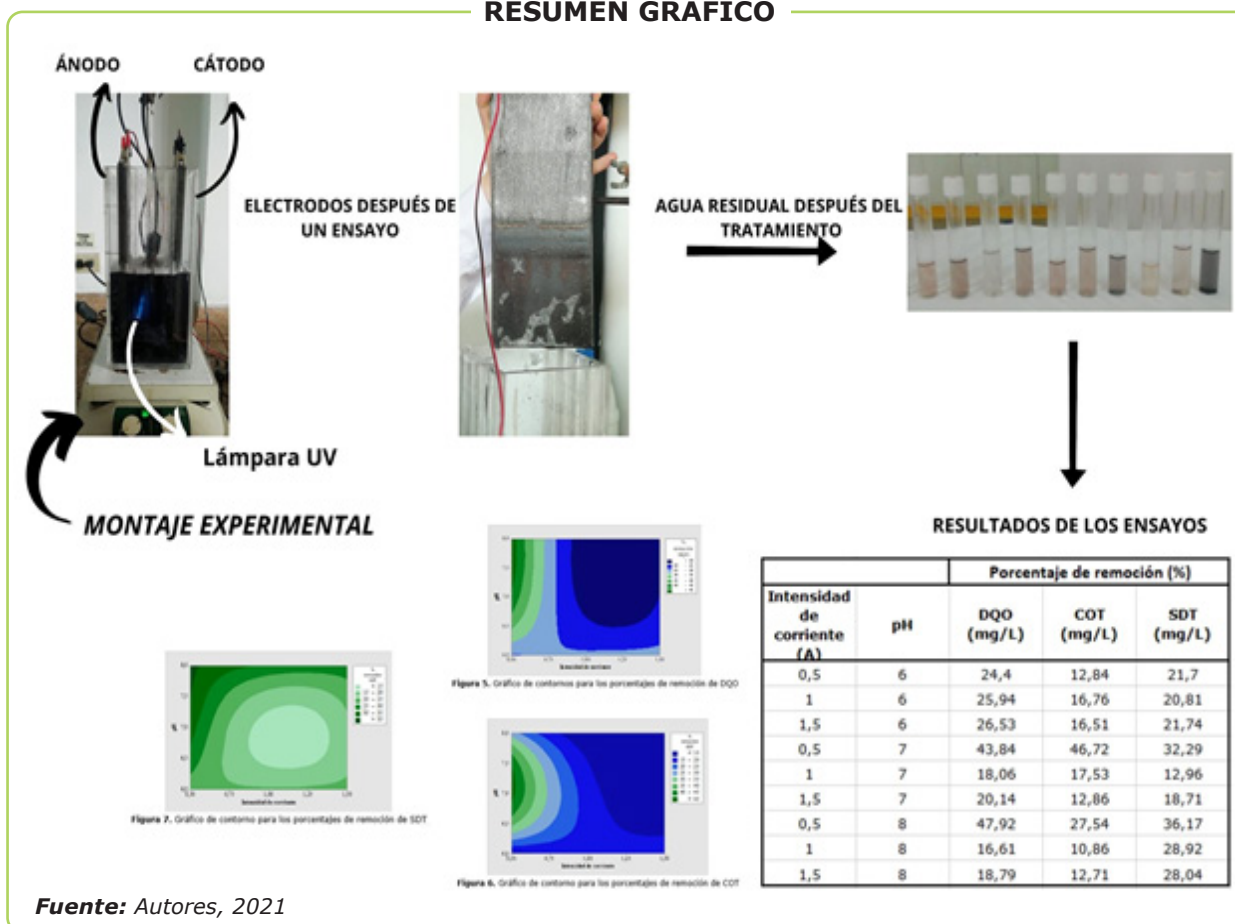
two factors in three levels 3^2), specifically 9 trials; all of which were performed in triplicate for a total of 27 experiments. The factors or variables selected were the initial pH of the wastewater (6, 7 and 8) and the electric current intensity applied (0.5 A, 1 A, and 1.5 A). The response variables selected were the percentage of removal of COD, TOC, and TDS. After all the trials, the results were evaluated by analysis of variance to determine the effect or influence of each factor on each of the response variables.

Results and conclusions: The tests determined that the most favorable experimental conditions for the electrocoagulation process were pH 8 at a electric current intensity of 0.5 amperes. The

process has high efficiency in the percentage of removal of COD, TOC, and TDS for each of the tests, which is consistent with the use of inert electrodes that have greater chemical resistance than other electrodes, which facilitates the oxidation and reduction process in conjunction. Besides, the use of UV radiation intensifies the process by giving rise to the formation of ozone and OH^* radicals in water, specially having an alkaline pH. These factors combined allow that higher values can be achieved in the removal of various contaminants present in the wastewater of the textile industry.

Keywords: COD removal; Electrocoagulation; Graphite; Textile wastewater; TOC removal; Total dissolved solids SDT; UV radiation

RESUMEN GRÁFICO



Electrocoagulación con radiación UV para remover DQO, COT y SDT en aguas residuales de la industria textil empleando electrodos de grafito.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad es de vital importancia tener la capacidad de ofrecer agua de buena calidad para la población, y para el desarrollo de las distintas actividades, a fin de lograr una mejor calidad de vida (Perozo; y Abreu., 2017). Esto ha llevado a buscar distintas técnicas de tratamiento que permitan conservar y recuperar los recursos hídricos, dado que hay acumulación de compuestos orgánicos contaminantes en los cuerpos de agua y se debe principalmente a las actividades antropogénicas (Gil-Pavas et al., 2020). Entre estas actividades están las actividades industriales como: el procesamiento de alimentos, la elaboración de papel y cosméticos, el curtido de pieles, las farmacéuticas, la elaboración de textiles; entre otras. Todas estas actividades descargan una considerable cantidad de agua contaminada con colorantes y compuestos tóxicos (Castañeda-Díaz et al., 2017). En especial tintes, que en muchos casos son químicamente estables y recalcitrantes y que en el medio pueden ser objeto de transformaciones bioquímicas que dan lugar a la formación de co-productos más peligrosos (Abdulrazzaq et al., 2021).

La industria textil hace uso de grandes cantidades de agua y, por tanto, es una de los mayores productores de aguas residuales industriales (Anjaneyulu et al., 2005) con una carga considerable de sustancias químicas que deben ser tratadas antes de su descarga en el ecosistema acuático (Zazou et al., 2019; Khandegar; & Saroha., 2013). El uso de tintes hace parte de las distintas etapas del procesamiento de textiles, incluidos los procesos de pintura y acabado. Además de tintes o colorantes, las aguas residuales de la industria textil contienen tensoactivos, suavizantes de tela, sales, pesticidas, disolventes y otros compuestos (García-Segura et al., 2017; Bener et al., 2019). Como resultado del uso de estas sustancias químicas, las aguas residuales de la industria textil presentan altas concentraciones de compuestos con demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT) y baja biodegradabilidad (Ravndal et al., 2018), lo que puede ocasionar diversos impactos ambientales debido a la toxicidad de esos componentes (Zazou et al., 2019).

Los métodos de tratamiento para este tipo de agua residual pueden diferenciarse en tres categorías: tratamientos biológicos, químicos y físicos. La adsorción, oxidación avanzada, tratamiento biológico, filtración por membrana y tratamientos electroquímicos son algunos de los métodos de mayor uso para el tratamiento de las aguas residuales de la industria textil (Samsami et al., 2020). Especialmente las técnicas electroquímicas han demostrado su efectividad en la remoción de este tipo de contaminantes en el agua (Barrera-Díaz et al., 2012); entre estas técnicas se pueden mencionar la oxidación electroquímica, electroreducción, electrodialisis, electroflotación y la electrocoagulación (Martínez-Huitle et al., 2015).

La electrocoagulación es una técnica electroquímica que se ha empleado con éxito para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil, ya que es de gran interés debido, principalmente, a su versatilidad, seguridad, simplicidad de automatización y bajo costo de inversión (Al-Qodah et al., 2020) (Gil Pavas et al., 2018). Los procesos de electrocoagulación también son populares por el bajo uso de insumos químicos (Naje et al., 2017).

Este proceso integra las bases de la electroquímica y la coagulación/floculación para eliminar distintos contaminantes del agua residual. La técnica hace uso de electrodos (cátodos y ánodos), generalmente de hierro o aluminio (Hakizimana et al., 2017), lo cual ocasiona la dilución del metal "Mx+" en el agua, que se une con los iones OH⁻ y forma hidróxidos metálicos, los cuales favorecen la precipitación de sólidos presentes en el agua (Gil-Pavas et al., 2019), en otras palabras, la acción de corriente externa sobre los electrodos causa la neutralización de las cargas de los sólidos suspendidos en el agua y la dilución del ánodo permite la formación de hidróxidos metálicos para precipitar los sólidos desestabilizados y favorecer la sedimentación de estos (Oncel et al., 2013). La liberación de los iones metálicos se da en el ánodo (Mouedhen et al., 2008), y en el cátodo ocurren reacciones que permiten la formación de burbujas de gas que contienen hidrógeno (Verma, 2017; Castañeda-Díaz, 2017). Distintos estudios han demostrado



que esta técnica tiene una alta eficiencia en la remoción de distintos contaminantes, principalmente en la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO), turbidez y color de las aguas residuales industriales (Yuksel et al., 2013).

