
**REVISTA DE INVESTIGACIÓN
AGRARIA Y AMBIENTAL**

Volumen 11 Número 1 – (Enero - Junio de 2020)
e-ISSN 2145-6453

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 11 Número 1 – (enero - junio de 2020) – e-ISSN 2145-6453

CUERPO DIRECTIVO

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR

Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA

Vicerrector Académica y de Investigación

LEONARDO YUNDA PERLAZA

Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

LEONARDO YUNDA PERLAZA

Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

JULIA ALBA ANGEL OSORIO

Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Comunitaria

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ

Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

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 UNAD

YOLVI PRADA

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

GERARDO OJEDA CASTRO

Director Editor

COMITÉ EDITORIAL

FLÁVIO VIEIRA MEIRELLES

Médico Veterinario, Ph.D.

Universidad de São Paulo

BEATRIZ EUGENIA CID AGUAYO

Socióloga, M.Sc. y Ph.D. en Sociología

Universidad de Concepción, Chile

OSCAR EMERSON ZUÑIGA MOSQUERA

Ingeniero Agrónomo, Mestre em andamento em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Universidade Federal de Pernambuco UFPE, Brasil

ROLANDO TITO BACCA IBARRA

Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D. en Entomología

Universidad de Nariño

COMITÉ CIENTÍFICO

ALVEIRO SALAMANCA JIMÉNEZ

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

University of California, Davis

ELISABETE FIGUEIREDO

Socióloga, Ph.D. en Environmental Sciences

University of Aveiro

HENRY ZUÑIGA

Ingeniero Químico, PhD en Ingeniería Ambiental

Docente Facultad de Ingeniería Tecnológico de Antioquia

ANDRES POSSO-TERRANOVA

Evolutionary biology MSc. PhD.

Lecturer-Postdoctoral Fellow

Seed and Developmental Biology

University of Saskatchewan

Corrector de estilo

Adrian Grijalba Rativa

Diseño y diagramación

Hernán Vásquez Giraldo

Zonacreativacolombia@hotmail.com

Impresión

HiperTexto

INFORMACIÓN, CORRESPONDENCIA, SUSCRIPCIONES Y CANJE REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Calle 14 Sur N. 14-23 Bogotá, Colombia

Teléfonos: (571) 344 3700 ext. 1529

e-mail: riaa@unad.edu.co

La revista puede consultarse en su versión electrónica en:
<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/index>

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.

Repositorio de Texto Completo de CABI: garantiza que los artículos estén disponibles y sean fácilmente localizados por científicos y profesionales a nivel mundial.

EBSCO ofrece un repositorio de: documentos, audio libros, libros digitales y bases de datos que cubren diferentes áreas, niveles de investigación e instituciones: escuelas, bibliotecas públicas, universidades, entidades de salud, corporaciones y agencias gubernamentales.

ENVIRONMENT INDEX: Base de datos especializada; 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 ACADEMICA PREMIER: Esta base de datos proporciona una colección de revistas científicas de América Latina, Portugal y España; cubre todas las áreas temáticas con especial énfasis en agricultura, ciencias biológicas, economía, historia, derecho, literatura, filosofía, psicología, administración pública, religión y sociología.

INDEXACIONES



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.

INDEXACIONES

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. ProQuest proporciona servicios en el ámbito académico, empresarial, gubernamental, bibliotecas escolares y públicas, así como servicios a los investigadores profesionales, que les permiten la adquisición estratégica, gestión y búsqueda de colecciones de información.

Actualmente RIAA es visible en las bases de datos: ProQuest Agricultural Science Collection, ProQuest SciTech Collection y ProQuest Natural Science Collection.



ProQuest Agricultural Science Collection: Proporciona una amplia cobertura de todos los temas de agricultura y es apoyada por la Biblioteca Agrícola Nacional de EE.UU. La interfaz aporta características avanzadas y herramientas que permiten a los investigadores más precisión en las revisiones de literatura especializada y adaptada a su área del estudio.

ProQuest SciTech Collection: Combina una serie de bases de datos especializadas en Ciencias Naturales, Tecnología e Ingeniería en una interfaz dinámica que permite acceso a texto completo mediante una búsqueda integral a través de amplios resúmenes gestionados por equipos editoriales de expertos.

ProQuest Natural Science Collection: Proporciona una vasta cobertura de literatura en el ámbito de: Agricultura, Biología, Geología, Ciencias de la Tierra y Ciencias Ambientales. Ofrece acceso a texto completo de fuentes que incluyen: publicaciones académicas, revistas profesionales, informes, libros, actas de conferencias y material de relevancia.



Latinindex es un sistema de Información sobre las revistas de investigación científica, técnico-profesionales y de divulgación científica y cultural que se editan en los países de América Latina, el Caribe, España y Portugal. La idea de creación de Latinindex surgió en 1995 en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y se convirtió en una red de cooperación regional a partir de 1997.



La Plataforma Open Access de Revistas Científicas Electrónicas Españolas y Latinoamericanas **e-Revistas**, es un proyecto impulsado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con el fin de contribuir a la difusión y visibilidad de las revistas científicas publicadas en América Latina, Caribe, España y Portugal.

INDEXACIONES



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 OAster, 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.

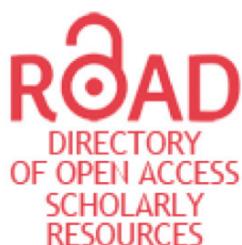


BASE es uno de los motores de búsqueda más voluminosos del mundo, especialmente para recursos web académicos. BASE proporciona más de 120 millones de documentos de más de 6,000 fuentes. Puede acceder a los textos completos de aproximadamente el 60% de los documentos indexados de forma gratuita (Acceso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

INDEXACIONES



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



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).



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

ÍNDICE

Editorial

Gerardo Ojeda Castro

13

Área Agrícola

Desempeño ecofisiológico de café (*Coffea Arabica L.*) Cv. Castillo a la sombra en San Juan de Rioseco, Colombia

*Ecophysiological performance of coffee (*Coffea Arabica L.*) Cv. Castillo at shade in San Juan de Rioseco, Colombia*

Piedad Cecilia Zapata Arango y Hernán Jair Andrade Castañeda

15

Nuevas Arvenses Hospederas de Begomovirus Colectadas en Cultivos de Tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) en Cundinamarca

*New weeds hosts of begomoviruses collected in tomato crops (*Solanum Lycopersicum*) in Cundinamarca*

Juan Carlos Vaca-Vaca, Diana Marcela Rivera-Toro, Jonathan Morales-Euse, Frenyiline Jara-Tejada y Karina López-López

29

Efecto de dos sistemas de riego sobre la producción y uso eficiente del agua en el cultivo de papa variedad diacol capiro

Effect of two irrigation systems on production and efficient use of water in potato crop diacol capiro variety

Juan Carlos Guerrero Guio, Marco Cabezas Gutiérrez y Jesús Hernando Galvis Quintero

41

Uso de los recursos de la biodiversidad: estudio de caso de la oleorresina de copaiba (*copaifera spp.*) En la medicina tradicional en el departamento del meta - colombia

*Use of biodiversity resources: case study of copaiba oleorresina (*copaifera spp.*) In traditional medicine in the meta department - colombia*

Luis Camilo Toro Chacon, Nicolás Rafael Francisco Robles Valderrama, Daniel Fernando Trigos Aguilera, Juan Manuel Trujillo González, Marco Aurelio Torres Mora

53

Flora vascular y vivienda de interés social en Villavicencio: conflictos con la conservación de la biodiversidad

Vascular flora and social interest urbanization in Villavicencio: conflicts with the biodiversity conservation

Castro-Arguello G.S., Cruz-Fernández J. y Ortiz-Moreno M.L.

65

ÍNDICE

Área Ambiental

Tratabilidad de los lixiviados del relleno sanitario los corazones de la ciudad de Valledupar mediante el uso de carbón activado

*Treatability of the lixiviates of sanitary filling the hearts
of the city of valledupar through the use of activated carbon*

Omar Enrique Trujillo Romero, Omar Enrique Trujillo Varilla, Andrés
Quintero Tovar y Julio Vega Suarez

77

Pronóstico del caudal del Río Cravo Dur, sector del Morro – puente la Cabuya, departamento de Casanare, Colombia

*Flow forecast of the Cravo sur River, sector of el Morro -
la Cabuya bridge, Casanare department, Colombia*

Linson Javier Higuera Infante y William Rojas Vergara

91

Evaluación de coagulantes naturales en la clarificación de aguas

Evaluation of natural coagulants in water clarification

Sebastian Barreto Pardo, Diana Karina Vargas Moncada, Lida Ruiz Martínez
y Sandra Liliana Gómez Ayala

105

4-Nonilfenol: efectos, cuantificación y métodos de remoción en aguas superficiales y potables

*4-Nonylphenol: effects, quantification and methods
of removal in superficial and drinking water*

Gloria M. Doria, Gustavo Peñuela Meza y Gloria Cristina Valencia

117

El saneamiento predial y su validación desde la actuación de diversos actores implicados en la dinámica territorial de los humedales de la ciudad de Bogotá-Colombia

*Property sanitation and its validation through the actions
of various players involved in the territorial dynamics
of the wetlands of the city of Bogotá, Colombia*

Gina Paola González Angarita, Valeria Toro Casas y Elkin Oswaldo Dorado Castillo

133

Instrucciones para los Autores

147

EDITORIAL

Estimados lectores

Desde su fundación en 2009, la revista ha evolucionado positivamente hasta lograr una posición destacada entre las revistas colombianas de investigación. Durante los últimos años, las profesoras Gloria María Doria y Margarita Bonilla y su equipo editorial, han sido los encargados de trabajar arduamente en los contenidos editoriales de la revista, con grandes logros en su haber. La valoración de la revista, desde el punto de la cantidad de citas que han recibido sus artículos científicos, pasó de un índice H de 7 en el año 2016 al actual índice H de 15, según su perfil académico en el portal Google Académico. Sin duda, el arduo trabajo del comité editorial de la revista ha visto los frutos de su labor. A partir de este año de 2020, la directora de la revista, Gloria Doria, me ha recomendado la misión de seguir su legado al frente de la revista. Agradezco inmensamente esta oportunidad y espero no decepcionar al público y a nuestros lectores.

Actualmente, bajo las condiciones de cambio climático imperantes, hemos visto como un leve aumento de la temperatura media global, nos ha traído como consecuencia una serie de incendios forestales a lo largo de la franja planetaria comprendida entre Brasil – Bolivia, África y Australia. Las cantidades de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero emitidos durante estos fenómenos, no contabilizadas previamente en los modelos predictivos modernos, nos hacen pensar que es necesario que los esfuerzos por mitigar estas emisiones deban ser mucho más grandes que los anteriormente presupuestados. Bajo estas condiciones es que la revista deberá desarrollar sus contenidos en los próximos años. En consecuencia, temas como la degradación medio ambiental, la restauración de ecosistemas, la educación ambiental, el uso de energías alternativas y todos aquellos temas que promuevan la manutención y conservación de nuestros recursos agrarios y ambientales, serán de gran interés divulgativo.

Esperamos seguir ofreciendo a nuestros lectores unos contenidos relevantes para el desarrollo de su vida profesional, investigativa y académica, capaces de promover los cambios que tanto necesitamos para poder cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), previstos en las agendas de los distintos gobiernos que han aceptado sus lineamientos. Así mismo, esperamos que el presente número sea del agrado de todos.

Saludos cordiales,

Gerardo Ojeda
Director Editor

DESEMPEÑO ECOFISIOLÓGICO DE CAFÉ (*COFFEA ARABICA L.*) CV. CASTILLO A LA SOMBRA EN SAN JUAN DE RIOSECO, COLOMBIA

*ECOPHYSIOLOGIC PERFORMANCE OF COFFEE
(*COFFEA ARABICA L.*) CV. CASTILLO AT SHADE
IN SAN JUAN DE RIOSECO, COLOMBIA*

¹ Hernán J. Andrade; ² Piedad Cecilia Zapata Arango

¹ M. Sc. Agroforestería Tropical, The Nature Conservancy, Bogotá, Colombia.

Grupo de Investigación PROECUT, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima;

² Ph.D. Agroforestería Tropical, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. The Nature Conservancy.

Grupo de Investigación en Producción Agrícola Sostenible- Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

¹ hjandrade@ut.edu.co; ² piedad.zapata@tnc.org

Resumen

La disminución de la radiación disponible, debido a la sombra, modifica las condiciones microclimáticas para el cultivo asociado. Esta modificación es clave para diseñar y manejar sistemas agroforestales. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de nivel de sombra en el comportamiento ecofisiológico de cafetos (*Coffea arabica L.*) en San Juan de Rioseco, Cundinamarca, Colombia. Se empleó un diseño experimental aleatorizado con tres tratamientos (sombra baja, media y alta), estimados con fotografías al dosel y *Gap Light Analyzer*, y cinco repeticiones dadas por los cafetales. En cada cafetal se estableció una parcela de muestreo de 20 x 50 m, en donde se seleccionaron tres plantas para medir la sombra, la radiación fotosintéticamente activa incidente, la conductancia estomática, la asimilación neta de CO₂, la transpiración, el déficit de presión de vapor, la eficiencia en el uso

del agua y la concentración de C subestomática con un Sistema de Fotosíntesis Portable - CIRAS 3. La asimilación mayor se registró en cafetos con sombra baja (0-30%) al medio día, lo que coincidió con la conductancia estomática mayor y el déficit de presión de vapor menor; los valores menores se registraron con alto sombrío (66-75%) en la tarde. La asimilación de C se reduce de 44 a 61%, y la eficiencia en el uso del agua de 41 a 56% con un incremento de la sombra de bajo a medio y alto, respectivamente. El intervalo óptimo de radiación para los cafetos fue de 42 a 380 µmol m⁻² s⁻¹, lo cual se encuentra con una sombra entre 20 y 30% en estas condiciones. Este nivel de sombra es el recomendado en los cafetales en San Juan de Rioseco.

Palabras clave: asimilación de CO₂, conductancia estomática, curva de radiación, eficiencia uso de agua, sistemas agroforestales.

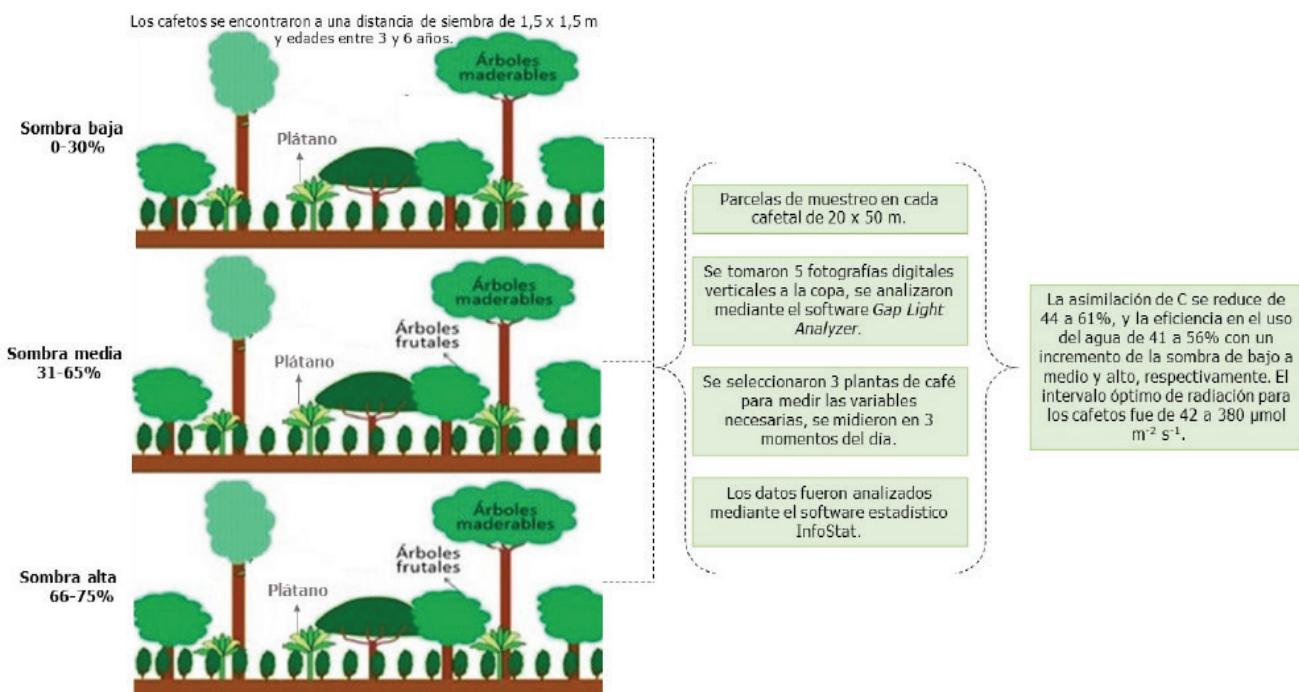
Abstract

The reduction of available radiation, by shade, modifies microclimatic conditions for associated crops. This modification is a key for the design and management of agroforestry systems. The objective of this study was to evaluate the effect of the shade level on the behaviour of coffee bushes (*Coffea arabica L.*) in San Juan de Rioseco, Cundinamarca, Colombia. A completely randomized design with three treatments (low, medium and high shade), estimated with photographies to canopy and *Gap Light Analyzer*, and five replications represented in coffee plantations. It was established a sampling plot of 20×50 m in each coffee plantation, where three plants were selected to measure shade, photosynthetically active radiation, stomatal conductance, net assimilation of CO_2 , transpiration, vapour pressure deficit, water use efficiency and substomatal CO_2 concentration with a portable

photosynthesis system - CIRAS 3. The greatest net assimilation was recorded in coffee bushes with low shade (0-30%) at noon, which coincides with the highest stomatal conductance and the lowest vapour pressure deficit. The lowest values of net assimilation were reached with high shade (66-75%) in the afternoon. The CO_2 assimilation is reduced from 44 to 61%, and the water use efficiency from 41 to 56% with an increase of shade from low to medium and high levels, respectively. The optimum range for coffee bushes was between 42 and $380 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, which is between 20 and 30% of shade in these conditions. This shade level is the recommended for coffee plantations in San Juan de Rioseco.