En este trabajo, en particular, se reemplazaron los electrodos metálicos por electrodos de grafito, que al ser insolubles se consideran impasibles al uso, puesto que poseen una alta resistencia química (Sahu et al., 2014), y esta característica facilita el proceso de oxidación y reducción de diversos contaminantes existentes en el agua. Además, el proceso fue intensificado por el uso de radiación UV, con el objeto de facilitar la oxidación de contaminantes orgánicos e incrementar la efectividad del proceso electroquímico, y así alcanzar una reducción considerable de concentración de DQO, COT y SDT en aguas residuales de la industria textil. En términos de beneficios, el proceso analizado requiere un menor consumo de insumos químicos, el deterioro de los electrodos es bajo y puede lograrse un menor consumo de energía (Buscio et al., 2019).

El objetivo principal de estudio fue evaluar el proceso de electrocoagulación con electrodos de grafito, intensificado por radiación UV, como técnica para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. El parámetro para valorar el proceso fue la reducción de la concentración de DQO, COT y SDT; para ello se realizó el análisis del efecto que tienen la intensidad de corriente y el pH inicial del agua sobre la técnica de tratamiento empleada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Manipulación de muestras

El agua residual empleada en los ensayos fue suministrada por una empresa textil, así como el valor de DQO promedio, a la salida del sistema de tratamiento con el que cuenta la empresa en la actualidad. La muestra para los ensayos se tomó en un día de operación normal a la entrada del sistema de tratamiento. También se recolectó una muestra a la salida, una vez cumplido el tiempo de retención total del agua residual

en la planta de tratamiento, con el fin de determinar el porcentaje de reducción de concentración de DQO, COT y SDT alcanzados en la planta el día de la toma de muestra. El sistema de tratamiento actual tiene capacidad de 30 m³/h, y consta de: filtro box o tamiz vibratorio para la remoción de sólidos; tanque de homogeneización y ajuste de pH; sistema de coagulación, floculación y sedimentación; reactor biológico aerobio; sedimentador secundario. Finalmente, se realiza la descarga del agua tratada al alcantarillado público.

Los electrodos utilizados fueron de grafito amorfo, con dimensiones de 0.28 m de alto, 0.1 m de ancho y 0.01 m de espesor, la densidad de estos es de 1 650 kg/m³ y su porosidad es del 5%. Cabe resaltar que, al finalizar cada ensayo, los electrodos se lavaron con agua destilada para no afectar el siguiente experimento. En cada ensayo emplearon dos electrodos de grafito ubicados en un recipiente de reacción que presenta hendiduras para la ubicación de los electrodos, pero permite tener 0.05 m desde el fondo hasta la parte inferior de los electrodos, a fin de facilitar el libre movimiento del agitador magnético con el cual se realizó la mezcla del agua residual. La altura de los electrodos sumergida en el agua fue de 0.14 m, de modo que el área de cada electrodo en contacto con el agua residual fue de 0.028 m². En cuanto a la lámpara UV, esta cuenta con dimensiones de 10.6 x 12.8 cm y una potencia de 9W.

2.2 Metodología Experimental

Los ensayos fueron realizados con base en un diseño experimental factorial del tipo 32 (dos variables o factores de proceso en tres niveles de cada variable), de manera que se realizaron 9 ensayos. Todos los ensayos se llevaron a cabo por triplicado para un total de 27 experimentos. Los factores o variables seleccionados fueron el pH inicial del agua residual (6, 7 y 8) y la intensidad de corriente aplicada (0.5 A, 1 A y 1.5 A). Las variables de respuesta seleccionadas fueron el porcentaje de reducción de concentración o porcentaje de remoción de DQO, COT y SDT.

Una vez realizados todos los ensayos, los resultados se analizaron por medio de

análisis de varianza para determinar el efecto o influencia de cada factor sobre cada una de las variables de respuesta (Khorram & Fallah, 2018). De acuerdo con los resultados experimentales y el análisis estadístico, se determinaron las condiciones (pH inicial del agua e intensidad corriente aplicada) en las cuales se alcanzaron los mejores resultados, en términos de porcentaje de remoción de cada variable de respuesta, y se realizaron 3 ensayos adicionales para determinar la tendencia cinética en cuanto a remoción de DQO, COT y SDT. Para este fin, a lo largo de cada ensayo adicional, se tomaron muestras de agua cada 15 minutos por un periodo de tiempo de 1.5 horas, para obtener un total de 7 muestras por ensayo de análisis de tendencia cinética.

A partir de estos datos fueron trazadas las gráficas de concentración de DQO y COT contra el tiempo, y se realizó el análisis de regresión que permitió identificar el modelo cinético al cual se ajustan los resultados experimentales. El volumen de agua en cada experimento fue de 1.5 l y el tiempo de reacción fue de 1.5 h (Verma, 2017). El pH del agua residual se ajustó agregando H_2SO_4 o $NaOH$, según el caso. Los análisis de pH, DQO, COT y SDT se llevaron a cabo por medio de los protocolos establecidos en los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (American Public Health Association [APHA] et al., 2017) enunciados en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos de parámetros a evaluar.

Parámetro	Método
pH	M. E. 4500 – H+ B. Método Electrométrico
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	M. E. 5220 C. Reflujo Cerrado
Conductividad	M. E. 2510 B. Método Laboratorio
Sólidos disueltos totales (SDT)	M. E. 2540 F. Sólidos sedimentables
Carbono Orgánico Total (COT)	M. E. 5310 C. Método de oxidación persulfato-ultravioleta

Fuente de consulta: (APHA et al., 2017)

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los resultados promedio se realizó el análisis de varianza y a partir de este fueron establecidas las condiciones experimentales para las cuales se logran los mejores resultados de las variables de respuesta. El análisis estadístico y las gráficas de contorno de cada una de las variables de respuesta fueron elaborados en el software de análisis estadístico Minitab versión 19 con licencia de usuario final (EULA). Por otra parte, la cinética del proceso, que permite la reducción de concentración de DQO y COT en la electrocoagulación (intensificada con radiación UV), tiende a ser de pseudo primer

orden; con un coeficiente cinético de 0.007411 min⁻¹ y una correlación R igual a 0.9942 para DQO, y en cuanto a COT, el coeficiente cinético presenta un valor de 0.003619 min y una correlación R igual a 0.9934.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del agua residual antes y después de la electrocoagulación

Las características iniciales del agua residual antes del tratamiento y los porcentajes de reducción de concentración, alcanzados en la planta de tratamiento de la empresa, se presentan en la tabla 2.



Tabla 2. Características iniciales del agua residual empleada para la realización de los ensayos y la eficiencia de remoción de los contaminantes del actual tratamiento de la empresa.

Parámetro	Unidades	Valor	Porcentaje de reducción de concentración en la planta de tratamiento de la empresa (%)
pH		8	
Turbiedad	UNT	253	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO2/L	1196	32.78
Carbono Orgánico Total (COT)	mgCOT/L	436	17.2
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	(mg SDT)/L	531	15.44

Fuente de consulta: autores

Las figuras 1, 2 y 3 muestran el promedio de porcentajes de remoción de DQO, COT y SDT en las tres repeticiones de ensayos realizados.

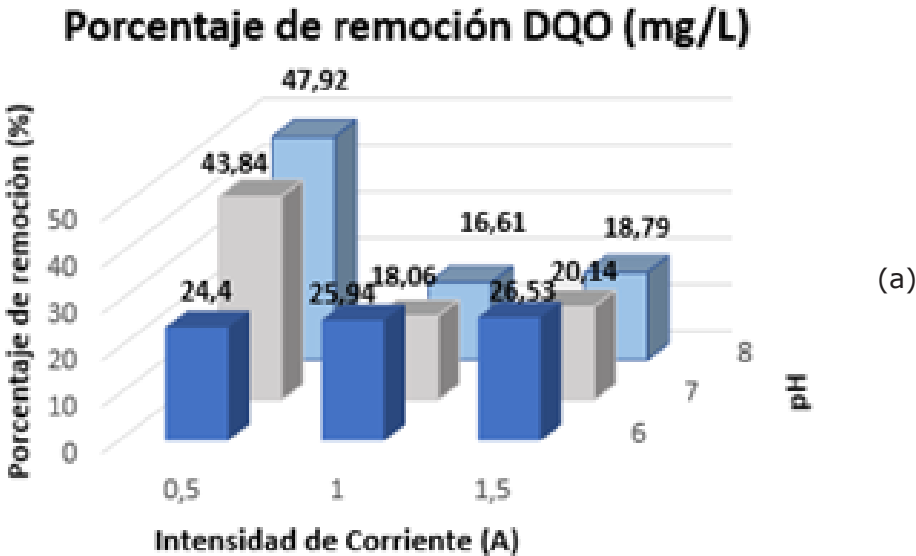
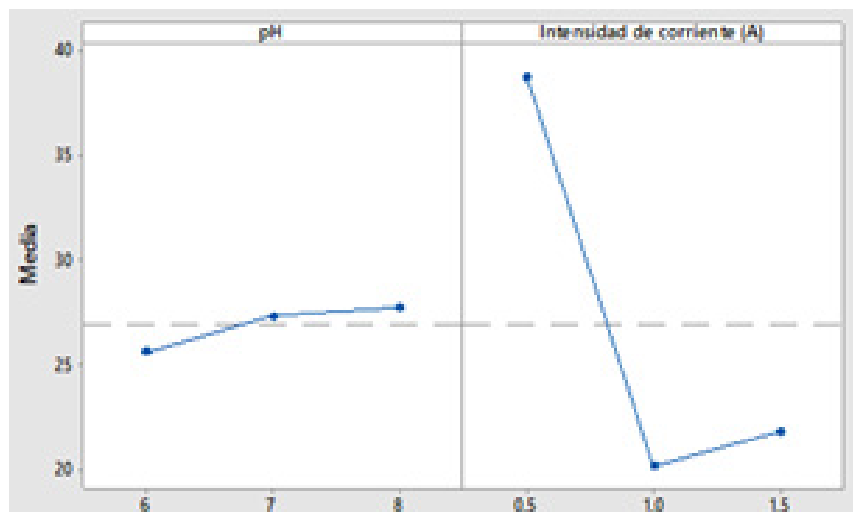


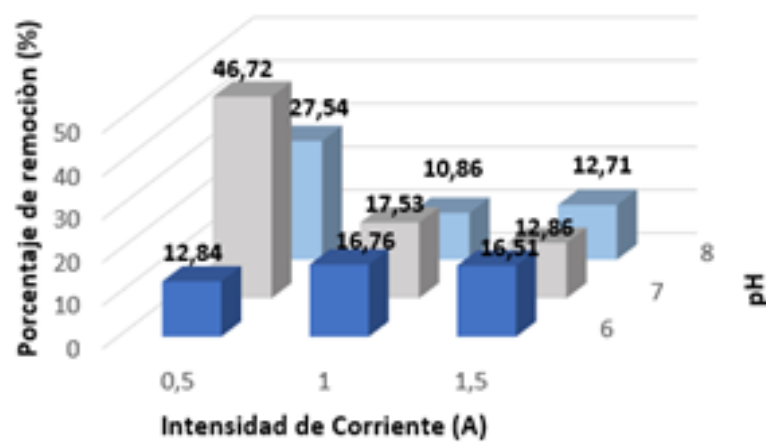
Figura 1. (a) Porcentajes de remoción promedio alcanzados en los ensayos realizados para DQO. Fuente de consulta: autores



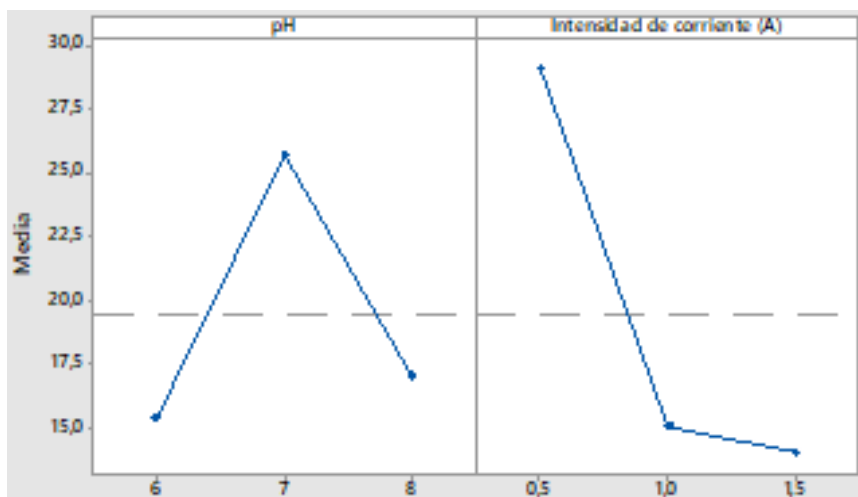
(b)

Figura 1. (b) gráfico de efectos principales. **Fuente de consulta:** autores

Porcentaje de remoción COT (mg/L)



(a)



(b)

Figura 2. (a) Porcentajes de remoción promedio alcanzados en los ensayos realizados para COT, (b) gráfico de efectos principales.

Fuente de consulta: autores

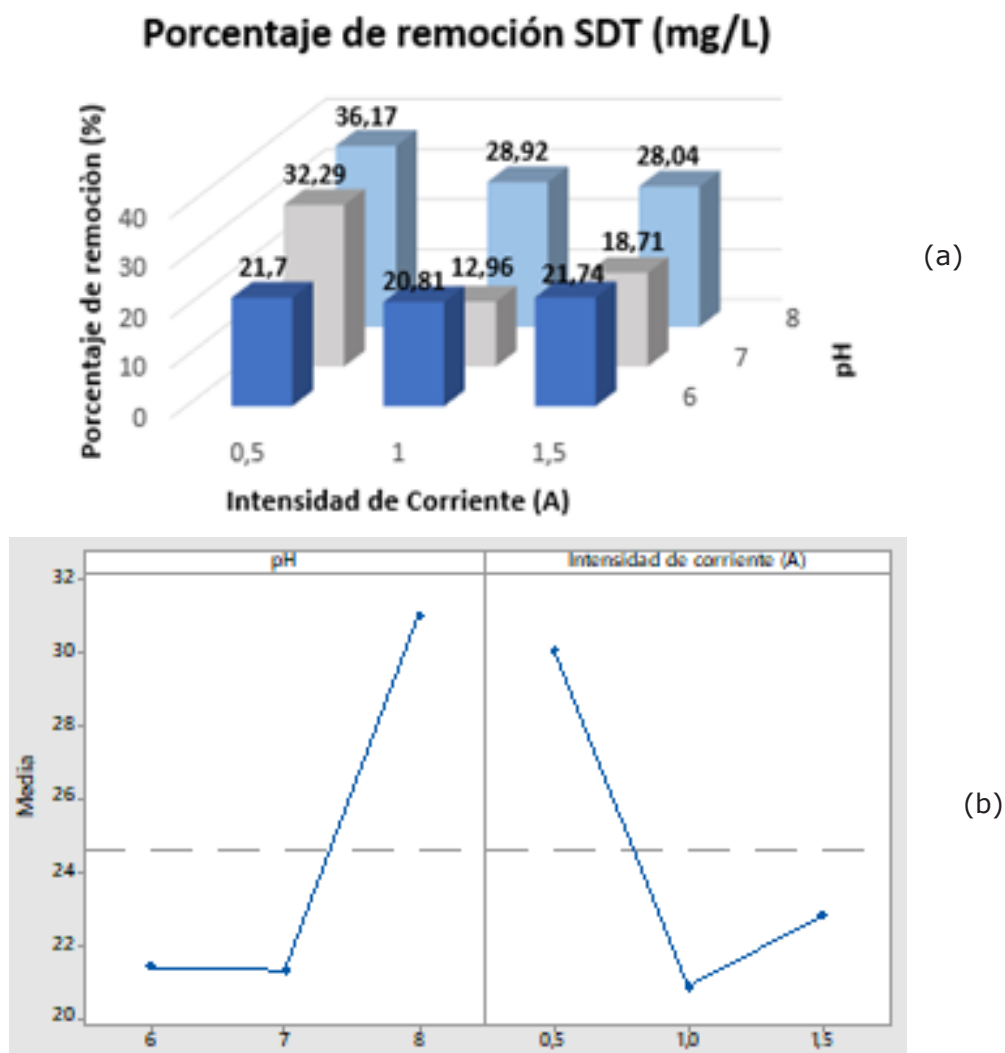


Figura 3. (a) Porcentajes de remoción promedio alcanzados en los ensayos realizados para SDT, (b) gráfico de efectos principales.

Fuente de consulta: autores

En las anteriores gráficas se observa que los mayores valores de remoción para DQO se alcanza a 0.5 amperios y pH 8; para COT, 0.5 amperios a pH 7; y para SDT, 0.5 amperios a pH 8. A partir de estas observaciones se establece que la combinación de factores o variables del proceso para los cuales se logran los mejores resultados son intensidad de corriente 0.5 A y pH entre 7 y 8. Se hace notorio que el cambio de las variables o factores de proceso da lugar a diferentes valores de las variables de respuesta, en otras palabras, los factores analizados influyen en el proceso de tratamiento. Para confirmar esta apreciación se realizó el análisis de varianza que se presenta en la tabla 3.

Las gráficas de efectos principales permiten determinar que el pH presenta

poco efecto sobre la remoción de DQO. Por otra parte, al aumentar la intensidad de corriente se aprecia que existe disminución del porcentaje de remoción de la variable analizada. Al igual que en el caso de la DQO, el efecto del pH no es tan notorio como en el caso de la intensidad de corriente, al aumentar esta variable la remoción de COT disminuye, efecto que puede ser causado por el aumento del número de burbujas en los electrodos, ya que, se reduce el contacto entre el líquido y los mismos. A pesar de que la gráfica de efectos principales denota que tanto el pH como la intensidad de corriente afectan la remoción de SDT, la diferencia porcentual de las remociones no supera el 10%, en otras palabras, el efecto del pH y la intensidad de corriente resultan poco significativos al ser analizados estadísticamente.