Keywords: Assimilation of CO_2 , stomatal conductance, curve of radiation, water use efficiency, agroforestry systems.

Resumen gráfico



Introducción

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los productos más importantes para países en desarrollo de África, Asia y América Latina, por su contribución económica, social y ambiental. Se calcula que la producción mundial de café, entre el 2013 y 2014, fue de 146,8 millones de sacos y América del Sur contribuyó con el 46%. La producción cafetera en Colombia se recuperó después de varios años, con un ascenso del 22% y una producción de 12,1 millones de sacos (International Coffee Organization, 2016). El café es uno de los productos más importantes de la economía en este país, ya que de él derivan su sustento aproximadamente 500 mil familias y, en el 2015, habían 940.900 hectáreas de este producto sembradas en el 2015, 40% de ellas con sombrío (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2016).

A pesar de la enorme importancia de este sistema de producción, el cambio climático le representa una amenaza, ya que la elevación del CO₂ causa un incremento en la temperatura y altera la precipitación, lo cual impactará el comportamiento fisiológico en las zonas de producción (Damatta *et al.*, 2010; Laderach *et al.*, 2010). Los sistemas agroforestales (SAF) juegan un papel importante en la mitigación y adaptación al cambio climático, al combinar los cultivos y especies leñosas perennes, siendo la plasticidad de las plantas fundamental para su adaptación (Calfapietra *et al.*, 2010; Gratiani, 2014).

La fotosíntesis es fuertemente afectada por factores ambientales como la radiación fotosintéticamente activa incidente, la disponibilidad de agua, la temperatura, la humedad relativa y el nivel ambiental de CO₂ (Taiz y Zeiger, 2006; Castilla, 2013; Martins *et al.*, 2014). El comportamiento ecofisiológico de las plantas se puede estudiar con las curvas de luz, siendo el punto de compensación

aquel donde la incorporación de CO₂ en la fotosíntesis es igual a la liberación de CO₂ en la respiración; mientras que en el punto de saturación no hay un aumento en la incorporación de CO₂ a pesar del incremento de la radiación. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de nivel de sombra en el comportamiento ecofisiológico de cafetos (*Coffea arabica* L.) en San Juan de Rioseco, Cundinamarca, Colombia. Los resultados son importantes para el diseño y manejo de SAF con café, principalmente en términos de sombrío y permitirán que los productores logren sistemas ganar-ganar, que permitan incrementar la producción y ofrecer servicios ambientales (Andrade *et al.*, 2014).

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de San Juan de Rioseco, departamento de Cundinamarca, Colombia (4°50'55" N, 74°37'14" O, altitud promedio de 1303 m, temperatura media anual de 21 °C, precipitación promedio de 1.313 mm año⁻¹ y humedad relativa promedio de 68%). En el municipio ocurren dos estaciones lluviosas, la primera, desde comienzos de abril hasta finales de junio y, la segunda, de septiembre a noviembre. Los suelos del área tienen contenido bajo de materia orgánica (2,3 – 4,9%), pendientes pronunciadas (25-50%), susceptibilidad alta a la erosión, poca profundidad y drenaje y baja capacidad de retención de humedad. La economía del municipio se basa principalmente en la caficultura y la ganadería bovina, ya que las estadísticas del 2013 señalaban la existencia de 13.494 ha de cultivos permanentes, de los cuales el café representaba el 47% (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2016).

Unidades de muestreo

Se evaluaron cinco sistemas de producción de café por cada nivel de sombrío: bajo (SB) de 0 a 30%, medio (SM) de 31 a 65% y alto (SA) entre 66 y 75%. La sombra en cada cafetal se estimó en una parcela de muestreo de 20 × 50 m donde se tomaron cinco fotografías digitales verticales a la copa, empleando un lente plano a una altura de 1,5 m (arriba de los cafetos). Estas fotografías fueron analizadas con el software libre *Gap Light Analyzer - GLA* (Frazer et al., 1999).

Los lotes seleccionados tenían una distancia de siembra de café cv. Castillo de 1,5 × 1,5 m y edades entre tres y seis años. Los sitios de muestreo se encontraban a una altitud de entre 1.322 a 1.741 m con fincas que empleaban fertilización inorgánica y estaban en textura franco-arcillosa, pH entre 4,8 y 5,0 y pendientes de 25 a 50%.

Los cafetales con sombrío bajo tuvieron una abundancia de 320 pseudotallos ha^{-1} de plátano y 56 árboles ha^{-1} agrupados en 10 especies, siendo *Inga edulis*, *Cordia alliodora* y *Crescentia cujete* las más abundantes. Los árboles tuvieron en promedio un diámetro a la altura del pecho (dap) de 23,5 cm y altura total de 8,8 m. En cafetales con sombra media, el dosel de sombra estuvo conformado por 166 árboles ha^{-1} de 15 especies, siendo *I. edulis* (con 62 individuos ha^{-1}) la especie más representativa, seguida de *Citrus sinensis*, *C. alliodora* y *C. cujete* y 272 seudotallos de plátano ha^{-1} . Los árboles registraron un dap promedio de 20,7 cm y una altura total de 9,3 m. Los SAF con sombrío alto tenían una abundancia de 142 árboles ha^{-1} representados en 11 especies y 706 seudotallos de plátano (*Musa AAB*) ha^{-1} . En este nivel de sombra, *I. edulis* fue la especie más abundante con 40 individuos ha^{-1} , seguida de *C. sinensis*, *Tabebuia rosea* y *C. alliodora*. Los árboles registraron un dap promedio de 22,9 cm y una altura total de 9,5 m.

Evaluaciones ecofisiológicas

En cada parcela de muestreo se seleccionaron tres plantas de café representativas del sistema de producción y en cada planta se escogió una hoja sana por estrato (bajo, medio y alto) del cuarto par a partir del ápice de la rama hacia el tallo. Se seleccionaron ramas con orientación al norte, buscando reducir la variabilidad espacial y temporal. Se monitoreó la radiación incidente (RAFAi) (tomado como el flujo fotosintético de fotones), la conductancia estomática (Gs), la asimilación neta de CO_2 (A), la transpiración (T), el déficit de presión de vapor (DPV), la eficiencia en el uso del agua (EUA), la concentración de carbono subestomática (Ci) y la humedad relativa con un Sistema de Fotosíntesis Portable – CIRAS-3 Portable Photosynthesis System (PP Systems Inc., Amesbury, MA, USA) y una cubeta de hoja universal PCL-3 que incluye un analizador infrarrojo de gases CO_2/H_2O . Se realizó una medición en diciembre de 2014 en tres momentos del día: entre las 9 y 10 am, 12 m a 1 pm y 3 a 4 pm, luego de estabilizar el equipo al lograr un diferencial de CO_2 de $0 \pm 0,5$ mb.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con un modelo mixto lineal generalizado - GLMM en InfoStat que utiliza la interfase de la plataforma R, debido a su falta de normalidad en su distribución. El nivel de sombrío, la hora de medición y su interacción se consideraron como efectos fijos; mientras que el sitio y la planta se incluyeron como efectos aleatorios. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos (sombra baja, media y alta), y cinco repeticiones dados por los cafetales.

Con una curva de regresión lineal elaborada con transformaciones logarítmicas que explican la A en función de la RAFAi se estimó el punto de compensación de radiación cuando la A tuvo valor de 0 y el punto de saturación

lumínica cuando la pendiente de la curva fue 0. La selección del modelo se llevó a cabo empleando los criterios de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) y las pruebas de razón de verosimilitud (LRT). El mejor modelo fue el que presentó los menores valores de AIC y BIC. En los casos en que se rechazó la hipótesis de igualdad de tratamientos, se utilizó la prueba de comparación de medias LSD de Fisher con una significancia de 0,05 y 0,01. Adicionalmente, se estudió la relación entre las variables ecofisiológicas de los cafetos y el nivel de sombrío mediante un análisis de correlación de Pearson. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

Resultados y Discusión

Relaciones fotosintéticas en cafetos

Se detectó una interacción significativa en la RAFAi ($p < 0,01$) y en la Gs ($p = 0,05$) entre

el nivel de sombrío y la hora de la medición. La mayor RAFAi se presentó en cafetos con SB en la mañana, mientras que el menor valor fue registrado en SA en la mañana (Tabla 1). Sin embargo, en términos generales, la RAFAi fue estadísticamente mayor ($p < 0,01$) en la mañana, disminuyendo hacia el mediodía y en la tarde (195,5, 144,4 y 68,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente). La RAFAi fue significativamente superior ($p = 0,01$) en plantas de café sometidas a SB, que en aquellas que crecían en SM y SA (264,6, 85,9 y 57,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente). La Gs fue superior estadísticamente ($p > 0,05$) independientemente del nivel de sombrío en la mañana y al mediodía que en la tarde: 247,1 vs 235,3 vs 157,9 $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. La Gs se afectó ligeramente por la sombra ($p = 0,03$; $r = -0,11$; Tabla 2; Figura 1). Por efecto de densidad de leñosas perennes y musáceas, la RAFAi se redujo en este estudio un 68 y 78% al pasar de niveles de sombra de 22% a 58 y 72% respectivamente.

Tabla 1. Comportamiento ecofisiológico de café (*Coffea arabica* L) cv. Castillo con tres niveles de sombra y en tres momentos del día en SAF en San Juan de Ríoseco, Cundinamarca, Colombia.

Hora/ nivel de sombra	Radiación incidente (μmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}$ s^{-1})	Concentración de carbono subestomático ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Tasa de asimilación neta de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Tasa de transpiración ($\mu\text{mol H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Déficit de presión de vapor (kPa)	Eficiencia en el uso del agua (μmol $\text{CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ H_2O)
MAÑANA							
Alto	44,1±15,3 ^f	242,9±32,0 ^{abc}	340,8±7,6 ^a	2,9±0,7 ^d	4,0±0,3 ^{abc}	1,9±0,2 ^{ab}	0,8±0,2 ^{ef}
Medio	114,6±17,9 ^c	247,9±31,6 ^{abc}	319,7 ±7,0 ^b	5,6±0,7 ^{bc}	4,1±0,3 ^{ab}	1,9±0,2 ^{ab}	1,4±0,2 ^{de}
Bajo	427,9±43,0 ^a	251,5±32,2 ^b	268,1±7,9 ^c	10,8±0,9 ^a	4,6±0,3 ^a	2,2±0,2 ^a	2,1±0,2 ^b
MEDIO DÍA							
Alto	71,7±15,6 ^{cde}	210,6±32,0 ^{abc}	334,1 ±7,6 ^{ab}	3,4±0,7 ^d	3,4±0,3 ^{bcd}	1,7±0,2 ^{ab}	1,1±0,2 ^{def}
Medio	92,2±16,5 ^{cd}	222,2±31,6 ^{abc}	316,1 ± 7,0 ^b	6,6±0,7 ^b	3,4±0,3 ^{cd}	1,6±0,2 ^b	1,8±0,2 ^{bc}
Bajo	269,3±23,8 ^b	272,9±32,2 ^a	278,1± 7,9 ^c	11,7±0,9 ^a	3,9±0,3 ^{bc}	1,5±0,2 ^b	3,1±0,2 ^a

Continuación tabla 1

Hora/ nivel de sombra	Radiación incidente (μmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}$ s^{-1})	Concentración de carbono subestomático ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Tasa de asimilación neta de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Tasa de transpiración ($\mu\text{mol H}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Déficit de presión de vapor (kPa)	Eficiencia en el uso del agua (μmol $^1 \text{CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ H_2O)
TARDE							
Alto	57,1±14,9 ^{de}	122,5±032,0 ^d	329,6 ±7,6 ^{ab}	3,3± 0,7 ^d	2,1±0,3 ^e	2,0±0,2 ^{ab}	1,1±0,2 ^{def}
Medio	51,1±15,4 ^{ef}	180,6±31,6 ^{bcd}	341,2 ± 7,0 ^a	2,3±0,7 ^d	2,9±0,3 ^{de}	2,0±0,2 ^a	0,8±0,2 ^f
Bajo	96,6±16,5 ^{cd}	170,7±32,2 ^{cd}	327,2±7,9 ^{ab}	3,8±0,9 ^{cd}	2,9±0,3 ^{de}	1,8±0,2 ^{ab}	1,5±0,2 ^{cd}

Valores corresponden a media ± error estándar. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas ($p<0,05$).

Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson entre la sombra y variables ecofisiológicas de cafetos (*Coffea arabica L.*) cv. Castillo en SAF en San Juan de Ríoseco, Cundinamarca, Colombia.

	Sombra	Radiación incidente	Conductan- cia estomá- tica	Tasa de asimila- ción de CO_2	Tasa de transpira- ción	Déficit de presión de vapor	Eficiencia de uso de agua	Concen- tración de carbono subestomá- tico	Humedad relativa
Sombra		< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	0,36	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Radiación incidente	-0,36	-	0,68	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,92
Conductancia estomática	-0,11	0,02	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,46	< 0,01
Tasa de asimilación de CO_2	-0,44	0,46	0,57	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tasa de transpiración	-0,22	0,34	0,78	0,60	-	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Déficit de presión de vapor	-0,05	0,48	-0,60	-0,19	-0,12	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Eficiencia en el uso del agua	-0,42	0,34	0,25	0,83	0,17	-0,20	-	< 0,01	< 0,01
Concentración de carbono subestomático	0,42	-0,62	-0,04	-0,75	-0,23	-0,28	-0,85	-	0,17
Humedad relativa	-0,20	0,01	0,72	0,50	0,38	-0,82	0,45	-0,07	-

El triángulo inferior corresponde a los coeficientes de correlación de Pearson y el triángulo superior se refiere a su nivel de significancia.