3.2 ANOVA-Análisis de varianza

Tabla 3. ANOVA para los resultados experimentales respecto al porcentaje de remoción para DQO realizado con un nivel de confianza del 95%, es decir ($\alpha=0.05$)

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
Modelo	8	3094,79	386,848	2119,33	0,000
Lineal	4	1916,30	479,075	2624,59	0,000
pH	2	23,30	11,649	63,82	0,000
Intensidad de corriente	2	1893,00	946,502	5185,36	0,000
Interacciones de 2 términos	4	1178,49	294,622	1614,07	0,000
pH*Intensidad de corriente	4	1178,49	294,622	1614,07	0,000
Error	18	3,29	0,183		
Total	26	3098,07			
Desviación estándar	R ²	R ² (ajustado)	R ² (pred)		
0,427239	99,89 %	99,85%	99,76 %		

Fuente de consulta: autores

Tabla 4. ANOVA para los resultados experimentales respecto al porcentaje de remoción para COT realizado con un nivel de confianza del 95 %, es decir $\alpha = 0.05$

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
Modelo	8	3104,65	388,082	3221,29	0,000
Lineal	4	1818,97	454,744	3774,62	0,000
pH	2	553,78	276,890	2298,34	0,000
Intensidad de corriente	2	1265,19	632,597	5250,90	0,000
Interacciones de 2 términos	4	1285,68	321,419	2667,95	0,000
pH*Intensidad de corriente	4	1285,68	321,419	2667,95	0,000
Error	18	2,17	0,120		
Total	26	3106,82			
Desviación estándar	R ²	R ² (ajustado)	R ² (pred)		
0,347094	99,93%	99,90 %	99,84 %		

Fuente de consulta: autores



Tabla 5. ANOVA para los resultados experimentales respecto al porcentaje de remoción para SDT realizado con un nivel de confianza del 95 %, es decir $\alpha=0.05$

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
Modelo	8	1273,41	159,176	593,06	0,000
Lineal	4	980,58	245,145	913,36	0,000
pH	2	561,49	280,743	1045,99	0,000
Intensidad de corriente	2	419,09	209,547	780,73	0,000
Interacciones de 2 términos	4	292,83	73,207	272,75	0,000
pH* Intensidad de corriente	4	292,83	73,207	272,75	0,000
Error	18	4,83	0,268		
Total	26	1278,24			
Desviación estándar	R^2	R^2	R^2		
		(ajustado)	(pred)		
	0,518073	99,62 %	99,45 %	99,15 %	

Fuente de consulta: autores

Con base en el valor p se puede afirmar que todas las variables o factores de proceso analizados influyen sobre las variables de respuesta, esto incluye la interacción entre el pH y la intensidad de corriente aplicada.

Para visualizar con facilidad el efecto de los factores sobre las variables de respuesta, en las figuras 4, 5 y 6 se presentan las gráficas de contorno.

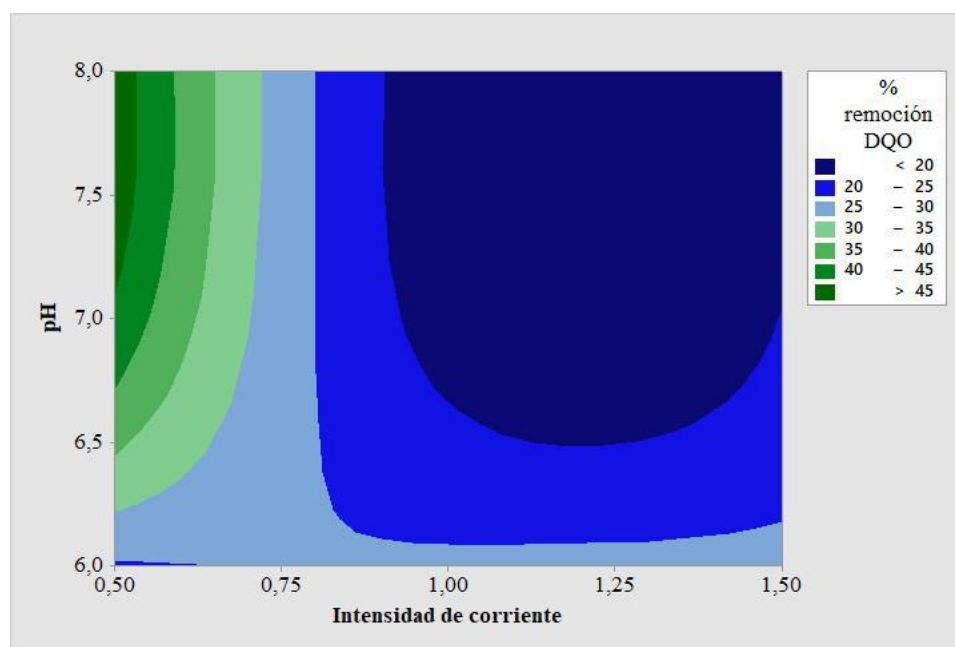


Figura 4. Gráfico de contornos para los porcentajes de remoción de DQO.

Fuente de consulta: autores

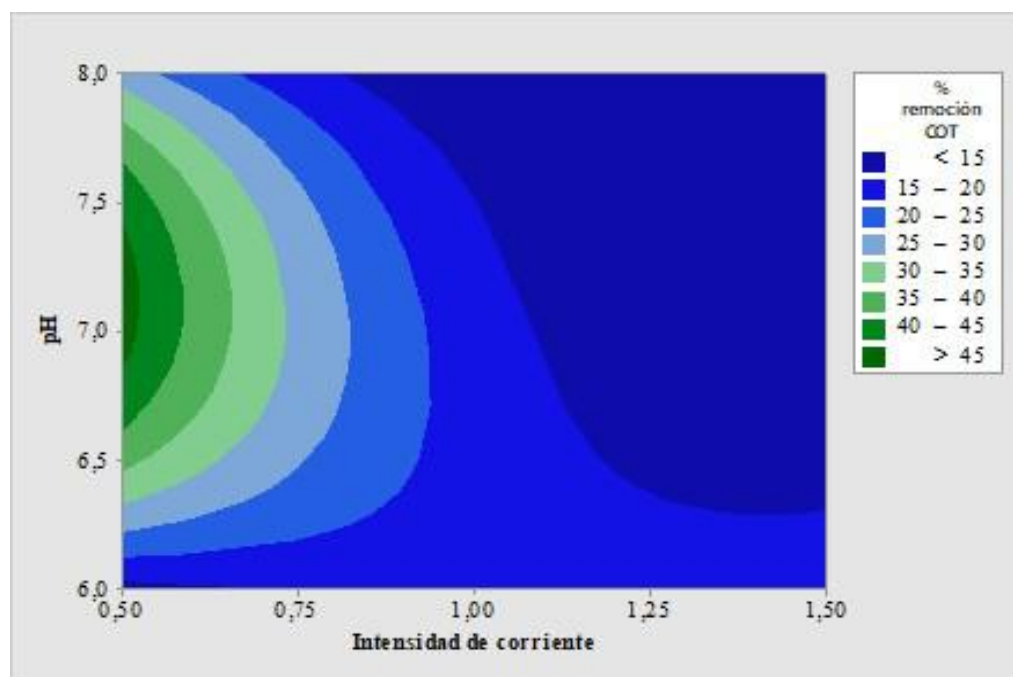


Figura 5. Gráfico de contorno para los porcentajes de remoción de COT.

Fuente de consulta: autores

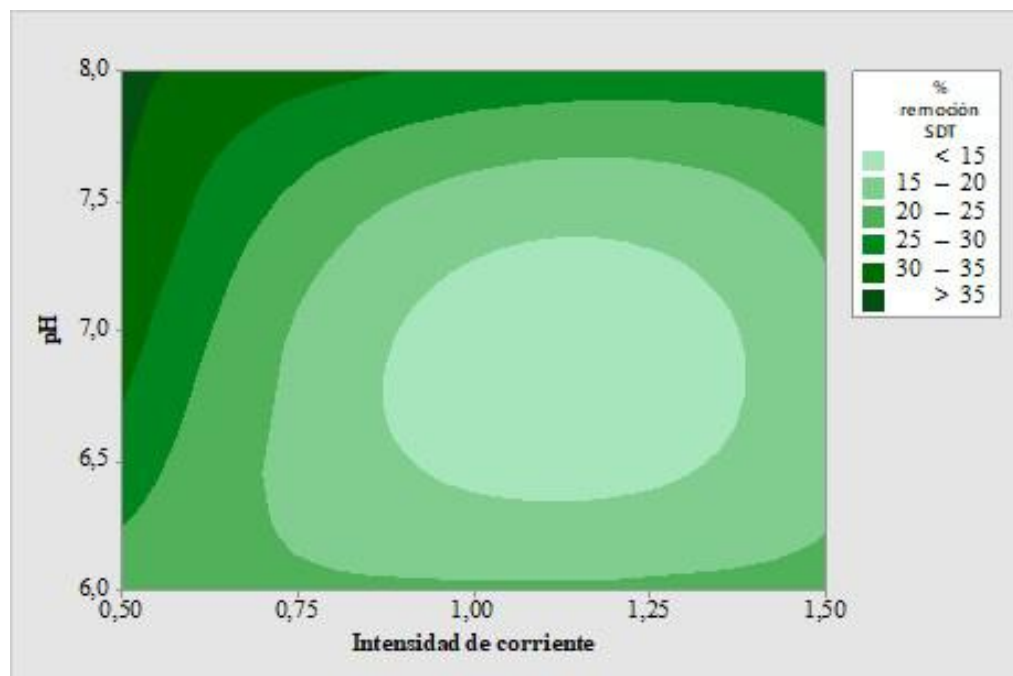


Figura 6. Gráfico de contorno para los porcentajes de remoción de SDT.

Fuente de consulta: autores



En las anteriores figuras se observa que los mayores porcentajes de remoción se logran a pH ligeramente alcalino (8), confirmando lo reportado en estudios previos (Sen et al., 2020). Con respecto a la intensidad de corriente, los mejores resultados se logran a 0.5 A; este hecho se puede presentar por causa de la formación de una capa de burbujas de gases (oxígeno e hidrógeno principalmente) en la superficie de los electrodos, cuando se incrementa la intensidad de corriente. En otras palabras, la presencia de gases en la superficie de los electrodos, dificulta el contacto con el agua residual y puede reducir la efectividad del proceso (Zazou, 2017; Kobya, 2015), es decir, se reduce la tasa de reacción y por lo tanto disminuye el porcentaje de las concentraciones de DQO, COT y SDT.

Por otra parte, el efecto del pH es semejante al observado en estudios previos (Abdulrazzaq et al., 2021; Wei, et al., 2012) en los cuales se señala que el aumento del pH inicial en el tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación permite alcanzar mayores remociones de DQO y color frente a un pH ligeramente alcalino (Verma, 2017). Los estudios realizados con electrodos metálicos (Mendoza & López, 2017) indican que para eliminar de manera eficiente DQO y color de las aguas residuales de la industria textil se requiere que el pH del agua sea cercano a 7 y que para la remoción de turbiedad el pH debe ser 9 (Núñez et al., 2019). Lo anterior confirma que el pH en los procesos de electrocoagulación debe ser alcalino.

La inclusión de la lámpara UV (254 nm), además de aportar energía para romper los enlaces (Antonopoulou et al., 2014), favorece la formación de ozono (O_3) y radicales OH^* en el agua, los cuales, al ser agentes oxidantes fuertes, contribuyen a disminuir la concentración de los contaminantes existentes en el agua. Cabe resaltar que el proceso de electrocoagulación se realizó en el

agua cruda, es decir, sin clarificación previa; debido a esto, el efecto de la radiación UV se puede ver afectado; aunque este hecho fue sorteado por la agitación en el sistema para asegurar que el agua en contacto con la superficie de la lámpara fuese renovada continuamente.

El uso de los electrodos de grafito (al ser ánodos insolubles) favorece el proceso de electrocoagulación, puesto que poseen una mayor resistencia química (Sahu et al., 2014), lo que facilita el proceso de oxidación y reducción de diversos contaminantes existentes en el agua. Igualmente, reemplazar los electrodos metálicos por electrodos de grafito supone una mejora en el proceso de tratamiento para el agua residual, en vista de que estos son extremos conductores de corriente eléctrica, de manera que el consumo energético puede ser menor y por lo tanto el gasto operacional (Dobrosz-Gomez, I et al., 2020).

3.3 Proceso con radiación UV vs sin radiación UV

Una vez determinado que el mayor desempeño en términos de reducción de concentración de DQO y COT se alcanza a pH inicial 8 y 0.5 A de intensidad de corriente, correspondientes a una densidad de corriente aplicada de 8.93 A/m^2 , se realizaron ensayos adicionales para evaluar la tendencia cinética del proceso. Cabe señalar que los ensayos fueron llevados a cabo en presencia y ausencia de luz, a fin de analizar la influencia de la radiación UV sobre el proceso, es decir, si realmente el proceso se intensifica o presenta mejor rendimiento por la inclusión de radiación UV en el sistema de reacción. Las siguientes figuras (7 y 8) contienen las gráficas de porcentaje de remoción del proceso de electrocoagulación contra el tiempo, en condiciones de reacción sin y con radiación UV para DQO y COT.

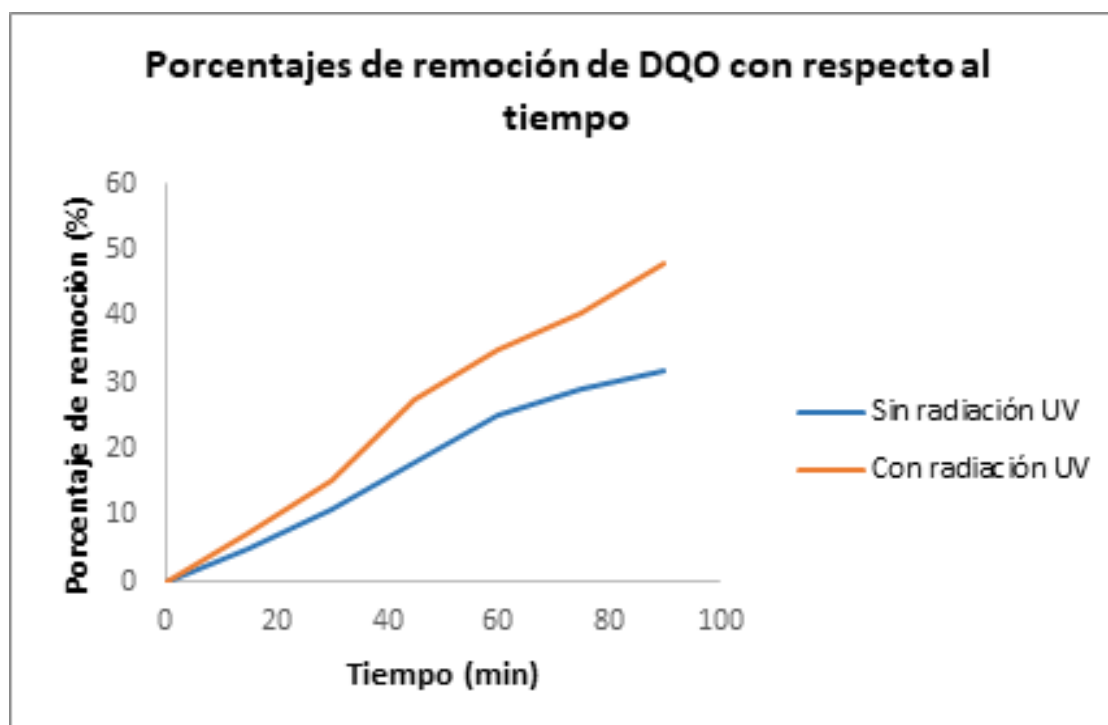


Figura 7. Porcentajes de remoción de DQO con respecto al tiempo sin y con radiación UV.
Fuente de consulta: autores

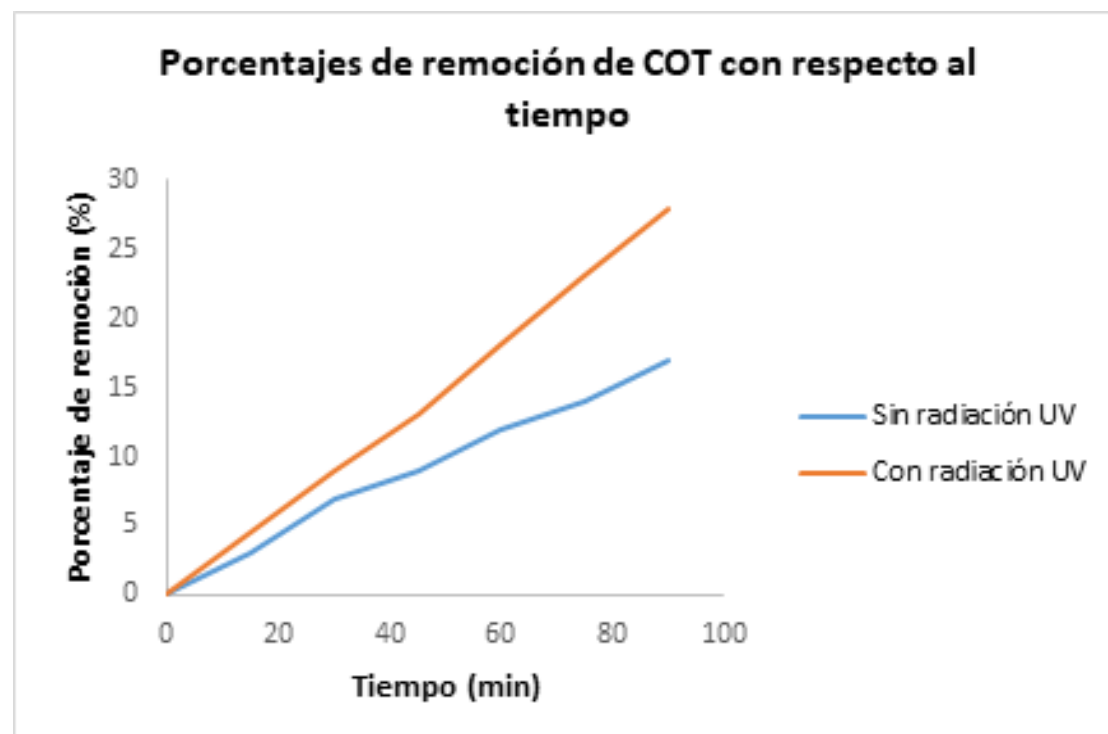


Figura 8. Porcentajes de remoción de COT con respecto al tiempo sin y con radiación UV
Fuente de consulta: autores



Se aprecia que los porcentajes de remoción o reducción de concentración de DQO y COT son mayores cuando se hace uso de radiación UV para incrementar la efectividad del proceso. Las gráficas permiten observar que el proceso realizado no alcanza condiciones estables durante los 90 minutos de experimentación. Con base en los datos de las gráficas anteriores se realizó el análisis para determinar la tendencia cinética del proceso y se encontró que esta se ajusta al modelo de pseudo primer orden.