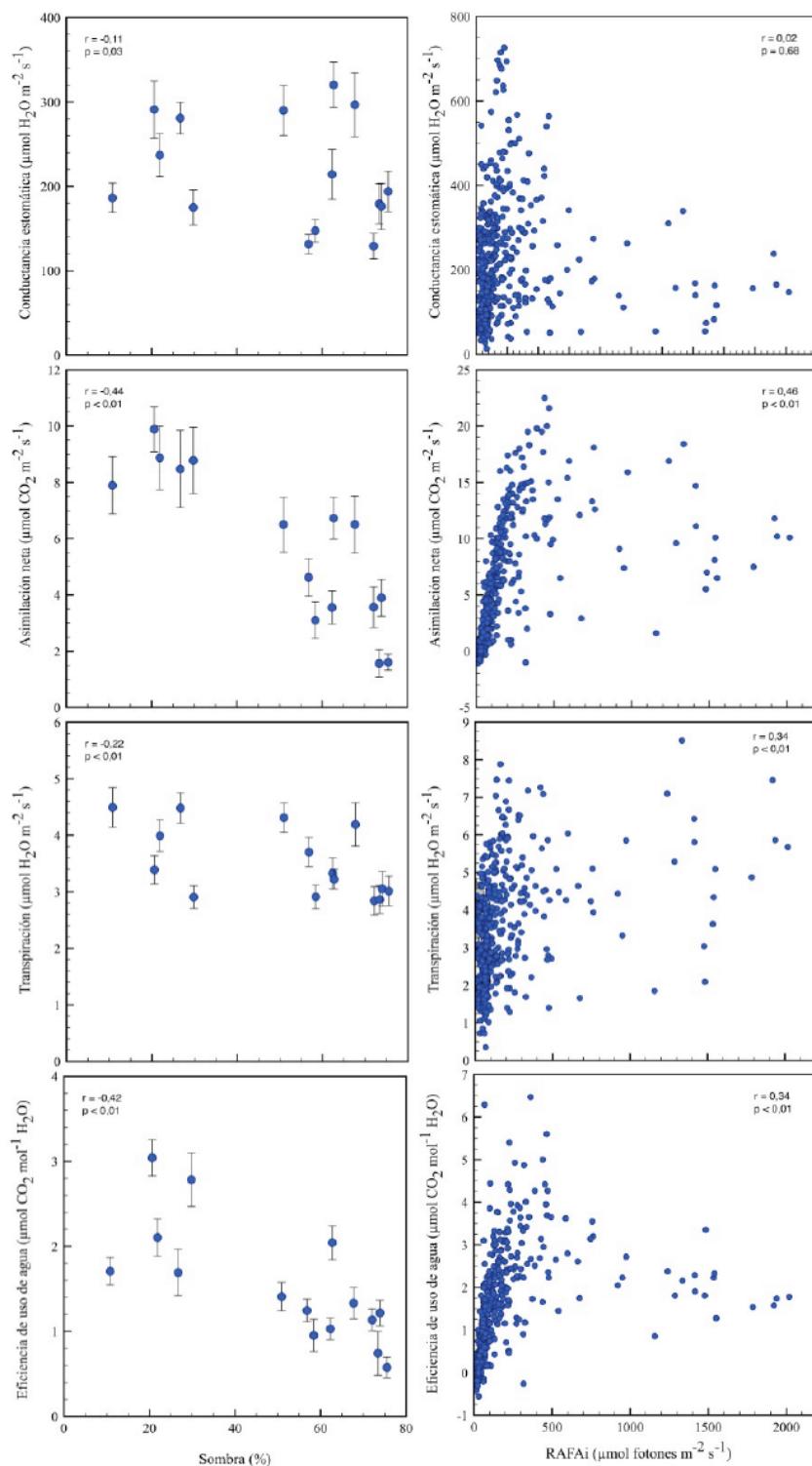


Figura 1. Relación entre el porcentaje de sombra y la radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFAi) (dado como el flujo fotosintético de fotones) y variables ecofisiológicas de cafeto (*Coffea arabica* L.) cv. Castillo en SAF en San Juan de Rioseco, Cundinamarca, Colombia. Las barras de error corresponden a error estándar de la media.

Fuente: Autores.

En San Juan de Rioseco, la densidad de plátano fue determinante en la sombra y RA-FAi para los cafetos, lo que se convierte en un factor clave para el diseño y manejo de los SAF con café. La relevancia de la sombra generada por este tipo de plantas radica en que son sombras "densas o lentas" ya que, debido a la baja altura de la base de la copa, la sombra cubre poca área de suelo y se "mueve" lentamente a lo largo del día (Somarriba, 2004). La RAFAi varió a lo largo del día probablemente por cambios en la nubosidad, la orientación del cafetal y del terreno y la inclinación (declinación y azimut) de los rayos solares sobre la superficie. La mayor Gs se registró en las primeras horas del día y disminuyó progresivamente a lo largo del día, coincidiendo con otras investigaciones (López, 2004; Chaves *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2012). Estos mismos autores también encontraron una correlación inversa entre Gs y DVP.

La A fue estadísticamente superior ($p < 0,01$) al medio día y en la mañana en SB, que en la tarde en SA y SM (Tabla 1). El sombrío, independiente del momento del día, presentó diferencias significativas ($p < 0,01$) en la A, donde cafetos en SAF con SA y SM fueron estadísticamente iguales ($p > 0,05$) pero menores a lo registrado en SB: 3,2 y 4,8 vs 8,8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Se encontró una relación cuadrática entre la sombra y la A (Tabla 2; Figuras 1 y 2); mientras que se presentó una correlación directa y significativa entre Gs y A ($p < 0,01$; $r = 0,57$; Tabla 2). En los días de medición, la temperatura ambiental no fue un determinante de la A, ya que se presentaron promedios de 22,3 °C, siendo la temperatura elevada (de 30 a 35 °C) la que provoca el cierre de estomas (Taiz y Zeiger, 2006). En términos generales, se estimó que la A en cafetales sin sombra llegaría a 8,6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; mientras que la tasa máxima A se alcanzaría con cerca de un 20% de sombra, hasta llegar a mínimos valores de A con sombras muy altas (> 70%) (Figura 2).

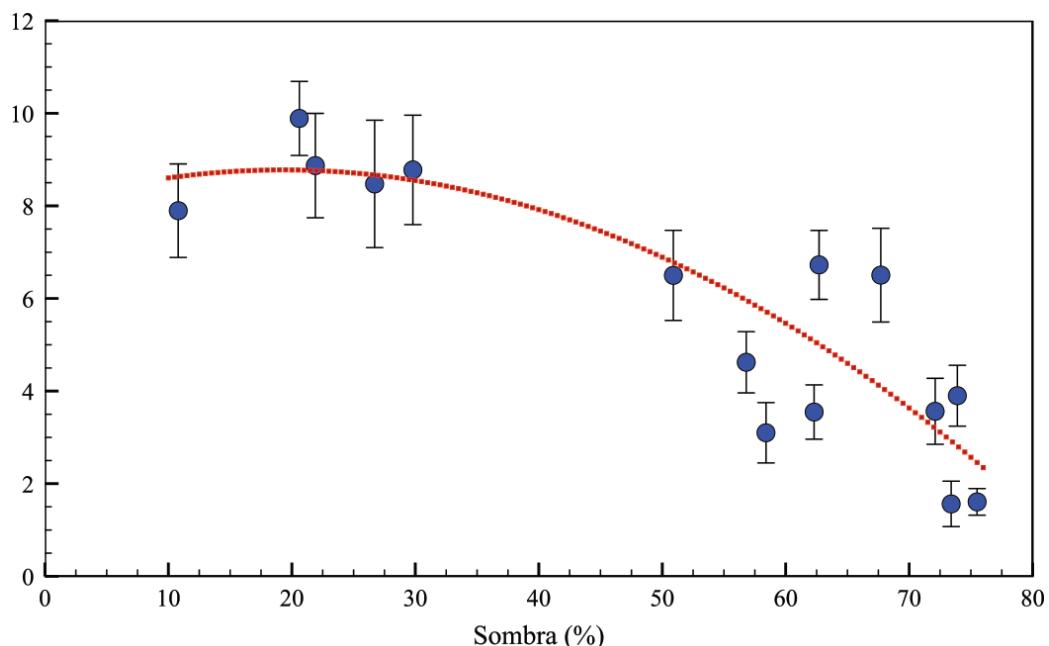


Figura 2. Relación entre la sombra en la asimilación neta de CO_2 (A) de cafetos (*Coffea arabica L.*) cv. Castillo en sistemas agroforestales en San Juan de Ríoseco, Cundinamarca, Colombia.

Fuente: Autores.

Aunque se encontró un coeficiente de determinación bajo ($R^2 = 0,57$), se observa la tendencia de la A en función de la RAFAi. El punto de compensación de radiación para los cafetos se estimó en $42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; mientras que el punto de saturación de esta variable

microclimática se alcanzó a los $\sim 380 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 3); SAF que suministren RAFAi inferior a este rango se reduce la productividad primaria neta de los cafetos, ya que arrojaría valores negativos, lo que implica una pérdida de asimilados producto de la fotosíntesis.

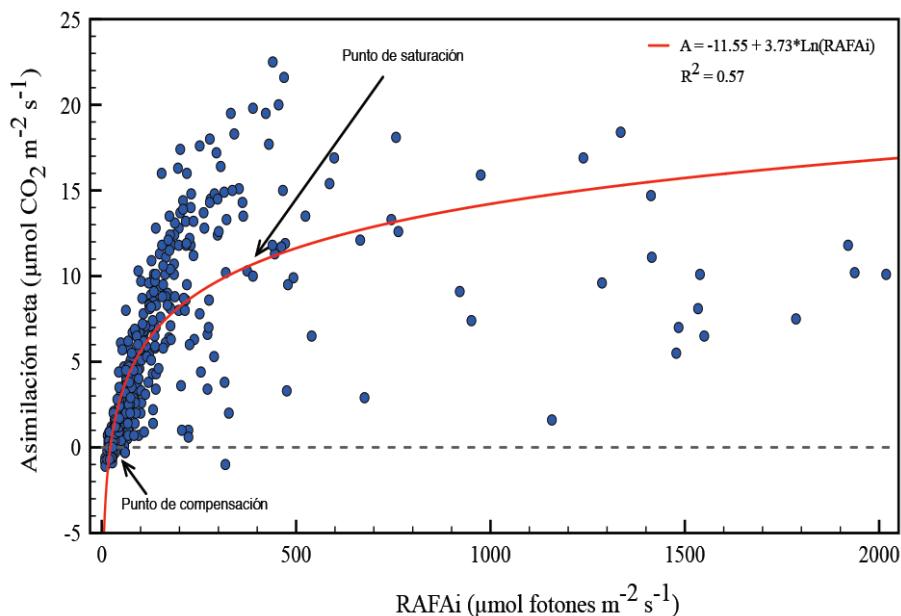


Figura 3. Curva de radiación (relación entre asimilación neta de CO_2 -A- y radiación fotosintéticamente activa incidente -RAFAi) en cafetos (*Coffea arabica* L.) cv. Castillo en SAF en San Juan de Ríoseco, Cundinamarca, Colombia.

Fuente: Autores.

Se encontró una interacción estadística ($p < 0,01$) para la Ci entre el nivel de sombrío y la hora del día, siendo esta variable mayor en SAF con SM en la tarde y SA en la mañana y menor en SB al medio día y en la mañana (Tabla 1). Independiente del nivel de sombrío, se presentaron diferencias significativas ($p < 0,01$) en la Ci entre horas del día, encontrándose los mayores valores en la tarde comparado a la mañana y medio día ($332,6$ vs $309,5$ y $309,4 \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente). El nivel de sombrío afectó estadísticamente ($p < 0,01$) la Ci, siendo mayor en SA que en SM y SB ($334,8$ vs $325,7$ y $291,1 \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente).

Los altos valores de Gs y A en SB al medio día y en la mañana están relacionadas con bajas Ci en esta investigación, esto coincide con lo propuesto por Taiz y Zeiger (2006) quienes afirman que las bajas concentraciones de CO_2 en las hojas ocasionan apertura estomática para satisfacer sus necesidades de insumos para fotosíntesis. Las menores tasas de A encontradas en SAF con sombras altas y medias se deberían a los niveles muy bajos de RAFAi, esto indica que esta variable es probablemente la interacción biofísica más importante en SAF (Andrade *et al.*, 2014).

En *C. arabica* cv. Caturra cultivada en el Valle de Orosí en Costa Rica, Franck y Vaast (2009) encontraron que la asimilación de CO_2 se limitó fuertemente al pasar de 5,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en sistemas a pleno sol a 2,7 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en aquellos con 19% de RAFAi; mientras que Morais *et al.* (2012) registraron tasas de asimilación de 5,9 a 8,8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en café robusta (*C. canephora*) en Brasil, estos últimos iguales a los presentados en SAF de SB en esta investigación. En contraste, estudios en *C. arabica* L. cv Catucaí y plantas de *C. arabica* cv. Colombia a libre exposición arrojaron tasas de asimilación menores a 5,0 y de 4,1 a 5,0 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente (Araujo *et al.*, 2008; Baliza *et al.*, 2012), las cuales resultaron similares a lo registrado en SAF con SM y SA.

Los puntos de compensación y saturación de radiación estimados en el presente estudio contrastaron con los reportados por Rodríguez *et al.* (2012) para *C. canephora* (10,7 – 27,6 y 552 - 660 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente). Sin embargo, este comportamiento fisiológico depende de la especie y de la misma RAFAi, ya que el punto de compensación de luz es mayor en las hojas expuestas al sol y plantas heliófilas que en las láminas foliares sombreadas y plantas umbrófilas (Taiz y Zeiger, 2006; Matos *et al.*, 2009). Este estudio encontró puntos de saturación de 100 a 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en cafetos en SAF con sombra media y alta, lo que coincide con Taiz y Zeiger (2006), quienes afirman que una planta umbrófila emplea hasta 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para la fotosíntesis y valores RAFAi superiores la podrían saturar, haciendo que los excedentes de energía luminosa deban ser disipados en forma de calor.

Comportamiento hídrico foliar en cafetos

Se presentó una interacción estadística ($p = 0,04$) en la T entre el nivel de sombrío y la hora del día, siendo mayor en plantas de SB en la

mañana y menor en aquellas de SA durante la tarde (Tabla 1). Sin importar el sombrío, en las horas del día se detectaron diferencias significativas ($p < 0,01$) en la T, siendo mayor en las mañanas, seguido del medio día y de la tarde (4,2 vs 3,6 vs 2,7 $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente). En contraste, el nivel de sombrío no afectó estadísticamente ($p = 0,27$) la T; sin embargo, esta variable ecofisiológica sí se relacionó con la Gs y la A ($p < 0,01$ y $r = 0,78$; $p < 0,01$ y $r = 0,60$; Figura 1).

El DVP y la EUA presentaron una interacción estadística ($p < 0,01$) entre el nivel de sombrío y la hora del día, ya que los cafetos en SAF con SB y SM alcanzaron los mayores valores en la mañana y en la tarde, reduciéndose drásticamente hasta alcanzar el mínimo al medio día en SM y SB (Tabla 1). Tal como se esperaba, el DVP en la mañana y tarde fueron significativamente ($p < 0,01$) mayores que al medio día (2,0 vs 1,6 kPa), pero esta variable no fue afectada por el nivel de sombrío ($p = 0,99$). Los cafetos que crecían en SAF con SB presentaron la mayor EUA al medio día, variable que fue reduciéndose hasta los mínimos obtenidos en SM en la tarde (Tabla 1).

Contrastando con la T, la EUA sí fue afectada estadísticamente ($p < 0,01$) por el nivel de sombrío, ya que los cafetos que crecían en SAF con SB fueron más eficientes en el uso del agua que aquellos bajo SM y SA (2,3 vs 1,3 y 1,0 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, respectivamente). De la misma forma, la EUA fue estadísticamente mayor ($p < 0,01$) a medio día que la mañana y la tarde (2,0 vs 1,5 vs 1,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, respectivamente). En este estudio, la tasa transpiracional en cafetos se redujo 9 – 17% al incrementarse la sombra, lo que es posible que sea causado por una menor Gs, más que a diferencias en el DPV (1,9 vs 1,8 kPa, respectivamente). Baliza *et al.* (2012) encontraron una menor transpiración en *C.*

arabica cv Catucaí en sombras altas (65 y 90%). La mayor humedad del aire en SAF con SB con respecto a SA y SM (66,3 vs 61,5 y 62,7%, respectivamente) podría influir en la apertura de los estomas y por ende, estimular la transpiración (Taiz y Zeiger, 2006). Sin embargo, el ahorro de agua en el presente estudio fue menor que en Chiapas, México, donde un sombrío mayor a 30% redujo en 32% la transpiración respecto a sistemas con poca sombra (Lin, 2010). La baja EUA de cafetos en media y alta sombra es un efecto esperado debido al bajo flujo fotosintético de fotones para la fase lumínica de la fotosíntesis, lo que reduce la asimilación neta de CO₂ (Taiz y Zeiger, 2006). Al respecto, Cavatte *et al.* (2012) mencionan que plantas cultivadas a pleno sol muestran una mejor EUA a largo plazo, especialmente en condiciones de sequía.

Conclusiones

Bajo las condiciones en que se realizó esta investigación, una sombra superior al 30% afectó negativamente, y de manera drástica, la eficiencia en el uso del agua y las tasas fotosintéticas de los cafetos por la reducción de la radiación disponible, la cual incide en el desempeño del aparato fotosintético. La máxima tasa de asimilación neta en estos cafetos se logró a una sombra de cerca del 20%.

Las plantas de café cv. Castillo presentan mayor adaptación a sombras de hasta 30%, ya que presentaron tasas de asimilación de CO₂ similares a otros cultivares en Colombia y Brasil a plena exposición solar.

Los cafetos en SAF en las condiciones del municipio de San Juan de Ríoseco pueden tolerar niveles de radiación fotosintéticamente activa incidente de entre 42 y 380 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En este rango de radiación, los cafetos presentan una productividad primaria neta positiva. Valores mayores al límite superior implican una

reducción del componente arbóreo y no mejoran considerablemente sus tasas de asimilación neta de los cafetos. La sombra ideal en este caso oscila entre 20 y 30%.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Departamento de Cundinamarca por el Sistema General de Regalías – Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación, mediante el Convenio 009, 2014, entre el Departamento de Cundinamarca y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, con la participación de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y la Corporación Latinoamericana Misión Rural.

A los 15 caficultores donde se realizó la investigación por el acceso a sus fincas, a Héctor Daniel Sandoval y William Cárdenas por su colaboración en la toma de datos. Se agradece la financiación del proyecto con recursos del departamento de Cundinamarca del Sistema General de Regalías - Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación, a través del Convenio 009 de 2014, suscrito entre el departamento de Cundinamarca y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, donde participaron, como aliados, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y la Corporación Latinoamericana Misión Rural.

Literatura citada

- Andrade, H.J., Marín, L.M., y Pachón, D.P. (2014). *Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (Coffea arabica L.) en el Líbano, Tolima, Colombia*. Bioagro, 26 (2), pp. 127-132.
- Araujo, W.L., Dias, P.C., Moraes, G.A., Celin, E.F., Cunha, R.L., Barros, R.S., y Damatta, F.M. (2008). *Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions*. Plant Physiology and Biochemistry, 46 (10), pp. 884-890.

- Baliza, D.P., Cunha, R.L., Guimarães, R.J., Barbosa, J.P., Ávila, F.W., and Passos, A.M. (2012). *Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels*. Revista Brasileira de Ciencias Agrarias, 7 (1), pp. 37-43.
- Calfapietra, C., Gielen, B., Karnosky, D., Ceulemans, R., y Scarascia, G. (2010). *Response and potential of agroforestry crops under global change*. Environmental Pollution, 158 (4), pp. 1095-1104.
- Castilla, N. (2013). *Greenhouse technology and management. 2nd Edition*. CABI Publishing. Boston, p. 360.
- Cavatte, P.C., Oliveira, A.A., Morais, L.E., Martins, S.C., Sanglard, L.M., y Damatta, F.M. (2012). *Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis*. Physiologia Plantarum, 144 (2), pp. 111-122.
- Chaves, A., Martins, S., Batista, K.D., Celin, E.F., y Damatta, F.M. (2012). *Varying leaf-to-fruit ratios affect branch growth and dieback, with little to no effect on photosynthesis, carbohydrate or mineral pools, in different canopy positions of field-grown coffee trees*. Environmental and Experimental Botany, 77, pp. 207-218.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2016). *Formulación del plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Magdalena (vertiente oriental del departamento de Cundinamarca)*. Recuperado de: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac6789272df3.pdf> (Consulta: noviembre de 2017).
- Damatta, F.M., Grandis, A., Arenque, B.C., y Buckeridge, M.S. (2010). *Impacts of climate changes on crop physiology and food quality*. Food Research International, 43 (7), pp. 1814-1823.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, E.M., y Robledo, C.W. (2016). *InfoStat, versión 2016*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2016). *Área cultivada con café según exposición solar por departamento*. Recuperado de: http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes_somos/119_estadisticas_históricas. (Consulta: diciembre de 2016).
- Franck, N., y Vaast, P. (2009). *Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels*. Trees, 23 (4), 761-769.
- Frazer, G.W., Canham, C.D., y Lertzman, K.P. (1999). *Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, user's manual and program documentation*. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York, p. 40.
- Gratiani, L. (2014). *Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors*. Advances in Botany, 2014, 1-17.
- International Coffee Organization (2016). *Anuario 2013-2014. Fortalecimiento del sector cafetero mundial mediante la cooperación internacional*. Recuperado de: <http://www.ico.org/documents/cy2014-15/annual-review-2013-14-electronic-c.pdf>. (Consulta: diciembre de 2016).
- Laderach, P., Lundy, M., Jarvis, A., Ramirez, J., Perez, E., Schepp, K., y Eitzinger, A. (2010). *Predicted impact of climate change on coffee-supply chains*. En: Leal Filho W, (Org.). *The Economic, Social and Political Elements of Climate Change*, pp. 703-723.
- Lin, B.B. (2010). *The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems*. Agricultural and Forest Meteorology, 150 (4), 510-518.
- López, J.C. (2004). *Comportamiento del intercambio gaseoso de Coffea arabica L. en tres altitudes de la zona cafetera central colombiana*. Cenicafé, 55 (3), pp. 202-212.
- Martins, S.C., Galmés, J., Cavatte, P.C., Pereira, L.F., Ventrella, M.C., y Damatta, F.M. (2014). *Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis*. Plos One, 9 (4), pp. 1-10.
- Matos, F.S., Wolfgramm, R., Gonçalves, F.V., Cavatte, P.C., Ventrella, M.C., y Damatta, F.M. (2009). *Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree*. Environmental and Experimental Botany, 67 (2), pp. 421-427.
- Morais, L.E., Cavatte, P.C., Detmann, K.C., Sanglard, L., Ronchi, C.P., y Damatta, F.M. (2012). *Source strength increases with the increasing precociousness of fruit maturation in field-grown clones of conilon coffee (*Coffea canephora*)*. Trees, 26 (4), pp. 1397-1402.

Rodríguez, N.F., Cavatte, P.C., Silva, P.E., Martins, S.C., Moraes, L.E., Medina, E.F., y Damatta, F.M. (2012). *Physiological and biochemical abilities of robusta coffee leaves for acclimation to cope with temporal changes in light availability*. *Physiologia Plantarum*, 149 (1), pp. 45-55.

Somarriba, E. (2004). *¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales?*. Agroforestería en las Américas, 41-42, pp. 120-128.

Taiz, L., y Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. 4th ed. Sunderland-Sinauer Associates. Massachusetts, p 764.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

NUEVAS ARVENSES HOSPEDERAS DE BEGOMOVIRUS COLECTADAS EN CULTIVOS DE TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM L.*) EN CUNDINAMARCA

**NEW WEEDS HOSTS OF BEGOMOVIRUSES COLLECTED IN TOMATO
CROPS (*SOLANUM LYCOPERSICUM*) IN CUNDINAMARCA**

**¹ Juan Carlos Vaca-Vaca
² Diana Marcela Rivera-Toro
³ Jonathan Morales-Euse
⁴ Frenyiline Jara-Tejada
⁵ Karina López-López**

^{1*} Doctor en Ciencias biotecnología de plantas.

^{2*} Estudiante magister en Ciencias biológicas.

^{3*} Estudiante magister en Ciencias agrarias.

^{4*} Magister en Ciencias biológicas.

^{5*} Doctora en Ciencias Biotecnología de plantas.

* Grupo IPMA Interacción Planta Microorganismo Ambiente,
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

¹ jcvacava@unal.edu.co

² dmriverat@unal.edu.co

³ jmoralesen@unal.edu.co

⁴ fjarat@unal.edu.co

⁵ klopez1@unal.edu.co

RESUMEN

Los begomovirus forman parte del grupo de virus emergentes que afectan cultivos de interés agrícola a nivel mundial. Las arvenses podrían constituirse en hospederos alternos de estos virus y constituir fuentes de inóculo. El objetivo de este trabajo fue detectar begomovirus bipartitas en arvenses recolectadas en cultivos de tomate en Cundinamarca, Colombia. Se recolectaron arvenses con y sin síntomas virales en cultivos de tomate localizados en los municipios

de Pasca y Fusagasugá, Cundinamarca. Se purificó el ADN genómico total de cada arvense y, para evidenciar la presencia de begomovirus, se realizó una reacción en cadena de la polimerasa con oligos específicos para detectar el componente genómico A viral. Se recolectaron 36 arvenses, de las cuales 22 especies fueron identificadas taxonómicamente. *Stellaria media* (L.) Vill., *Veronica persica* Poir, *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake, *Malva sylvestris* L. y

una especie de la familia Asteraceae resultaron positivas para begomovirus. Para las especies *Stellaria media* (L.) Vill. y *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake, constituyen el primer reporte a nivel mundial como hospederos de begomovirus. La especie *Veronica persica* Poir. se identifica como reservorio de begomovirus por primera vez en América Latina. Finalmente, la especie *Malva sylvestris* L. y una especie de la familia Asteraceae se reportan por primera vez como hospederos de begomovirus para Colombia. El control efectivo de las arvenses identificadas como hospederos para begomovirus es una estrategia efectiva para disminuir el impacto de esta familia de virus en los cultivos de tomate.

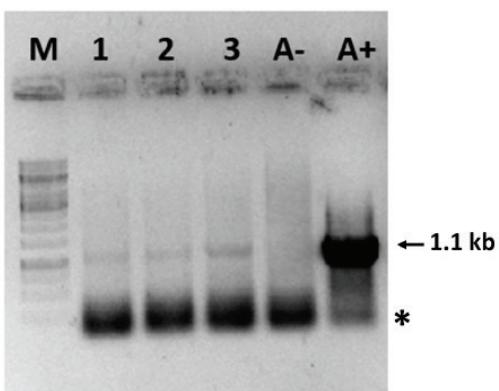
Palabras clave: Asteraceae; *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake.; geminivirus; malezas; *Malva sylvestris* L.; *Stellaria media* (L.) Vill.; *Veronica persica* Poir.

ABSTRACT

Begomoviruses are part of the group of emerging viruses that affect crops of agricultural interest worldwide. Weeds can easily become alternate hosts of these viruses and be a source of inoculum for them. The objective of this work was to detect bipartite begomoviruses present in weeds collected in tomato crop in Cundinamarca, Colombia. Weeds were collected with

and without viral symptoms in tomato crops located in the municipalities of Pasca and Fusagasugá, Cundinamarca. The total genomic DNA of each weed was purified and to demonstrate the presence of begomovirus a polymerase chain reaction was performed with specific oligos for detected the genomic component A viral. 36 weeds were collected, of which 22 species were identified taxonomically. *Stellaria media* (L.) Vill., *Veronica persica* Poir., *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake, *Malva sylvestris* L. and one species of the family Asteraceae were positive for bipartite begomoviruses. For the species *Stellaria media* (L.) Vill. and *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake, they constitute the first report worldwide as begomovirus hosts. The species *Veronica persica* Poir. is identified as a reservoir of begomovirus for the first time in Latin America. Finally, the species *Malva sylvestris* L. and a species of the family Asteraceae are reported for the first time as hosts of begomoviruses for Colombia. Effective control of weeds identified as hosts for begomoviruses is an effective strategy to reduce the impact of this virus family on tomato crops.

Key words: Asteraceae; *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake.; geminivirus; *Malva sylvestris* L.; *Stellaria media* (L.) Vill.; *Veronica persica* Poir.; weeds



Resumen gráfico. La arvense *Stellaria media* (L.) Vill. constituye el primer reporte a nivel mundial como hospederos de begomovirus. Detección de begomovirus por PCR.

INTRODUCCIÓN

El tomate es la hortaliza más cultivada y de mayor valor económico a nivel mundial (Meza et al., 2013). Bajo ciertas condiciones de humedad y temperatura, este cultivo suele verse afectado por patologías causadas por hongos, bacterias y virus, lo que disminuye la producción y la calidad, teniendo que recurrir a estrategias de control químico, biológico, cultural o genético para poder reducir las pérdidas que estos fitopatógenos puedan ocasionar (Tamayo y Jaramillo, 2013).

En cuanto a las enfermedades virales, la infección por virus en plantas es altamente diversa, la mayoría involucra patosistemas de tres componentes (virus, vector y hospedero), donde cada componente interactúa con el ambiente (Jones, 2014). Los begomovirus (Familia *Geminiviridae*) se caracterizan por tener uno o dos componentes genómicos de ADN circular de cadena sencilla, denominados ADN-A y ADN-B, cada uno con un tamaño entre 2.5 kb – 2.6 kb (Zerbini et al., 2017). Los begomovirus son transmitidos por mosca blanca: *Bemisia tabaci* (Gennadius), de manera circulatoria no propagativa, e incluye un grupo de virus que afectan plantas dicotiledóneas de importancia económica (Thompson, 2011).

Latinoamérica tiene la incidencia más alta y diversidad de virus del género *Begomovirus* en el mundo; por esto, estas regiones sufren las mayores pérdidas en cultivos de importancia económica (Fargette et al., 2006). Estudios previos han demostrado que, en Colombia, los virus pertenecientes a este género presentan un gran potencial patogénico. Por ejemplo, el virus del mosaico amarillo de la papa (*Potato Yellow Mosaic Virus - PYMV*) que afecta tomate y el virus de la distorsión de la hoja del maracuyá (*Passionfruit Leaf Distortion Virus - PLDV*) que afecta la maracuyá, ambos pertenecientes a este género y caracterizados en varias

investigaciones (Vaca-Vaca, Betancur-Perez y López-López, 2012; Vaca-Vaca, Carrasco-Lozano y López-López, 2018). Estos virus limitan severamente la producción de los cultivos hospederos, lo que comprueba la importancia su estudio para el desarrollo de alternativas efectivas de control.

Las arveses compiten con el cultivo por espacio, luminosidad, nutrientes, y agua; y además sirven como hospederos alternos de begomovirus y de los vectores biológicos de estos insectos. Además, constituyen fuentes potenciales de inoculo primario de begomovirus y desempeñan un papel importante como hospedero alterno, permitiendo la propagación a otros cultivos de importancia económica, conduciendo a altas pérdidas en la producción (Prajapat, Marwal, y Gaur, 2014).

Los arveses, en su papel como hospederos alternos, representan la fuente más importante de virus. La diversidad de estas plantas ofrece a los diferentes virus mayores oportunidades para que se disperse de manera generalizada y así como su presencia continua a través del tiempo, sea mayor (Duffus, 1971). La diversidad de malezas como hospederos alternos de begomovirus es alta y esto ha sido demostrado ampliamente por los estudios sobre virus transmitidos por mosca blanca, en los que se han reportado las arveses *Hybanthus attenuatus*, *Verbena* sp., *Croton hirtus*, *Lantana camara*, *Amaranthus dubius*, *Rhynchosia minima*, *Rivina humulifolia*, *Desmodium* sp., *Caesalpinia* sp y *Plumbago* sp., como hospederas alternas de begomovirus (López-López, Jara-Tejada y Vaca-Vaca, 2014; Vaca-Vaca, Otavo y López-López, 2011). Recientemente, se reportó la presencia de nuevas arveses hospederas de begomovirus asociadas al cultivo de ají en Valle del Cauca: *Sida acuta*, *Malvastrum* sp, *Acalypha* sp, *Parthenium hysterophorus* y

Euphorbia hirta (Vaca-Vaca, Corredor-Saenz, Jara-Tejada, Betancourt-Andrade y Lopez-Lopez 2019).