Los valores de los coeficientes cinéticos y coeficientes de correlación (R^2) para la reducción de concentración de DQO y COT en los ensayos de electrocoagulación sin radiación UV fueron de $0.004548 \text{ min}^{-1}$ ($R^2 = 0.9913$) y $0.002035 \text{ min}^{-1}$ ($R^2 = 0.9953$), respectivamente. Para los ensayos realizados por electrocoagulación con radiación UV, estos mismos valores fueron $0.007411 \text{ min}^{-1}$ ($R^2 = 0.9942$) y $0.003619 \text{ min}^{-1}$ ($R^2 = 0.9934$). El incremento en el valor del coeficiente cinético de pseudo primer orden confirma que la tasa o velocidad a la cual se reduce la concentración de las variables aumenta, de manera que el porcentaje de remoción en los ensayos realizados con electrocoagulación alcanza mayores valores con el mismo tiempo de reacción.

3.4 Proceso actual de la PTAR de la empresa textil vs proceso de electrocoagulación

La empresa textil cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales [PTAR] industriales que trata el agua proveniente del proceso de lavado y teñido, el proceso en la planta consta de un pretratamiento (filtro box o tamiz vibratorio) y tres tratamientos adicionales (primario, secundario y de lodos). Posteriormente al tratamiento se toman los parámetros correspondientes a la salida de la PTAR, para garantizar el cumplimiento de la normatividad legal vigente y se realiza el vertimiento de las aguas tratadas al alcantarillado público. Este sistema permite obtener los siguientes porcentajes de remoción: DQO (32,78 %), COT (17,2 %), SDT (15,44 %).

Teniendo en cuenta los porcentajes de remoción en el proceso de electrocoagulación (objetivo de estudio del presente trabajo), sería viable implementar este proceso en el sistema existente en la empresa, ya que, el porcentaje de remoción de DQO, COT y SDT incrementaría en 15,14 %, 10,34 % y 20,73 %, respectivamente. Adicionalmente, es importante tener en cuenta que el pH del agua residual no debe modificarse, lo que evitaría costos adicionales. Por otra parte, estudios similares al realizado plantean la oportunidad de reutilizar las aguas residuales tratadas en el proceso de teñido, lo que implica una disminución en el consumo de agua potable y vertimiento de aguas al alcantarillado (Núñez et al., 2019; Buscio et al., 2019).

CONCLUSIONES

La máxima remoción de DQO, COT y SDT fue de 47,92 %, 27,54 % y 36,17 %, respectivamente. Estos valores se lograron con un pH 8 que se considera alcalino, 0.5 A de intensidad de corriente, y una densidad de corriente aplicada de 8.93 A/m^2 . Las características del proceso coinciden con los resultados de estudios previos en el tema (Abdulrazzaq et al., 2021).


La presencia de radiación UV favorece el rompimiento de moléculas de materia

orgánica, por causa de la formación de O_3 y de radicales OH^* en el agua, en especial a pH alcalino, lo cual confirma que el proceso de electrocoagulación se intensifica por el uso de radiación UV.

Al comparar el proceso de la electrocoagulación con el proceso de tratamiento que se realiza actualmente en la empresa textil se obtuvieron los siguientes porcentajes de remoción durante la toma de muestras en la PTAR: DQO 32,78 %, COT 17,2 % y

SDT 15,44 %. También se observa que la electrocoagulación con electrodos de grafito, intensificada con radiación UV, permite lograr mayor reducción de la concentración de contaminantes (DQO 47,92%, COT 27,54% Y SDT 36,17%). De acuerdo con lo anterior, se puede determinar que el proceso analizado resulta favorable y posible de implementarse ya que, permite reducir o eliminar el uso de insumos químicos en el tratamiento.

Por otra parte, el pH del agua residual cruda generada en la empresa es un poco

superior a 8 y no se requeriría de un sistema de homogeneización para ajustar el pH del agua antes del tratamiento. Además, el uso de electrodos de grafito supone el beneficio de no tener que realizar el reemplazo periódico del ánodo, además de no introducir iones metálicos al agua, lo cual se debe comprobar por medio de estudios adicionales que permitan determinar con precisión el posible desgaste de los electrodos de grafito. Por otra parte, la alta conductividad eléctrica del grafito permite un menor gasto energético en el proceso. 

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

María Alejandra Rodríguez Oviedo, estudiante de la Facultad de Ingeniería ambiental en la Universidad Libre, Bogotá, Colombia: Formulación y desarrollo de todo el proceso investigativo y de elaboración del artículo científico, análisis de los resultados y conclusiones.

Ángela Daniela Sánchez Suárez, estudiante de la Facultad de Ingeniería ambiental en la Universidad Libre, Bogotá, Colombia: Formulación y desarrollo de todo el proceso investigativo y de elaboración del artículo científico, análisis de los resultados y conclusiones.

Rafael Nikolay Agudelo Valencia, docente de la Facultad de Ingeniería ambiental en la Universidad Libre, Bogotá, Colombia: Formulación y desarrollo de todo el proceso investigativo y de elaboración del artículo científico, análisis de los resultados y conclusiones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por la Universidad Libre de Colombia, y a Edwar Humberto Villamil Farfán por la cooperación con los laboratorios de análisis de aguas.

LITERATURA CITADA

Abdulrazzaq, N. N., Al-Sabbagh, B. H. & Shanshool, H. A. (2021). Coupling of electrocoagulation and microflotation for the removal of textile dyes from aqueous solutions. *Journal of Water Process*

Engineering, 40, 101906. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101906>

Anjaneyulu, Y., Sreedhara Chary, N. & Samuel Suman Raj, D. (2005). Decolourization of industrial effluents - Available methods and emerging technologies - A review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 4(4), 245-273. <https://doi.org/10.1007/s11157-005-1246-z>

Antonopoulou, M., Evgenidou, E., Lambropoulou, D. & Konstantinou, I. (2014). A review on advanced oxidation processes for the removal of taste and odor compounds from aqueous media. *Water Research*, 53, 215-234. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.028>

Barrera-Díaz, C. E., Lugo-Lugo, V. & Bilyeu, B. (2012). A review of chemical, electrochemical and biological methods for aqueous Cr(VI) reduction. *Journal of Hazardous Materials*, 223-224, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.054>

Bener, S., Bulca, Ö., Palas, B., Tekin, G., Atalay, S. & Ersöz, G. (2019). Electrocoagulation process for the treatment of real textile wastewater: Effect of operative conditions on the organic carbon removal and kinetic study. *Process Safety and Environmental Protection*, 129, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.06.010>

Bilińska, L., Blus, K., Gmurek, M. & Ledakowicz, S. (2019). Coupling of electrocoagulation and ozone treatment



- for textile wastewater reuse. *Chemical Engineering Journal*, 358, 992–1001. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.093>
- Buscio, V., López-Grimau, V., Álvarez, M. D. & Gutiérrez-Bouzán, C. (2019) Reducing the environmental impact of textile industry by reusing residual salts and water: ECUVal system. *Chemical Engineering Journal*, 373(1), 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.146>
- Castañeda-Díaz, J., Pavón-Silva, T., Gutiérrez-Segura, E. & Colín-Cruz, A. (2017). Electrocoagulation-Adsorption to Remove Anionic and Cationic Dyes from Aqueous Solution by PV-Energy. *Journal of Chemistry*, 2017, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2017/5184590>
- Dobrosz-Gomez, I., Gómez García, M. A., & Ibarra Taquez, H. N. (2020). Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación - Oxidación Anódica. Selección de los electrodos. *Revista EIA*, 17(34), 1–17. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1328>
- García-Segura, S., Eiband, M. M. S. G., Vieira, J. & Martínez-Huitle, C. A. (2017). Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 801, 267–299. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047>
- Gil- Pavas, E., Dobrosz-Gómez, I., Gómez-García, M.A. (2018) "Optimization of sequential chemical coagulation - electro-oxidation process for the treatment of an industrial textile wastewater". *Journal of Water Process Engineering*, 22 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.01.005>
- Gil-Pavas, E., Correa-Sánchez, S. & Acosta, D. A. (2019). Using scrap zero valent iron to replace dissolved iron in the Fenton process for textile wastewater treatment: Optimization and assessment of toxicity and biodegradability. *Environmental Pollution*, 252, 1709–1718. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.104>
- Gil-Pavas, E., Dobrosz-Gómez, I. & Gómez-García, M. Á. (2020). Efficient treatment for textile wastewater through sequential electrocoagulation, electrochemical oxidation and adsorption processes: Optimization and toxicity assessment. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 878, 114578. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114578>
- Gogate, P. R., Thanekar, P. D. & Oke, A. P. (2020). Strategies to improve biological oxidation of real wastewater using cavitation based pre-treatment approaches. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 105016. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105016>
- Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P. & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>
- Khandegar, V. & Saroha, A. K. (2013). Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - A review. *Journal of Environmental Management*, 128, 949–963. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.043>
- Khorram, A. G. & Fallah, N. (2018). Treatment of textile dyeing factory wastewater by electrocoagulation with low sludge settling time: Optimization of operating parameters by RSM. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 635–642. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.054>
- Kobyas, M. & Demirbas, E. (2015). Evaluations of operating parameters on treatment of can manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Journal of Water Process Engineering*, 8, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.09.006>
- Martínez-Huitle, C. A., Rodrigo, M. A., Sirés, I. & Scialdone, O. (2015). Single and Coupled Electrochemical Processes and Reactors for the Abatement of Organic Water Pollutants: A Critical Review. *Chemical Reviews*, 115(24), 13362–13407. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00361>