Lo anterior justifica la importancia de la realización de estudios que permitan tanto la identificación de los diferentes virus que pueden afectar al cultivo de tomate, así como identificar las arvenses asociadas al cultivo de tomate en Cundinamarca que son hospederas de begomovirus, con el fin de conocer su diversidad y aportar información que podría ser de utilidad para su control para evitar así su posible emergencia y posterior transmisión y adaptación a cultivos de importancia agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de arvenses en campo

En septiembre del 2014 se recolectaron hojas, flores y brotes de arvenses asociadas a cultivos de tomate bajo invernadero localizados en la finca San Luis (N 04°19' 444" – W074°19'898"), la vereda Buenas tardes (N 04°19' 186" – W074°20'361") ubicados en el municipio de Pasca, Cundinamarca y la finca Brisas de Xochimilco (N 04°20' 611" – W074°23'495") en el municipio Fusagasugá, Cundinamarca. Estas muestras se mantuvieron en bolsas de papel. Posteriormente, ya en el Laboratorio de Sanidad y Microbiología agrícola de la Universidad Nacional de Colombia de la sede Palmira se almacenaron en tubos Falcon® con silica con el fin de desecar los tejidos. Se colectaron las arvenses que convivían con el cultivo de tomate o estaban en los alrededores de este, siendo este el principal criterio de selección de las muestras.

Identificación taxonómica

Las muestras colectadas en campo se identificaron en el herbario "Josep Cuatrecasas

Arumi" de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira por medio de comparación con literatura y empleando material especializado en taxonomía vegetal.

Extracción de ADN total de arvenses

La extracción del ADN total de las muestras vegetales se realizó mediante Invisorb Spin Plant Mini Kit (Stratec®), que es un método en el que se emplean columnas que permiten la purificación de ADN de alta calidad y cantidad, sin contaminación de otras moléculas como proteínas y ARN. A continuación, el ADN vegetal total obtenido se almacenó a -20°C para su posterior visualización.

Visualización de ADN en geles de agarosa

Las muestras de ADN fueron analizadas en geles de agarosa al 1% teñidos con bromuro de etidio y aplicando 70 Voltios durante 45 minutos. El ADN en el gel fue visualizado empleando un fotodocumentador Bio-Rad® con el software Quantity-One®.

Detección de begomovirus mediante PCR

Se realizó reacción en cadena de la polimerasa empleando oligos degenerados para la detección específica del género begomovirus grupo bipartita, que permiten la amplificación de fragmentos de 1.1 kb del componente genómico A (Rojas, 1993). También se emplearon los oligos MP16 y MP18, los cuales amplifican una región entre 0,4 – 0,5 kb del componente genómico A de los begomovirus (Umaharan, Padidam, Phelps, Beachy y Fauquet, 1998). Las condiciones utilizadas de PCR fueron las reportadas por cada uno de los autores de estos oligos. Como control positivo se utilizó un plásmido que porta el PYMV previamente clonado por nuestro grupo. Los fragmentos amplificados fueron teñidos con bromuro de Etidio y después visualizados en un gel de agarosa al 1%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Recolección de arveses e identificación taxonómica

Se colectaron 36 arveses, distribuidas así: 23 en las fincas San Luis y vereda Buenas tardes en Pasca; y 13 en la finca Brisas de Xochimilco, ubicadas en Fusagasugá, Cundinamarca. Adicionalmente, se colectaron 6 muestras de tomate (*Solanum lycopersicum*) con síntomas

virales; esto con el fin de determinar la presencia de begomovirus en estas muestras y así hacer la correlación de los resultados con lo encontrado en las arveses. De las arveses colectadas, 22 fueron identificadas taxonómicamente, quedando pendiente de identificar 14 de ellas (Tabla 1).

Tabla 1. Identificación taxonómica de arveses colectadas en cultivos de tomate localizados en los municipios de Pasca y Fusagasugá, Cundinamarca

Clave	Localidad	Nombre Vulgar	Nombre Científico	Observaciones
PS1	Pasca	Trébol	<i>Oxalis latifolia</i>	Presencia de mosca blanca.
PS4		Papunga	<i>Bidens pilosa</i>	Presencia de mosca blanca
PS6		Mostacilla	<i>Brassica campestris</i>	Asintomática
PS7		Pepino de monte	<i>Melothria</i> sp.	Presencia de mosca blanca
PS8		PD*	PD*	Presencia de mosca blanca
PS9		Lengua de vaca	<i>Rumex cf. crispus</i>	Presencia de mosca blanca
PS10		PD*	PD*	Presencia de mosca blanca
PS11		PD*	PD*	Presencia de mosca blanca
PS12		PD*	PD*	Presencia de mosca blanca
PS13		Batatilla	<i>Ipomoea</i> sp.	Presencia de mosca blanca
PS14		PD*	Asteraceae	Asintomática
PS15		Mataganado	<i>Persicaria nepalensis</i>	Presencia de mosca blanca
PS16		PD*	PD*	Presencia de mosca blanca
PS18		Pamplina	<i>Stellaria media</i>	Presencia de mosca blanca
PS19		Chachalagua	<i>Veronica persica</i>	Presencia de mosca blanca
PS20		PD*	<i>Rubus</i> sp.	Asintomática
PS21		Batatilla	<i>Ipomoea</i> sp.	Asintomática
PS22		Batatilla	<i>Ipomoea</i> sp.	Asintomática
PS24		PD*	<i>Rytidostylis</i> sp.	Asintomática
PS25		Botonera	<i>Malva sylvestris</i>	Asintomática
PS26		PD*	PD*	Asintomática
PS27		Escoba	<i>Sida rhombifolia</i>	Asintomática

Continuación tabla 1

Clave	Localidad	Nombre Vulgar	Nombre Científico	Observaciones
FS28	Fusagasugá	PD*	PD*	Asintomática
FS29		PD*	PD*	Presencia de mosca blanca
FS31		Botón negro	<i>Hyptis capitata</i>	Asintomática
FS32		Chiba	<i>Ageratum conyzoides</i>	Asintomática
FS34		Yuyo - Guasca	<i>Galinsoga ciliata</i>	Asintomática
FS35		PD*	PD*	Presencia de mosca blanca
FS36		Botón negro	<i>Hyptis capitata</i>	Asintomática
FS37		Bledo	<i>Amaranthus sp.</i>	Asintomática
FS38		Melón de monte	<i>Melonthria sp.</i>	Asintomática
FS39		PD*	PD*	Asintomática
FS40		PD*	PD*	Presencia de mosca blanca
FS41		PD*	PD*	Asintomática
FS42		PD*	PD*	Asintomática
FS43		PD*	PD*	Asintomática

*PD, Por determinar.

Detección de begomovirus mediante Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)

Se realizó la extracción de ADN genómico total de todas las arvenses colectadas. Se obtuvo un ADN de buena calidad y concentración en casi todas las muestras evaluadas. Con la excepción de algunas muestras que presentaron dificultades en su molienda y/o extracción debido a su alto contenido de compuestos fenólicos así como de carbohidratos. Adicionalmente con el fin de verificar la calidad de los ADN

purificados, se llevó a cabo una amplificación del gen ribosomal 18S (datos no mostrados).

La detección viral por PCR con oligos degenerados específicos para begomovirus bipartitas dio positivo para 5 arvenses: *Stellaria media* (L.) Vill. (PS18), *Veronica pérsica* Poir. (PS19), *Malva sylvestris* L. (PS25) y una planta de la familia Asteraceae (PS14) en las que se evidenció la amplificación del fragmento de 1.1 kb correspondiente al componente genómico A begomoviral (Figura 1).

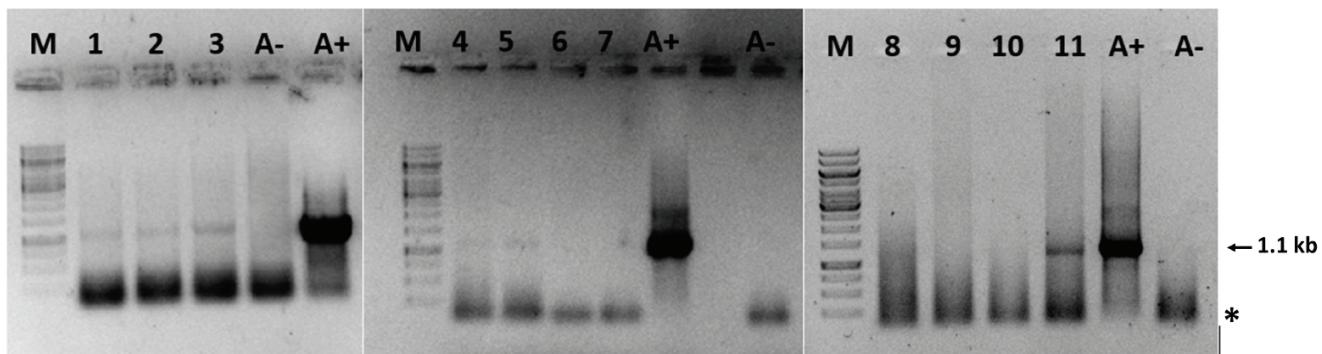


Figura 1. Detección de begomovirus en arvenses colectados en la finca San Luis y la vereda Buenas tardes en Pasca, Cundinamarca, en cultivos de tomate. PCR para el componente A que amplifica un fragmento de 1,1 kb correspondiente al componente genómico A begomoviral usando los primers PAL1v1978 / PARc496. M, Marcador de peso molecular Gene ruler 1kb ADN Ladder Fermentas; 1, PS18_*Stellaria media*; 2, PS18_*Stellaria media*; 3, PS19_*Veronica pérssica*; A-, Control negativo; A+, Control positivo. 4, PS14_Asteraceae; 5, PS17_*Solanum lycopersicum*; 6, PS18_*Stellaria media*; 7, PS19_*Veronica pérssica*; A+, Control positivo de A; A-, Control negativo de A. 8, PS21_*Ipomoea* sp.; 9, PS22_*Ipomoea* sp.; 10, PS23_*Solanum lycopersicum*; 11, PS25_*Malva sylvestris*; A+, Control positivo de A; A-, Control negativo de A. La flecha indica la banda esperada de 1,1 kb. El asterisco (*) indica exceso de primer.

En la Figura 2 se observa la detección de begomovirus en la arvense *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake (FS34) empleando los primers MP16 y MP82, que amplifican un fragmento de 0.5 kb correspondiente a la región 5' del gen que codifica para la proteína de la cápside (CP) del componente genómico A.

Adicionalmente muestras de tomate colectadas en los lotes de Pasca (Figura 1, muestra 5) y Fusagasugá (Figura 2, muestra 33) resultaron positivos para begomovirus, indicando la presencia de este virus en los cultivos donde se colectaron las arvenses positivas.

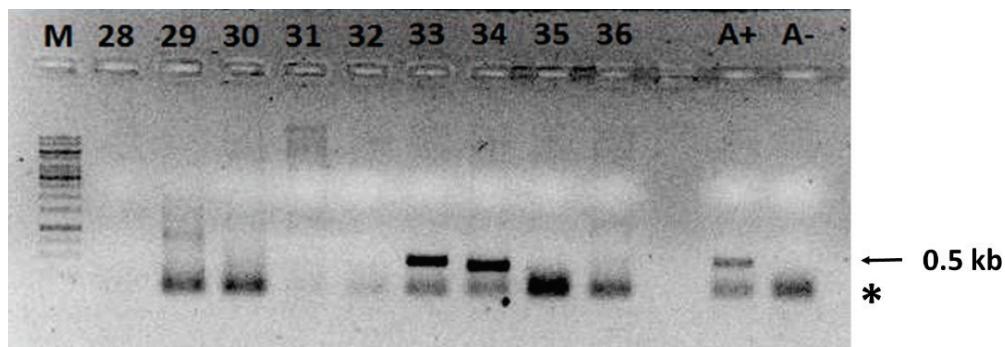


Figura 2. Detección de begomovirus bipartitas en arvenses colectados en la finca Brisas de Xochimilco, Fusagasugá, Cundinamarca, en cultivos de tomate. PCR para el componente A amplifica un fragmento de 0,5 kb. M, Marcador de peso molecular Gene ruler 1kb ADN Ladder Fermentas: 28, FS28_Arvense no identificada; 29, FS29_Arvense no identificada; 30, FS30_Cucurbita sp; 31, FS31_Hyptis capitata; 32, FS32_Ageratum conyzoides; 33, SF33_Solanum lycopersicum; 34, FS34_Galinsoga ciliata; 35, FS35_Arvense no identificada; 36, FS36_Hyptis capitata; A+, control positivo; A-, control negativo. La flecha indica la banda esperada de ~0,4 - 0,5 kb. El asterisco (*) indica exceso de primer.

Arvenses identificadas como reservorio de begomovirus bipartitos en cultivos de tomate de Cundinamarca.

Con base en los resultados obtenidos mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa, se determinó que las arvenses *Stellaria media* (L.) Vill., *Veronica persica* Poir., que tenían presencia de mosca blanca, *Malva sylvestris* L., *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake, y la especie perteneciente a la familia Asteraceae, que fenotípicamente eran asintomáticas y que fueron colectadas en cultivos de tomate en Cundinamarca, eran hospederos alternos de begomovirus (Figura 3).

Para el género *Stellaria*, solo existe un reporte realizado por Kil et al. (2015), quienes encontraron que la especie *Stellaria aquatica* (L.) Scop. resultó ser reservorio del virus del rizado amarillo de la hoja del tomate (Tomato Yellow Leaf Curl Virus - TYLCV), un begomovirus que afecta severamente los cultivos de tomate no solo en Corea del Sur sino alrededor del mundo. A la fecha TYLCV no ha sido detectado afectando esta solanácea en Colombia. En el caso de la arvense *Stellaria media* (L.) Vill. este es el primer reporte a nivel mundial como reservorio potencial de begomovirus.

Aunque la especie *Veronica persica* Poir. se ha reportado como hospedero alterno de TYLCV en Corea del sur (Kil et al. 2014), este estudio constituiría el primer reporte de esta especie como reservorio de begomovirus en América.

En cuanto se refiere a la arvense perteneciente a la familia Asteraceae, los resultados de este estudio permiten identificar por vez primera esta planta como reservorio de begomovirus en Colombia. Arnaud, Santos, Lima y Feitosa (2007), reportaron a las especies *Bidens pilosa* L. y *Ageratum conyzoides* L. pertenecientes a la familia Asteraceae como reservorio natural de begomovirus en la región de Ibiapaba en

Brasil; este resultado es interesante ya que, en la presente investigación, la especie *Bidens pilosa* L. no resultó positiva como hospedero alterno de begomovirus.

A nivel mundial se ha reportado diferentes especies del género *Galinsoga* como hospederos alternos de diversos virus, como, por ejemplo: el virus de la marchitez manchada del tomate (tomato spotted wilt virus - TSWV) del género Tospovirus (Cho, 1986; Stobbs, Broadbent, Allen, & Stirling, 1992; Verhoeven & Roenhorst, 1994), el virus del mosaico del pepino (cucumber mosaic virus - CMV) y el virus del mosaico de *Galinsoga* (*Galinsoga mosaic virus* - GMV) (Batra, 1979; Behncken, 1970). También se ha reportado que especies del género *Galinsoga* son susceptibles al virus de la mancha necrótica del impatiens (impatiens necrotic spot virus - INSV), un virus del género Orthotospovirus (Okuda, Fuji, Okuda, Sako, & Iwanami, 2010). Específicamente la especie *Galinsoga parviflora* Cav. se ha reportado como hospedera de begomovirus como: el virus del rizado de la hoja amarilla del chile (pepper yellow leaf curl virus - PepYLCV) (Meliansyah, Hendrastuti, y Hamzah, 2011); el virus India de la hoja rizada del tomate (India tomato leaf curl virus - IToLCV) y el virus de la hoja rizada del tomate (tomato leaf curl virus - ToLCV) Marchoux, Gognalons, y Gébré, 2008). Para el caso de la especie *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake. evaluada en este estudio, se encontró la presencia de begomovirus por PCR. Hasta el momento a nivel mundial no existe ningún registro de la especie *G. ciliata* como hospedera de begomovirus, por lo que se puede afirmar con base en los resultados del presente estudio que este es el primer reporte de esta arvense como hospedero alterno de este género viral.

Nuestro estudio detectó en la arvense *Malva sylvestris* L. la presencia de begomovirus,

siendo este el primer reporte de un begomovirus en esta especie en Colombia. Esta maleza ya ha sido reportada como hospedero alterno de begomovirus en otras latitudes del planeta, como lo demuestran los trabajos de Jordá et al. (2000) quienes en muestras de *M. sylvestris* L. encontraron presencia de begomovirus tales como el virus Nueva Dehli del rizado de

la hoja del tomate (tomato leaf curl New Dehli virus - ToLCNDV), así como el TYLCV en Syria. Además de ser también hospedero de virus de pertenecientes a otros géneros virales tales como el TSWV y CMV presentes en arvenses colectadas en el noreste de España (Jordá et al., 2000; Laviña, Aramburu, & Moriones, 1996).



PS14. Asteraceae

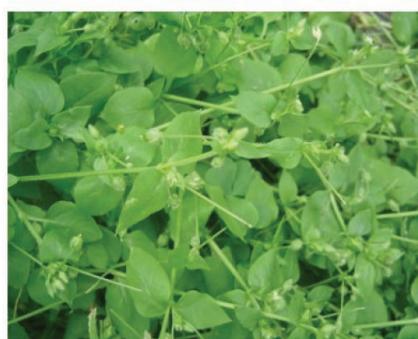
PS18. *Stellaria media* (L.) Vill.PS19. *Veronica persica* Poir.PS25. *Malva sylvestris* L.FS34. *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake.

Figura 3. Arvenses hospederas de begomovirus bipartitas colectados en la finca San Luis (PS14, PS18 y PS19), vereda Buenas tardes (PS25) y en Brisas de Xochimilco (FS34) ubicadas en Pasca y Fusagasuga, Cundinamarca, en cultivos de tomate.

CONCLUSIONES

Este estudio encontró que las arvenses *Stellaria media* (L.) Vill., *Veronica persica* Poir y una especie de la familia Asteraceae, recolectadas en la finca San Luis; la arvense *Malva sylvestris* L., recolectada en la vereda Buenas tardes, en el municipio de Pasca; y la arvense *Galinsoga ciliata* (Raf.) S.F. Blake recolectada en la finca Brisas de Xochimilco en el municipio de Fusagasugá son nuevos hospederos del begomovirus. Por primera

vez a nivel mundial, se reportan como hospederos de begomovirus a las especies *Stellaria media* (L.) Vill. y *Galinsoga ciliata*. Se reporta por primera vez para el continente americano la especie *Veronica persica* Poir como hospedero de begomovirus; mientras que la especie *Malva sylvestris* L. y una especie de la familia Asteraceae se reportan por primera vez en Colombia como reservorios de begomovirus.

El control de las arvenses identificadas como hospederos alternativos para begomovirus, es una estrategia que podría disminuir el impacto de estos virus en los cultivos de tomate.

LITERATURA CITADA

- Arnaud, L., Santos, C., Lima, J., Feitosa, F. (2007). *Predominância de Begomovírus em Tomateiros na Região Produtora da Ibiapaba, Ceará e sua Detecção Natural em Plantas Daninhas*. Fitopatologia Brasileira 32:241-246.
- Batra, S. W. T. (1979). *Insects Associated with Weeds of the Northeastern United States: Quickweeds, Galinsoga ciliata and G. parviflora (Compositae)*. 1. Environmental Entomology, 8(6), 1078-1082. <https://doi.org/10.1093/ee/8.6.1078>
- Behncken, G. (1970). *Some properties of a virus from Galinsoga parviflora*. Australian Journal of Biological Sciences, 8(Behncken 1968), 497-501.
- Cho, J. J. (1986). *Reservoir Weed Hosts of Tomato Spotted Wilt Virus*. Plant Disease, 70(11), 1014. <https://doi.org/10.1094/PD-70-1014>
- Duffus, J. E. (1971). *Role of Weeds in the Incidence of Virus Diseases*. Annual Review of Phytopathology, 9(1), 319-340. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.09.090171.001535>
- Fargette, D., Konaté, G., Fauquet, C., Muller, E., Peterschmitt, M., Thresh, J.M. (2006). *Molecular Ecology and Emergence of Tropical Plant Viruses*. Annual review of phytopathology. 44. 235-60. [10.1146/annurev.phyto.44.120705.104644](https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.120705.104644).
- Jones, R. A. C. (2014). *Trends in plant virus epidemiology: opportunities from new or improved technologies*. Virus Research, 186, 3-19. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2013.11.003>
- Jordá, C., Font, I., Lázaro, A., Juarez, M., Ortega, A., & Lacasa, A. (2000). *New Natural Hosts of Tomato spotted wilt virus*. Plant Disease, 84(4), 489-489. [https://doi.org/10.1094/ PDIS.2000.84.4.489D](https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.4.489D)
- Kil, E., Byun, H., Kim, S., Cho, S., Cho, S., Roh, K., Lee, K., Choi, H., Kim, C., Lee, S. (2015). *Tomato Yellow leaf curl virus can overwinter in *Stellaria aquatica* a winter-hardy TYLCV-reservoir weed*. Plant Disease, 99(5):588-592. doi: 10.1094/ PDIS-04-14-0352-RE
- Kil, E., Park, J., Lee, H., Kim, J., Choi, H., Lee, K., Kim, C., Lee, S. (2014). *Lamium amplexicaule (Lamiaceae): a weed reservoir for tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) in Korea*. Archives of Virology, 159:1305-1311.
- Laviña, A., Aramburu, J., & Moriones, E. (1996). *Occurrence of tomato spotted wilt and cucumber mosaic viruses in field-grown tomato crops and associated weeds in northeastern Spain*. Plant Pathology, 45(5), 837-842. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1996.tb02893.x>
- Lopez-lopez, K., Jara-Tejada, F., & Vaca-Vaca, J. C. (2014). *Nuevos hospederos alternativos de Begomovirus identificados en el Valle del Cauca*. Fitopatología Colombiana, 38: 19-23.
- Marchoux, G., Gognalons, P., & Gébré Sélassié, K. (2008). *Virus des Solanacées : du génome viral à la protection des cultures*. Éd. Quae.
- Meliansyah, R., Hendrastuti Hidayat, S., & Hamzah Mutaqin, K. (2011). *Geminiviruses Associated with the Weed Species Ageratum conyzoides, Centipeda minima, Porophyllum ruderale, and Spilanthes iabadicensis from Java, Indonesia*. Microbiology Indonesia, 5(2), 120-124. <https://doi.org/10.5454/mi.5.3.4>
- Meza, J., Pantoja, A., Galan, P. R., Godoy, N., Gattini, J., Villasanti, C., Díaz, J. (2013). *El Cultivo De Tomate Con Buenas Prácticas Agrícolas En La Agricultura Urbana Y Periurbana*. FAO. E-ISBN 978-92-5-307780-9
- Okuda, M., Fuji, S., Okuda, S., Sako, K., & Iwanami, T. (2010). *Evaluation of the potential of thirty-two weed species as infection sources of Impatiens necrotic spot virus*. Journal of Plant Pathology, 92(2), 357-361.
- Prajapat, R., Marwal, A., & Gaur, R. K. (2014). *Begomovirus associated with alternative host weeds: a critical appraisal*. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 47(2), 157-170. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.805497>
- Rojas, M. R. (1993). *Use of Degenerate Primers in the Polymerase Chain Reaction to Detect Whiptfly-Transmitted Geminiviruses*. Plant Disease. <https://doi.org/10.1094/PD-77-0340>
- Stobbs, L. W., Broadbent, A. B., Allen, W. R., & Stirling, A. L. (1992). *Transmission of tomato spotted wilt virus by the western flower thrips to weeds and native plants found in southern Ontario*. Plant Disease (USA), 76, 23-29. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9439290>

- Tamayo M., P. J., & Jaramillo, J. E. (2013). *Enfermedades del tomate, pimentón, ají y berenjena en Colombia : guía para su diagnóstico y manejo*. Corpoica. Recuperado de <http://biblioteca.humboldt.org.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8433>
- Thompson, W. (2011). *The Whitefly, Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae) Interaction with Geminivirus-Infected Host Plants*. 10.1007/978-94-007-1524-0.
- Umaharan, P., Padidam, M., Phelps, R. H., Beachy, R. N., & Fauquet, C. M. (1998). Distribution and Diversity of Geminiviruses in Trinidad and Tobago. *Phytopathology*, 88(12), 1262-1268. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1998.88.12.1262>
- Vaca-Vaca, J. C., Betancur-Pérez, J. F., & López-López, K. (2012). Distribución y diversidad genética de Begomovirus que infectan tomate (*Solanum lycopersicum* L) en Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 60-76. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752012000100007&nrm=iso
- Vaca-Vaca, J. C., Carrasco-Lozano, E. C., & López-López, K. (2018). Molecular identification of a new begomovirus infecting yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) in Colombia. *Archives of Virology*, 162(2), 573-576. <https://doi.org/10.1007/s00705-016-3098-y>
- Vaca-Vaca, J. C., Corredor-Saenz, V. C., Jara-Tejada, F., Betancourt-Andrade, D., & Lopez-Lopez, K. (2019). *Nuevos hospederos alternativos de Begomovirus asociados con el cultivo de ají en el Valle del Cauca, Colombia*. *Acta Agronómica*, 68(1), 56-60. <https://dx.doi.org/10.15446/acag.v68n1.77487>
- Vaca-Vaca, J. C., Otavo-Fiscal, D., & López-López, K. (2011). *Identificación de arveses como hospederos naturales de Begomovirus en el Valle del Cauca, Colombia*. *Fitopatología Colombiana*, 35(2), 69-72.
- Verhoeven, J. T. J., & Roenhorst, J. W. (1994). *To-mato spotted wilt virus: Ecological aspects in ornamental crops in the Netherlands from 1989 up to 1991*. *Acta Horticulturae*, (377), 175-182. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.377.18>
- Zerbini F, Briddon R, Idris A, Martin D, Moriones E, Navas-Castillo J, Rivera-Bustamante R, Roumagnac P, Varsani A, ICTV Report Consortium (2017). *ICTV Virus Taxonomy Profile: Geminiviridae*. *J. Gen. Virol.* 98(2):131-133 doi:10.1099/jgv.0.000738

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS), por el apoyo financiero de la presente propuesta para desarrollar un semillero de investigación.

D. M. Rivera-Toro y J. Morales-Euse agradecen a la Dirección de Investigación y Extensión de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira por el apoyo financiero recibido a través de los proyectos código Hermes 27071 y 32316, respectivamente.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

EFFECTO DE DOS SISTEMAS DE RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD DIACOL CAPIRO

EFFECT OF TWO IRRIGATION SYSTEMS ON PRODUCTION AND EFFICIENT USE OF WATER IN POTATO CROP DIACOL CAPIRO VARIETY

¹ Juan Carlos Guerrero Guio

² Marco Cabezas Gutiérrez

³ Jesús Hernando Galvis Quintero

^{1, 2}Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

³Instituto de Educación Técnica Profesional de Roldanillo (INTEP)

¹juancarlos.guerrero@uptc.edu.co ²mcabezasg@unal.edu.co, ³jesus.galvis@gmail.com

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum*) se considera un alimento básico en la dieta de cientos de personas. En Colombia, durante el 2017 se registró una producción de 2,8 millones de toneladas siendo la variedad Diacol capiro la más sembrada para procesamiento industrial en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño. El cultivo es sensible al déficit hídrico y es el factor que más limita su producción, por lo tanto, el riego es una práctica indispensable que se está realizando por aspersión con una baja eficiencia mientras el riego por goteo puede alcanzar una eficiencia cercana al 90 %. Se realizó un experimento en condiciones de campo cuyo objetivo fue evaluar el efecto de dos sistemas de riego (goteo vs aspersión) sobre la producción, calidad y uso eficiente del agua en el cultivo de papa variedad Diacol capiro en el municipio de Toca, Boyacá. Se usó un diseño experimental

completamente aleatorio con 2 tratamientos que corresponden a cada sistema de riego y 3 repeticiones. A los 28 días de siembra (dds) se midió el porcentaje de brotación; en cosecha se evaluó rendimientos y calidad de tubérculos; y se calculó la eficiencia en el uso el agua para tubérculos frescos. Se presentaron diferencias estadísticas para los tratamientos evaluados ($p<0,05$) en el porcentaje de brotación y uso eficiente del agua; las demás variables no presentaron diferencias estadísticas. Con los dos tratamientos se alcanzó el potencial productivo de la variedad, pero el riego por goteo presentó los mejores resultados dado que se llegó a producir 3,49 kg más de tubérculos frescos por m³ de agua utilizado.

Palabras clave: eficiencia en el uso del agua; riego por aspersión; riego por goteo; rendimiento de cultivos; *Solanum tuberosum*

ABSTRACT

Potato (*Solanum tuberosum*) is considered a staple in the diet of hundreds of people. In Colombia, during 2017, a production of 2.8 million tons was registered, being the variety Diacol Capiro most planted for industrial processing in the departments of Cundinamarca, Boyacá and Nariño. The crop is sensitive to water deficit and it is the most limiting factor in production, therefore, irrigation is an essential practice which is being done by spraying with low efficiency, while drip irrigation can achieve efficiencies close to 90 %. An experiment was carried out under field conditions aiming to evaluate the effect of two irrigation systems (drip vs spray) on the production, quality, and efficient use of water in the Diacol Capiro variety potato crop in the municipality of Toca, Boyacá. A completely randomized experimental design

was used with 2 treatments corresponding to each irrigation system and 3 repetitions. At 28 days after sowing (das) sprouting percentage, yield and quality of tubers were measured and harvest and efficient water use was calculated for fresh tubers. Statistical differences were observed for the evaluated treatments ($p < 0.05$) in germination and efficient use of water; other variables did not show statistical differences. With two treatments the productive potential of the variety was reached but the drip irrigation presented the best results, producing an additional 3.49 kg of fresh tubers per m³ of water used.

Keywords: crop yield; drip irrigation; sprinkler irrigation; *Solanum tuberosum*; water use efficiency.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum L.*) se considera un alimento básico por sus altos contenidos nutricionales; un importante proveedor de carbohidratos, vitaminas y minerales en las dietas de cientos de personas en todo el mundo (Camire, 2016); y es el tercer cultivo más importante después del trigo y el maíz. En el 2017, a nivel global se produjeron 388 millones de toneladas en 20 millones de hectáreas y los principales productores durante ese año fueron China, India, Rusia, Ucrania y Estados Unidos (FAOSTAT 2017).

En el año 2017, Colombia registró un área de siembra de 169.000ha, una producción de 2,8 millones de toneladas con un rendimiento promedio nacional de 16,9t/ha⁻¹. La variedad más sembrada para procesamiento industrial es la *Diacol capiro* conocida comercialmente como R-12: esta tiene un rendimiento potencial por

encima de 40t.ha⁻¹, presenta alta aceptación para procesamiento industrial tanto en hojuela como en bastón por tener un color de carne crema claro y buena respuesta a la fritura, además de una buena aceptación para consumo en fresco (Porras y Herrera, 2015; Núñez, 2011).

El cultivo es sensible al déficit hídrico (Dalla y Mackerron, 2006; Kafkafi y Trchitzky, 2012; Quiroz, 2012) y la escasez de agua provoca una reducción en la producción de tubérculos (Rodríguez-Perez, 2010; Quiroz, 2012). Son muchos los autores a nivel mundial que han realizado estudios para relacionar el suministro de agua con la productividad, entre ellos: Zhou et al, (2018) en Dinamarca; Zin El-Abedin et al (2017) en Arabia Saudita; Yang et al (2017) en China; Reyes-Cabrera et al (2016) en Estados Unidos; Peña y Zenner (2015) en Colombia; Rodríguez et al (2015) en Argentina;

Hess et al (2015) en Gran Bretaña y Shahnazar et al (2007) en Dinamarca.

Para alcanzar los rendimientos potenciales, el cultivo tiene un requerimiento hídrico de entre 400 a 700 mm (Manickam et al, 2018; Quiroz, 2012) y la productividad se ve afectada si se reduce más del 30 % del agua disponible en el suelo (Rodríguez- Pérez, 2010). Al respecto la FAO (2008) sugiere que la productividad se ve afectada si se reduce más del 50 % del agua disponible en el suelo. La etapa más crítica y de mayor exigencia de agua es la floración, que coincide con la tuberización (100 dds), pues su disponibilidad limitada reduce el número de tubérculos por planta. (Corpoica, 2009, Manickam et al, 2018).

De acuerdo a lo anterior, el riego es una práctica indispensable que se debe realizar para alcanzar el potencial productivo del cultivo en las zonas productoras de bajas precipitaciones; esta se realiza mediante sistema de riego convencional de aspersión, pero la FAO (2002) argumenta que el riego de superficie es menos eficiente y en ocasiones causa problemas de anegamiento y salinización.