- Mouedhen, G., Feki, M., Wery, M. D. P. & Ayedi, H. F. (2008). Behavior of aluminum electrodes in electrocoagulation process. *Journal of Hazardous Materials*, 150(1), 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.090>
- Naje, A. S., Chelliapan, S., Zakaria, Z., Ajeel, M. A. & Alaba, P. A. (2017). A review of electrocoagulation technology for the treatment of textile wastewater. *Reviews in Chemical Engineering*, 33(3), 263–292. <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0019>
- Núñez, J., Yeber, M., Cisternas, N., Thibaut, R., Medina, P. & Carrasco, C. (2019). Application of electrocoagulation for the efficient pollutants removal to reuse the treated wastewater in the dyeing process of the textile industry. *Journal of Hazardous Materials*, 371, 705–711. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.030>
- Oncel, M. S., Muhcu, A., Demirbas, E. & Kobya, M. (2013). A comparative study of chemical precipitation and electrocoagulation for treatment of coal acid drainage wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 989–995. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.08.008>
- Perozo, J. R. y Abreu, J. R. (2017). Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. *Química Viva*, (1). <https://n9.cl/uwa0m>
- Ravndal, K. T., Opsahl, E., Bagi, A. & Kommedal, R. (2018). Wastewater characterisation by combining size fractionation, chemical composition and biodegradability. *Water Research*, 131, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.034>
- American Public Health Association., American Water Works Association. & Water Environment Federation. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, (23rd ed.). American Public Health Association.
- Robles Mendoza, L. K. y López Bueno, A. F. (2017). Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, basado en electrocoagulación [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. Facultad de ingeniería. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/315/
- Sahu, O., Mazumdar, B. & Chaudhari, P. K. (2014). Treatment of wastewater by electrocoagulation: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(4), 2397–2413. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2208-6>
- Samsami, S., Mohamadi, M., Sarrafzadeh, M. H., Rene, E. R. & Firoozbahr, M. (2020). Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 143, 138–163. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.034>
- Sen, S., Prajapati, A., Kumar, R., Pal, D. & Mansuri, A. (2020, febrero 7). Treatment and Operating Cost Analysis of Textile Wastewater by Electrocoagulation [conference]. *Proceedings of the International Conference on Advances in Chemical Engineering 2020*, Dehradun, India. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3721564>
- Verma, A. K. (2017). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation employing Fe-Al composite electrode. *Journal of Water Process Engineering*, 20, 168–172. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.11.001>
- Wei, M., Wang, K., Huang, C., Chiang, C., Chang, T., Lee, S. & Chang, S. (2012). Improvement of textile dye removal by electrocoagulation with low-cost steel wool cathode reactor. *Chemical Engineering Journal*, 192, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.03.086>
- Yuksel, E., Eyvaz, M. & Gurbulak, E. (2013). Electrochemical treatment of colour index reactive orange 84 and textile wastewater by using stainless steel and iron electrodes. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 32(1), 60–68. <https://doi.org/10.1002/ep.10601>
- Zazou, H., Oturan, N., Zhang, H., Hamdani, M. & Oturan, M. A. (2017). Comparative study of electrochemical oxidation of herbicide 2,4,5-T: Kinetics, parametric optimization and mineralization pathway". *Sustainable*



Environmental Research, 27(1), 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2016.11.008> 28, 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.006>

Zazou, H., Afanga, H., Akhouairi, S., Ouchtak, H., Addi, A. A., Akbour, R. A., Assabbane, A., Douch, J., Elmchaouri, A., Duplay, J., Jada, A. & Hamdani, M. (2019). Treatment of textile industry wastewater by electrocoagulation coupled with electrochemical advanced oxidation process. *Journal of Water Process Engineering*,

Al-Qodah, Z., Tawalbeh, M., Al-Shannag, M., Al-Anber, Z. & Bani-Melhem, K. (2020). Combined electrocoagulation processes as a novel approach for enhanced pollutants removal: A state-of-the-art review. *Science of the Total Environment*, 744, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140806>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

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



CÓMO CITAR

ÁREA AGRÍCOLA

Citación: Pedraza, L., Sánchez, F., Moreno, M., Arias, V. y Sánchez, L. (2022). Enfermedades emergentes y reemergentes de plantas en Latinoamérica: Una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 15 – 51.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4639>

Citación: Murcia, K. y Castañeda, M. (2022). Evaluación del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de extractos etanólicos de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 53 – 65.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4717>

Citación: Delgado-Vargas, I., Ballesteros, W., y Arellano, V. (2022). Agrobiodiversidad de leñosas multipropósito en sistemas productivos cafeteros. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 67 – 80.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4741>

Citación: Serrano, M., Pérez, L., Estrada-López, H., Benítez, R. y Aranguren, A. (2022). Identificación y Caracterización de Rizobacterias Nativas Fijadoras de Nitrógeno de *Capsicum* sp. de la Región Caribe Colombiana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 81 – 91.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4818>

Citación: Aguirre, S., Piraneque, N. y Cruz, R. (2022). Relación entre elementos nutrientes con carbono, nitrógeno y materia orgánica en suelos de la zona bananera de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 93 – 111. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5186>

Citación: Narváez, A., Vásquez, H., Zapata, P. y Caicedo, A. (2022). Evaluación de hongos entomopatógenos y antagonistas para el manejo de *Eurhizococcus colombianus* en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de*

Investigación Agraria y Ambiental, 13(2), 113 – 124

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5398>

Citación: Narváez, I., Torres, L., Granados, Z., y Delgado, I. (2022). Tratamientos pregerminativos y germinación de semillas de *Vochysia lehmannii* en los llanos orientales de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 125 – 136.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5433>

Citación: Moreno, M., Santin, D., Wendling, I. y Benedetti, E. (2022). Poultry manure increases soil fertility, growth and nutritional status of yerba mate seedlings. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 137 – 148.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5388>

Citación: Cárdenas, D., Torres, A. y Gómez, E. (2022). Identificación de aceites esenciales y parámetros productivos de *Mentha spicata* cultivada en sistemas acuapónicos y camas contenidas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 149 – 163.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4704>

ÁREA PECUARIA

Citación: Flórez, D. y Velásquez, Y. (2022). Efecto de la harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) sobre el desempeño productivo de pollo de engorde. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 165 – 174.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4480>

ÁREA AMBIENTAL

Citación: Tamayo, F., Agaméz, J., Aparicio, D. y Márquez, J. (2022). Bisfenol A y efectos de disrupción endocrina en humanos y animales: Revisión sistemática. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 175 – 200.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4691>

Citación: Rodríguez, M., Sánchez, A. y Agudelo, R. (2022). Electrocoagulación con radiación UV para remover DQO, COT y SDT en aguas residuales de la industria textil empleando electrodos de grafito. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 13(2), 201 – 219.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4717>



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 1024píxeles). Un ejemplo de figura:

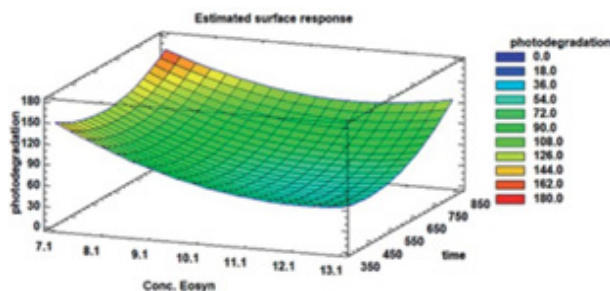


Figura 1. Título de la figura. Leyenda de la figura, el tipo de letra verdana tamaño 9.

Fuente de: xxxxxx

Ecuaciones

Todas las ecuaciones se enumeran al lado de la misma de la forma ecuación 1 citadas en el texto como (ecuación 1). Las ecuaciones se sugieren que se desarrollen en el editor de ecuaciones de Microsoft Word o a través de la aplicación de Mathtype.

Contribución de la autoría

En esta sección se explica cuál fue la contribución de cada autor al artículo. Ejemplo: Primer autor: Metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura – borrador original. Segundo autor: Investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura – revisión y edición. Tercer autor: Logística, revisión y edición. Cuarto autor: análisis de datos, revisión y edición. Quinto autor: Adquisición de recursos, administrador del proyecto, supervisión, conceptualización, escritura – revisión y edición.

Agradecimientos

Esta sección se utilizará para hacer un reconocimiento a aquellas personas o instituciones que han hecho contribuciones sustanciales al trabajo o han prestado asistencia en la investigación (técnica, financiera, logística, intelectual, entre otras.). Los agradecimientos deben ir como una sección separada después de la discusión y antes de las referencias. Se incluye aquí, las referencias de los proyectos que hicieron posible el estudio.