El sistema de riego por goteo se ha implementado en diversos cultivos, tiene una eficiencia del 90% al permitir la entrega directa de agua al punto que la planta lo demanda (Kafkafi y tarchitzky, 2012). Según FAO (2002), los resultados obtenidos en varios países demuestran que el cambio de riego por surcos o riego por aspersión, a riego por goteo puede reducir el consumo de agua entre 30% y 60%. Al respecto, Chawla y Singh (2016) afirman que con riego por goteo se puede ahorrar un 46 %

de agua con respecto al riego por gravedad y en definitiva el riego por goteo es eficiente y representa un avance tecnológico con amplio rango de aplicación.

Considerando lo anterior, la hipótesis de esta investigación es que el potencial productivo del cultivo de papa variedad *Diacol capiro* se puede alcanzar con una mayor eficiencia en el uso del agua. El objetivo de la investigación es comparar los dos sistemas de riego, riego por goteo y riego por aspersión, en términos de la brotación, producción y calidad de tubérculos y productividad del uso de agua en el cultivo de papa variedad *Diacol capiro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se llevó a cabo durante el primer semestre de 2018 en un lote comercial perteneciente a la Sociedad de Pequeñas Familias Productoras de Papa Industrial Asoagrotoca, ubicado en la finca La Planada (Vereda de Cunucá, municipio de Toca, Boyacá) con coordenadas 50° 36' 14'' N 73° 09' 23'' O, a una altura de 2810 m.s.n.m y una temperatura promedio de 12°C. La zona presenta una precipitación anual de 800 mm de régimen bimodal distribuidos de marzo a mayo y de septiembre a noviembre.

El suelo seleccionado para la ubicación del ensayo fue clasificado como Inceptisol, que presenta un relieve plano con pendientes del 1%, y características físicas y químicas homogéneas. La tabla I describe las características químicas iniciales de suelo, la gráfica II y III describen las características físicas iniciales a la profundidad de 0-20cm y 20-40cm respectivamente.

Tabla 1. características químicas iniciales del suelo

Acidez		Bases intercambiables (Cmol.kg ⁻¹)						% MO	P (mg. kg ⁻¹)	Elementos menores (mg.kg ⁻¹)				
		%Al ³⁺	Ca	Mg	K	Na	Ca+Mg+K			Fe	Mn	Cu	Zn	B
pH	Ac, Inter. (Cmol.Kg)													
5,4	0,11	1,7	4,5	0,8	0,81	0,24	6,11	3,41	30	454	8,3	8,9	0,4	0,05

Tabla 2. características físicas iniciales del suelo a profundidad de 0-20 cm

textura			Densidad aparente	Densidad real	Porosidad total	Macroporos	Mesoporos	Microporos	Conductividad Hidráulica saturada
% A	% L	% Ar	g.cc ⁻¹	g.cc ⁻¹	%	%	%	%	cm.h ⁻¹
24,3	29	46,7	0,97	2,39	59,47	34,50	12,99	11,98	23,78

Tabla 3. características físicas iniciales del suelo a profundidad de 20-40 cm

textura			Densidad aparente	Densidad real	Porosidad total	Macroporos	Mesoporos	Microporos	Conductividad Hidráulica saturada
% A	% L	% Ar	g.cc ⁻¹	g.cc ⁻¹	%	%	%	%	cm.h ⁻¹
31,2	29,4	39,1	1,08	2,36	54,11	23,06	8,41	22,64	20,08

Se utilizaron semillas de papa certificada de la variedad *Diacol capiro*, con un diámetro entre 7 a 10 cm. El trabajo se realizó bajo condiciones de campo; primero se realizó la preparación del terreno a una profundidad de 40cm, luego se llevó a cabo la siembra ubicando el fertilizante en la base del surco en las siguientes cantidades: 140kg/ha⁻¹ (NO₃), 145kg/ha⁻¹ (NH₄), 242kg/ha⁻¹ (P2O5), 325kg/ha₋₁ (K₂O), 91kg/ha⁻¹ (C2O), 54kg/ha⁻¹ (MgO), 90 kg/ha⁻¹ (SO4), 0,7kg/ha⁻¹ (Fe), 2,1kg/ha⁻¹ (B), 0,07kg/ha⁻¹ (Mn), 0,97kg/ha⁻¹ (Zn). Luego, se colocó una semilla por sitio a 10 cm de profundidad. Después, se realizó la respectiva desinfección de la semilla y la base del surco (se aplicó Azoxistrobina y

Difenconazole, Permetrina) y se tapó formando un surco alto donde posteriormente se ubicó la manguera de goteo. El plan de fertilización se definió de acuerdo a las características químicas iniciales del suelo y las tablas de extracción tomadas de Castro y Gómez (2013). Se realizó el respectivo control de plagas y enfermedades. A los 60 DDS se realizó la labor de aporque. Se empleó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 2 tratamientos y 3 repeticiones para un total de 6 unidades experimentales (UE). Cada UE media 12m de ancho y 40m de largo. La distancia de siembra utilizada fue de 1m entre surcos y 0,4m entre plantas para una población de 25.000 plantas ha⁻¹

Los tratamientos fueron T1, Riego por goteo, y T2, Riego por aspersión. Para el sistema de riego por goteo se utilizó manguera de goteo UniRam™ AS marca Netafin®, auto compensada, con goteros a 10cm y con una descarga de $1\text{ l}/\text{ha}^{-1}$; se instaló en el momento de la siembra sobre el surco y en el momento de realizar el aporque (50 días después de la siembra, dds) se enterró a una profundidad de 10cm. Para el sistema de riego por aspersión, se usaron aspersores Xcel-Wobbler marca Senninger®, boquilla #14 azul(5.56 mm) con una descarga de $1.583\text{ l}/\text{ha}^{-1}$; que se instaló a una distancia de 6m entre aspersores en la línea media de la unidad experimental. 25dds se registró el porcentaje de emergencia de cada unidad experimental.

En el momento de la cosecha se realizaron 3 muestreos por UE, de cada muestreo se seleccionó la papa primera (diámetro 5-10 cm); papa segunda (diámetro 3-5 cm); papa riche (diámetro < 3cm); papa verde y papa con daño fitosanitario causado por *Tecia sonalivora* (Povolny); estos datos se expresan en t/ha^{-1} . Para evaluar la cantidad de agua requerida por el cultivo, por cada UE se elaboró

una curva de retención de humedad a 4 puntos (0; 0,3; 1 y 15 Bares) y de acuerdo a estas se calculó el agua disponible para la planta en el suelo (ADPS) (agua retenida a una presión de entre 0,3 y 15 bares) en porcentaje de humedad volumétrico. Los programas de riego se fijaron de acuerdo al agotamiento del ADPS, para esto se fijó un porcentaje de agotamiento por estado fenológico (Tabla IV). Según la FAO (2008) y Rodríguez-Pérez (2010), el estado fenológico de floración corresponde al mayor consumo de agua pues presenta la mayor actividad fotosintética. De acuerdo a lo anterior, en dicho estado fenológico se fijó el punto de agotamiento más bajo y en los demás estados fenológicos se fijó un punto de agotamiento más alto. Para esto, se contó con un kit sensor de humedad de suelo SM150T que permitió monitorear la humedad en campo; por cada UE se realizaron monitoreos 2 veces por semana en 3 sitios diferentes, en cada sitio se elaboró un perfil de 40 cm de profundidad. Desde el dds 0 al 60, se midió a una profundidad entre 0-20 cm y desde el día 60dds (realizo del aporque) se midió la humedad a la profundidad entre 0-20cm y entre 20 a 40cm.

Tabla 5. Porcentaje de agotamiento permitido por estado fenológico para el cultivo de papa variedad Diacol Capiro según ADPS.

Estado fenológico	Porcentaje de agotamiento permitido según ADPS*
Brotación-Germinación	75%
Vegetativo	75%
Floración	50%
Senescencia	75%

*ADPS: agua disponible para la planta en el suelo

Fuente: adaptado de FAO, 2008; Rodríguez- Pérez, 2010.

La precipitación se midió con un pluviómetro instalado en la finca.

Se calculó el uso eficiente del agua para rendimientos de tubérculos frescos (cantidad de

tubérculo producido por m^3 de agua utilizado), utilizando la siguiente relación:

$$\text{Uso eficiente del agua} = \frac{\text{(Producción de tubérculo fresco (kg))}}{\text{(Agua aplicada (m3))}} \quad (1)$$

Los datos obtenidos en cada variable fueron sometidos a pruebas de normalidad mediante el método de Shapiro-Will y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Comprobados los supuestos, se realizó la prueba de T-Student para muestras independientes ($P \leq 0,05$) con el fin de saber si existían diferencias entre las medias de los dos tratamientos para cada variable. Los análisis se realizaron con el programa estadístico SPSS 25v del año 2017.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de brotación

La brotación a los 25 dds presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$). La mejor brotación se presentó en el tratamiento de riego por goteo con $71,66 \pm 4,04\%$ mientras que en el tratamiento de riego por aspersión fue de $23,33 \pm 2,02\%$; se necesitaron 11 mm y 43 mm de agua respectivamente para tener la brotación en cada uno de los sistemas. (Figura 1)

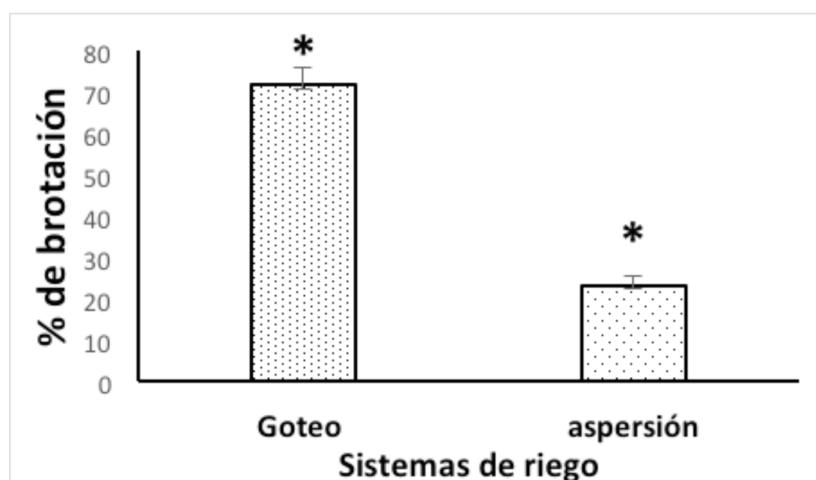


Figura 1. Efecto de dos sistemas de riego sobre la brotación de tubérculos de papa. Según la prueba de T-Student ($P \leq 0,05$), ns: no existen diferencias estadísticas, *: diferencias significativas.

Los contenidos de humedad durante los primeros 25 dds a 20 cm de profundidad fueron del 29% y 27% para riego por goteo y riego por aspersión respectivamente. El mayor contenido de humedad en el sistema de goteo se debe a la distribución del agua dentro del suelo de cada sistema. En el sistema de riego por aspersión (sistema tradicional de la zona) el movimiento de agua sigue un patrón de

percolación vertical unidimensional en donde solo la fuerza gravitacional dirige el movimiento del agua hacia abajo, mientras que en el sistema de riego por goteo el agua dentro del suelo sigue un patrón de distribución tridimensional en que hay dos fuerzas que afectan simultáneamente el flujo de agua: gravitacional y de capilaridad, que impulsan el agua en todas las direcciones (Kafkafi y Tarchitzky, 2012)

inclusive hacia arriba, permitiendo una mejor retención de agua en el suelo y una mayor disponibilidad para la planta.

Al respecto, Quiroz (2012) dice que la brotación de tubérculos puede retardarse por la humedad limitada del suelo; en este caso no se presentó humedad limitada, al contrario hubo una mayor disponibilidad de agua en el sistema de riego por goteo que permitió acelerar la

brotación con respecto al riego por aspersión.

Rendimiento y calidad

de tubérculos frescos

Ninguna de las variables evaluadas en el momento de la cosecha (rendimiento total, rendimiento de los tamaños de papa primera, papa segunda, papa riche, papa con daños por insecto y papa verde) presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) (Figura 2).

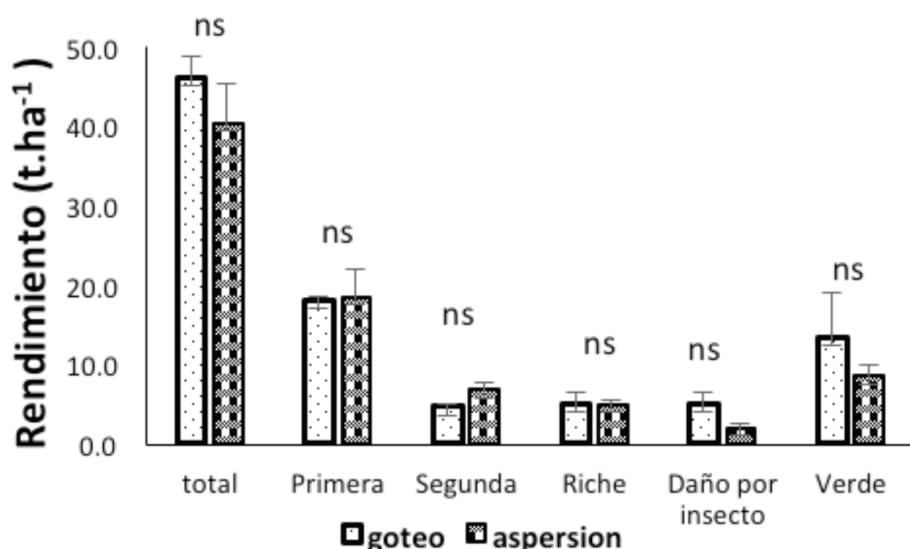


Figura 2. Efecto de dos sistemas de riego sobre el rendimiento y la distribución de tamaños de tubérculos de papa. Según la prueba de T-Student ($P \leq 0,05$), ns: no existen diferencia estadística, *: diferencias significativas.

El rendimiento estimado para el tratamiento de riego por goteo fue de $46,1 \pm 2,5$ t/ha⁻¹ mientras que en riego por aspersión fue de $40,3 \pm 4,8$ t/ha⁻¹. Los dos tratamientos presentan rendimientos más altos del potencial productivo de la variedad el cual está 40 t/ha⁻¹ según Nústes (2011); Porras y Herrera (2015). Sin embargo, el tratamiento de riego por goteo presentó 5,8t/ha⁻¹ más en comparación al tratamiento de riego por aspersión: cantidad que no es significativa estadísticamente, pero agronómicamente un diferencial de 5,8t/ha⁻¹ si es significativo. Peña y Zenner (2015), evaluaron la respuesta de la papa

variedad *Diacol capiro* a la aplicación de riego y encontraron un aumento del 18% en el rendimiento con la aplicación de riego por goteo con respecto a un tratamiento sin aplicación de riego en una zona de precipitaciones homogéneas, se obtuvieron resultados similares a los de este trabajo; con el tratamiento de riego por goteo se aumentó el rendimiento en un 14% con respecto al tratamiento de riego por aspersión. Zhou *et al*, (2018) también encontraron resultados similares en la variedad *folva*, similar a la variedad de estudio, concluyendo que no existen diferencias en producción entre la irrigación por goteo versus la

irrigación superficial con cañón, sin embargo, con la irrigación por goteo encontraron una mayor eficiencia agronómica del uso del nitrógeno durante uno de los años.

Al referirse al rendimiento según los tamaños, en riego por goteo tenemos $18 \pm 0,4\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para papa primera; $4,6 \pm 0,24\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para papa segunda y $4,9 \pm 1,24\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para papa riche. Mientras que en riego por aspersión encontramos $18,3 \pm 3,4\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para papa primera; $6,6 \pm 0,9\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para papa segunda y $4,8 \pm 0,35\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para papa riche. Se presentan rendimientos muy similares en los tres tamaños para los dos sistemas de riego. Camire (2016) obtuvieron resultados similares al comparar riego por goteo con riego por gravedad; encontrando menores rendimientos, pero una distribución homogénea en tamaños.

Ferreira *et al* (2017), en la variedad *Atlantic*, encontró rendimientos similares en tubérculos totales y comercializables a pesar de tener en un tratamiento de mayor desarrollo de raíces.