Literatura citada

Deberán incluirse todas aquellas fuentes o autores que fueron citados en el cuerpo del documento. Nunca deberá referenciarse un autor que no haya sido citado y viceversa. Tenga en cuenta que no se admitirán artículos sin referencias. Un 60% de las citas debe provenir de investigaciones publicadas en los últimos 10 años.

Esta lista se organiza en orden alfabético y sin enumerar, y cada una debe tener sangría francesa. Para la referenciación de números o volúmenes de alguna publicación usar números arábigos y no romanos.

Forma básica:

Apellido, A.A., Apellido, B.B., y Apellido, C. C. (Año). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen (número), pp-pp.

Solo utilice fuentes electrónicas que correspondan a publicaciones con respaldo institucional, cuyo contenido no pueda ser modificado o eliminado en el futuro. No utilice información proveniente de páginas comerciales o sitios de opinión.

El formato de la literatura citada debe seguir la normas APA, en cuanto a citación de artículos científicos, libros, capítulos de libro, páginas Web, tesis de doctorado, maestría y pregrado, informes, reportes, etc.

Anexos

Si tiene figuras que ocupen una página completa (dos cuartillas) o información adicional relevante del estudio, pero que por su extensión no es posible situarla en el texto principal, le recomendamos que lo coloque como anexo al documento (Anexo 1, Anexo 2, etc.). Esta figura quedará enlazada en el espacio web donde se alojará su artículo y en el caso de la versión impresa se maneja con código QR.

*** Se sugiere que los autores usen la plantilla diseñada para los artículos presentados a la revista:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about/submissions> ***

GUIDE FOR AUTHORS

The Journal of Agrarian and Environmental Research (RIAA) is an official publication of the School of Agricultural, Livestock and Environment Sciences (ECAPMA) of the National Open and Distance University (UNAD), destined to publish articles resulting from the original investigations in the agrarian and environmental area and related areas of knowledge in animal production, agriculture and sustainable use of natural resources. As examples of related areas, mention, among others, Ethics, Ecology, Sociology, Geography, History, Law and Economics, when dealing with perspectives of development, styles of agriculture, agrarian history, development sustainable, of environmental ethics, of agrarian and environmental policy, environmental, forestry and agrarian legislation or of significant and innovative contributions with a systemic, interdisciplinary and / or transdisciplinary vision.

The mission of RIAA is to promote communication and collaboration between national and international researchers through the dissemination and transfer of knowledge related to agricultural sciences and the environment, to strengthen the generation of new knowledge. The subjects in which RIAA publishes its research products are:

1. Agroecology and sustainable production models
2. Animal physiology and nutrition
3. Ethology and animal welfare
4. Land use and management
5. Principles and strategies of environmental management
6. Rural development, Education and Social projection
7. Biotechnology and alternative energies
8. Agroforestry systems, agroforestry, agrobiodiversity
9. Clean technologies
10. Integral management of solid waste
11. Environmental Modeling and risk management
12. Climate change
13. Diagnosis and pollution control
14. Animal and environmental ethics

15. Alternative processes for water treatment.

Article arbitration process

The editor receives the postulated manuscripts for publication and reviews that are oriented to the RIAA themes and in accordance with the publication rules. After this, the originals pass to the Editorial Committee for the appointment of external peers. All originals are submitted to arbitration in the double-blind modality, at least two pairs, which must be academics, specialists or ad hoc arbitrators. According to the opinion of the peers (which is recorded in the format for evaluation concept), the authors are requested or not to make major or minor modifications and the adaptation of the originals to the editorial policy of the journal.

In the event that a document presents a favorable and unfavorable concept, it will be sent to a third evaluator whose opinion will be final, with the Editorial Committee in charge of resolving any dispute that may arise with respect to the evaluations, and it is the instance that decides which articles will be published, the decisions of the Editorial Committee are unappealable.

The orthographic corrections in the text are made directly by the editorial Committee of the journal, without consulting the authors, also has the autonomy to review the document and compare it with anti-plagiarism software in order to ensure the originality of the manuscript, after this process, the committee will issue observations that the author must comply with prior to the peer evaluation.

However, a final version prior to printing and / or publication on the RIAA website will be sent to the authors for approval. It is considered that the final version is accepted if the author does not respond in the estimated times.

The reception of a manuscript does not oblige the publication thereof. The revision of the manuscripts will be done respecting

the right of the authors to the confidentiality regarding the information, results and creative effort. Likewise, the right to confidentiality of reviewers and editors will be respected.

Remission of the manuscript

As part of the submission process, authors are required to verify that their submission meets all the elements shown below. Authors who do not comply with these guidelines will be returned to the authors.

Initial checklist:

1. The manuscript is unpublished, it has not been previously published, nor is it being simultaneously submitted to another publication.
2. It complies with the guidelines established in the Instructions for Authors.
3. The template designed for the presentation of manuscripts is used. publication of the article.
5. SUGGEST 5 POSSIBLE EVALUATORS with their respective name, affiliation and email. Add the data in the box called "Comments for the EDITOR". If you wish, you can mention the possible evaluators with whom you have a conflict of interest and who do not want you to review your manuscript.
6. references written according to APA style.
7. Use thesauri for the construction of keywords.

Free Access policy

RIAA provides free public access to all its content to promote a greater global exchange of knowledge and encourage the reading and citation of published originals. RIAA does not tolerate any form of plagiarism (total, partial or conceptual). In case of identifying any plagiarism, in addition to informing the author of the withdrawal of the article, it will seek to warn the plagiarized authors. RIAA accepts the provisions of the plagiarism policy of the National Open and Distance University (UNAD).

Frequency

RIAA is a biannual publication (January-June and July-December).

Language

Submitted manuscripts may be written in Spanish or English.

Postulation of manuscripts

The RIAA has several types of articles:

- Research Articles
- Review articles

Research articles are associated with the dissemination of research products in the strict sense. This manuscript format should have: introduction, materials and methods results and discussion, conclusions, acknowledgments and cited Literature.

On the other hand, **the review article** is the systematization, analysis and balance of the research on a problem and aims to account for their conceptual, methodological and epistemological references, in addition to the advances and trends of the field investigated. It is characterized by presenting a careful analytical review of at least 50 bibliographical references. 60% of the cited literature must come from research published in the last 4 years. The structure that must have is: introduction, approach of the subject, bibliographic recovery (in the form of tables, pictograms, conceptual maps among others.), Discussion of the findings, conclusions, acknowledgments and literature cited.

Finally, the **working papers** are versions prior to the publication of academic articles, book chapters, reviews, which are of priority to disclose. This type of document complies with the same parameters: introduction, materials and methods, preliminary results and discussion, conclusions, acknowledgments and Literature cited.

General format of the document

Document in Word format Letter paper size (21.5 x 27.9 cm); margins 3 cm upper, 2.5 cm left, 3 cm lower and 2 cm right, to a column.

Font Verdana, size 10.
Interlinear space of 1.5.

It is recommended that the extension of manuscripts postulated for publication does not exceed 4000 words (including tables, figures and literature cited); 6000 words for review articles.

If you have figures that occupy a complete page (two pages), we recommend that you place it as an annex to the document. This figure will be linked in the web space where your article will be housed and in the case of the printed version, it will be handled with a QR code.

Titles and authors

The title must not exceed 15 words. You must describe the content of the article clearly and concisely, avoiding the use of ambiguous words, abbreviations and question marks and exclamation marks.

For each of the authors that appear in the header, you must provide: full name, last academic degree obtained or current studies, institutional affiliation, city and country, email. Omit charges, teaching degrees, research group names, recognitions, etc.

Tables and figures

The tables must be explained by themselves and do not duplicate what is stated in the text, but replace or complement it.

Within the text refer to the table as follows: (Table 1). Present the data in a real table without lines and columns, in single space, without vertical divisions or internal divisions. International System (SI) units must be used. Abbreviations and acronyms should be explained as footnotes in each table. In no case will tables be allowed in landscape format. An example of the presentation of a table is:

Table 1. Example of the presentation of a table

Number of the sample	Name	Surname	Providence
M1	Milton	Rodríguez	Cundinamarca
M2	Alberto	Ruiz	Cundinamarca
M3	Ricardo	Cadena	Cundinamarca

Source: XXXXXXXXX.

Within the category of figures include graphics, images, photos, and each one of them must have its corresponding legend and source, in case it is of its own authorship to mention it. The abbreviations and acronyms must be explained in the legend of the figure. The figures must be sent in .jpg .gif or .png format and must have the necessary quality for publication (more than 1024pixels).

Equations

All the equations are listed next to it in the equation form 1 cited in the text as (equation 1). The equations are suggested to be developed in the Microsoft Word equation editor or through the Mathtype application.

References and bibliographical citations

All those sources or authors that were cited in the body of the document should be included. An author who has not been cited must never be referenced and vice versa. Keep in mind that articles without references will not be accepted. 60% of citations must come from research published in the last 10 years.

This list is organized in alphabetical order and without enumeration, and each one must have French indentation. For the reference of numbers or volumes of some publication, use Arabic and non-Roman numerals.

Basic form:

Surname, A.A., Surname, B.B., and Surname, C. C. (Year). Article title. Name of the journal, volume (number), #-#-#.

Only use electronic sources that correspond to publications with institutional support, whose content can not be modified or eliminated in the future. Do not use information from commercial pages or opinion sites.