En cuanto a problemas de tubérculos no aptos para el consumo humano, se presentaron daños por insecto de *Tecia solanivora* (Povolny) y papa verde. En riego por goteo estos daños fueron de $5 \pm 1,4\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para daño por insecto y $13,3 \pm 5,4\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para papa verde mientras en riego por aspersión fueron de $1,8 \pm 0,41\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para daño por insecto y $8,4 \pm 1,3\text{t}/\text{ha}^{-1}$ para papa verde (figura 2). A pesar de no presentarse diferencias significativas, es evidente un mayor daño de *T solanivora* y papa verde en el sistema de riego por goteo.

Actualmente no existen trabajos que relacionen los daños de *T solanivora* y papa verde con los diferentes sistemas de riego: estos daños se deben al área de mojado de la superficie del suelo en cada sistema de riego evaluado. Reyes-Cabrera *et al* (2014), en Estados Unidos, encontraron que con la irrigación por

goteo había una reducción significativa de la incidencia de trastornos fisiológicos de los tubérculos como el centro marrón, el corazón hueco y la necrosis por calor interno.

En el sistema de riego por aspersión, el riego es superficial y tiene un cubrimiento de humedecimiento del 100% de la superficie del suelo por lo que mantuvo contenidos de humedad a capacidad de campo y se evitó la formación de grietas mientras que en el sistema de riego por goteo enterrado, el riego no tuvo un cubrimiento total de humedecimiento de la superficie y esta mantuvo contenidos de humedad por debajo de capacidad de campo generando la formación de grietas. Según Jaramillo (2014), esto sucede en suelos con medios contenidos de arcilla, como es el caso del suelo en estudio (contenidos de arcilla mayor al 25%). Cuando las arcillas se sequan se genera una contracción y una reducción del volumen ocupado generando la formación de grietas; dichas grietas sirvieron como vía para que las larvas de *T solanivora* accedieran a los tubérculos y causaran el daño, además, para que los rayos solares alcanzaran alguna parte del tubérculo y causar el verdeamiento.

Al respecto, Yang *et al* (2017) encontraron un uso más eficiente del agua con una proporción de suelo húmedo de 40% contra el 70%, con utilización de plástico como mulch; que en la zona de estudio funciona como una barrera para el ataque de *T solanivora* y bloquea los rayos solares. Zhang *et al* (2017) encontró que un 35% de porcentaje de humedecimiento más la cobertura plástica transparente y el riego por goteo son una buena técnica que amerita más pruebas para el noroeste árido de China.

Kafkafi y tarchitzky (2012) afirman que la ubicación profunda de la cinta derivó en una reducción del rendimiento y del grado comercial debido a varias razones: pobre suministro de agua al sistema radicular somero de las papas,

deficiencias de humedecimiento en la epidermis externa de los tubérculos, y sobrecalentamiento del tubérculo en el lomo relativamente seco (papa verde).

Un aspecto a resaltar que presenta el sistema de aspersión sobre el daño de *T solanivora*, es el agua libre en el suelo en el momento del riego, la cual se presenta cuando el suministro de agua supera la velocidad de infiltración. Según SIPSA (2014) el estado larval de *T solanivora* corresponde al estado donde la plaga hace el daño sobre los tubérculos y es el estado donde es más susceptible al agua.

Uso eficiente del agua

El uso eficiente del agua ($\text{Kg tubérculos frescos} \times \text{m}^{-3}$ de agua) presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). En el sistema de riego por goteo se presentó un rendimiento de $8,8 \pm 0,48 \text{ kg tubérculos frescos/m}^{-3}$ de agua; mientras que en riego por aspersión el rendimiento fue de $5,31 \pm 0,64 \text{ kg tubérculos frescos/m}^{-3}$ de agua. En el sistema de riego por goteo se produjeron $46,1 \text{ t/ha}^{-1}$ con tan solo 521 mm contra $40,3 \text{ t/ha}^{-1}$ con 759 mm en el sistema de riego por aspersión (figura 3).

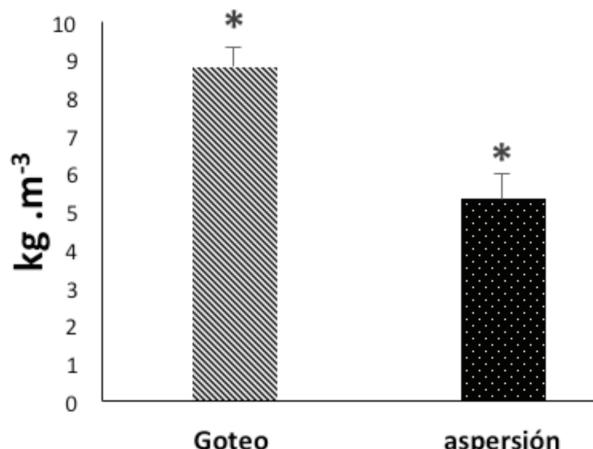


Figura 3. Uso eficiente del agua en el cultivo de papa por efectos de dos sistemas de riego.

Según la prueba de T-Student ($P \leq 0,05$), ns: no existen diferencias estadísticas significativas.

Son varios los estudios realizados que han determinado el consumo de agua de un cultivo de papa; al respecto, la FAO en el año internacional de la papa en el 2008 declara que un cultivo de papa de 120 a 150 días requiere de 500 mm a 700 mm de agua. La misma FAO, en el 2012, declaró que los consumos de agua a campo abierto son de 350mm a 650 mm, y otros autores alrededor del mundo citan valores similares entre ellos Rodríguez et al, 2015. Al relacionar esto con el presente estudio encontramos que el consumo de agua en el sistema de riego por goteo está dentro de los valores citados, muy cercano al límite inferior, mientras que el sistema de riego por aspersión

esta fuera del rango. De acuerdo a lo anterior, sería lógico afirmar que para mantener los contenidos adecuados de humedad en el suelo para el cultivo de papa utilizando el sistema de riego por aspersión, se debe tener una oferta hídrica mayor a 700 mm.

En cuanto al uso eficiente del agua para tubérculos frescos, Quiroz (2012) reporta un valor de 4 a 11 kg/m^{-3} de agua, los valores obtenidos en el presente estudio están dentro de este rango para los dos sistemas de riego utilizados, aunque se llegaron a producir 3,49 kg más de tubérculos frescos/ m^{-3} de agua en el sistema de riego por goteo. Kifle y Gebretsadikan (2016), obtuvieron

resultados similares al realizar un trabajo con el cultivo de papa en una zona semiárida del Norte de Etiopía y encontrando una productividad del agua de 2,79 kg/m³ sin exponer las plantas a estrés hídrico y con un consumo de 673,3mm. Reyes-Cabrera *et al* (2016), encontraron una diferencia de 5,7 kg/m³ en las variedades *Atlantic* y *Fabula* al comparar riego por goteo superficial contra riego por infiltración. Yang *et al* (2017) obtuvieron un uso más eficiente del agua con riego por goteo y uso de plástico como *Mulch* a una proporción de humedecimiento del 40%. Nouri *et al* (2019) encontraron un ahorro del 5% de agua con la combinación de riego por goteo con *mulch* orgánico en el suelo.

CONCLUSIONES

Con el sistema de riego por goteo se obtuvo la mejor brotación de tubérculos a los 28 días después de la siembra y la producción total fue mejor. Esto, estadísticamente no fue significativo, pero agronómicamente las diferencias encontradas son significativas.

En el sistema de riego por goteo la calidad de los tubérculos fue menor a los de riego por aspersión, dado que los tubérculos se vieron afectados en término de papa verde y la plaga *T solanivora*.

El uso más eficiente del agua se presentó con el sistema de riego por goteo (30% menos de agua requerida) aunque las producciones totales fueran similares.

LITERATURA CITADA

- Camire, M. (2016). Potatoes and Human Health. En: Singh, J.; Kaur, L. (eds). *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Elsevier Inc, p, 685-704.
- Castro, H. y Gómez, M. (2013). Capítulo 4. *Fertilidad de suelos y fertilizantes*. En: Burbano, O. y Silva, M. (eds). *Ciencia del suelo principios básicos*. Primera edición. Bogotá DC:Editorial Guadalupe S.A. p, 139-304.
- Chawla, A., Singh, K. (2016). *Performance of drip irrigated potato*. En: Singh, K.; Goyal, M.; Rudra, R. (eds). *Best Management Practices for Drip Irrigation Crops*. Ed Apple Academic Press, Inc, p 299-332.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (CORPOICA) (2009). *Escalas fenológicas de las variedades de papa parda pastusa, Diacol capiro y criolla "yema de huevo" en las zonas productoras de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia*. 34p. Recuperado de: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12893/44240_56518.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Dalla, L., MacKerron, D (2006). *Plant and soil water status*. En: Haverkort, A.; MacKerron, D. (eds). *Management of nitrogen and water in potato production*. Ed. Wageningen Academic Publishers, p,111-173.
- Ferreira, C., Zotarelli, L., Tormena, C., Rens, L., Rowland, D. (2017). *Effects of water table management on least limiting water range and potato root growth*. Agricultural Water Management, (186), 1-11. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.02.020>.
- FOASTAT (2017). *Cantidades de producción de patatas y patatas por país*. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Hess, T., Lennard, A., Daccache, A. (2015). *Comparing local and global water scarcity information in determining the water scarcity footprint of potato cultivation in Great Britain*. Journal of Cleaner Production, (87), 666-674. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.075>.
- Jaramillo, D. (2014). *El suelo: Origen, propiedades, especialidad*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias, p, 553.
- Kafkafi, U., Tarchitzky, J. (2012). *Fertilirrigación, una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua*. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA) e Instituto Internacional de la Potasa, p 151. https://www.ipipotash.org/udocs/391-2012_ifa_ipi_fertilirrigacion.pdf.
- Kifle, M., Gebretsadikan, T. (2016). *Yield and water use efficiency of furrow irrigated potato under regulated deficit irrigation, Atsibi-Wemberta, North Ethiopia*. Rev. Agricultural Water Management, (170), 133-139. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.003>.
- Manickam, J., Pillai, S., Manickam, R. (2018). *Water requirements for horticultural crops under micro*

- irrigation.* En: Goyal, M.; Aladakatti. (eds). Engineering interventions in sustainable trickle irrigation. Ed. Apple Academic Press, Inc, p 3-34.
- Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M., Hoekstra, A. (2019). *Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation.* Science of the Total Environment, (653), 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.311>.
- Ñúñez, C. (2011). Variedades Colombianas de papa. Universidad Nacional de Colombia, p 50. Recuperado de: <https://drive.google.com/file/d/0B0d7qZ6xkUiiRTVzdzd5dnFsdjg/view>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO) (2008). *Año internacional de la Papa.* Recuperado en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/index.html>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO) (2002). *Agua y cultivos logrando el uso óptimo del agua en la agricultura.* Recuperado de: http://www.fao.org/tempref/agl/AGLW/docs/cropsdrops_s.pdf, p 22.
- Peña, F., Zenner, I. (2015). *Irrigation response of potato (Solanum tuberosum L) var. R12 Diacol capri.* Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient, 18(2), 385-392.
- Porras, P., Herrera, C. (2015). *Modelo productivo de la papa variedad Diacon Capri para el departamento de Antioquia.* Corpoica, Mosquera. 92 p. Recuperado en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13751/76688_66357.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quiroz, R. (2012). *Papa o patata.* En: Steduto, P.; Hsiao, T.; Fereres, E.; Raes, D. (eds). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>, p 530.
- Reyes-Cabrera, J., Zotateelli, L., Dukes, M., Rowland, D., Sargent, S. (2016). *Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production.* Agricultural Water Management, (169). Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.001>. pp 183-192
- Reyes-Cabrera, J., Zotateelli, L., Rowland, D., Dukes, M., Sargent, S. (2014). *Drip as alternative irrigation method for potato in Florida sandy soils.* Am. J. Potato Res, 91 (1), 504-516. DOI: 10.1007/s12230-014-9381-0.
- Rodríguez, C., Ruiz de Galerreta, V., Kruse, E. (2015). *Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina.* Journal of Cleaner Production, (90), 91-96. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.075>
- Rodríguez-Perez, L. (2010). *Ecofisiología del cultivo de la papa (Solanum tuberosum L).* Rev. Colomb. Cienc. Hortic, 4 (1), 97-108.
- Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M., Jacobcen, S., Jensen, C. (2007). *Effect of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions.* Field Crops Research, (100), 117-124. doi: 10.1016/j.fcr.2006.05.010.
- Yang, K., Wang, F., Shock, C., Kang, S., Huo, Z., Song, N., Ma, D. (2017). *Potato performance as influenced by the proportion of wetted soil volume and nitrogen under drip irrigation with plastic mulch.* Agricultural Water Management, (179), 260-270. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.014>.
- Zhang, Y., Wang, F., Shock, C., Yang, K., Kang, S., Qin, J., Li, S. (2017). *Influence of different plastic film mulches and wetted soil percentages on potato grown under drip irrigation.* Agricultural Water Management, (180), 160-171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.018>.
- Zhou, Z., Plauborg, F., Parsons, D., Andersen, M. (2018). *Potato canopy growth, yield and soil water dynamics under different irrigation systems.* Agricultural Water Management, (202), 9-18. [https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.009](http://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.009).
- Zin El-Abedin, T., Mattar, M., Alazba, A., Al-Ghabari, H. (2017). *Comparative effects of two water-saving irrigation techniques on soil water status, yield, and water use efficiency in potato.* Scientia Horticulturae, (225), 525-532. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.044>.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

USO DE LOS RECURSOS DE LA BIODIVERSIDAD: ESTUDIO DE CASO DE LA OLEORRESINA DE COPAIBA (*COPAIFERA SPP.*) EN LA MEDICINA TRADICIONAL EN EL DEPARTAMENTO DEL META - COLOMBIA

USE OF BIODIVERSITY RESOURCES: CASE STUDY OF COPAIBA
OLEORRESINA (*COPAIFERA SPP.*) IN TRADITIONAL MEDICINE
IN THE META DEPARTMENT – COLOMBIA

¹**Luis Camilo Toro Chacon**

²**Nicolás Rafael Francisco Robles Valderrama**

³**Daniel Fernando Trigos Aguilera**

⁴**Juan Manuel Trujillo González**

⁵**Marco Aurelio Torres Mora**

^{1,2,3} Ingeniero Agroindustrial, Universidad de los Llanos, Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana ICAOC, Villavicencio – Colombia.

⁴ Ingeniero Agrónomo MSc. PhD. Universidad de los Llanos, Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana ICAOC, Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible – GIGAS. Villavicencio – Colombia.

⁵ Biólogo PhD, Universidad de los Llanos, Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana ICAOC, , Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible – GIGAS. Villavicencio – Colombia.

¹ lluis.toro@unillanos.edu.co

² nicolas.robles@unillanos.edu.co

³ daniel.trigos@unillanos.edu.co

⁴ jtrujillo@unillanos.edu.co

⁵ marcotorres@unillanos.edu.co

RESUMEN

Los recursos de la biodiversidad en los territorios son de vital importancia para el desarrollo socioeconómico y más aún cuando gran parte de su población depende de ellos, como es el caso de la Orinoquia Colombiana, región que cuenta con bosques compuestos por un género del árbol de Copaiba (*Copaifera spp.*) que

origina un producto forestal no maderable, la oleoresina de copaiba o “aceite de palo”. Este artículo aborda un comparativo entre el conocimiento tradicional y científico alrededor de las propiedades y usos dados a la oleoresina de Copaiba extraída del departamento del Meta, con base a una encuesta aplicada a

comunidades rurales de los municipios de San Martín y Mapiripán, en el departamento del Meta – Colombia y publicaciones científicas actuales que abordan la temática específica. En el estudio se halló que gran parte de las propiedades atribuidas por la comunidad rural han sido investigadas con resultados que reafirman los usos tradicionales como medicamento en seres humanos, evidenciando también su utilización en animales. Se afirma entonces que la oleoresina de copaiba presenta principalmente propiedades benéficas para el sistema dérmico y gástrico. En su uso por parte de las comunidades rurales, especialmente población adulta, en un gran porcentaje (80%), la ingiere en dosificaciones que van desde 3 a 20 gotas diarias, mientras que tan solo un 20% hace aplicación dérmica superficial. La variedad en el uso de la Oleoresina proveniente del género Copaiba y la necesidad de seguir profundizando en las propiedades medicinales que ofrece, pueden convertirse en una alternativa para su conservación y uso en áreas rurales donde se encuentra en el departamento del Meta.

Palabras clave: Medicinal, Orinoquia, Usos tradicionales, Aceite esencial, Aceite de palo.

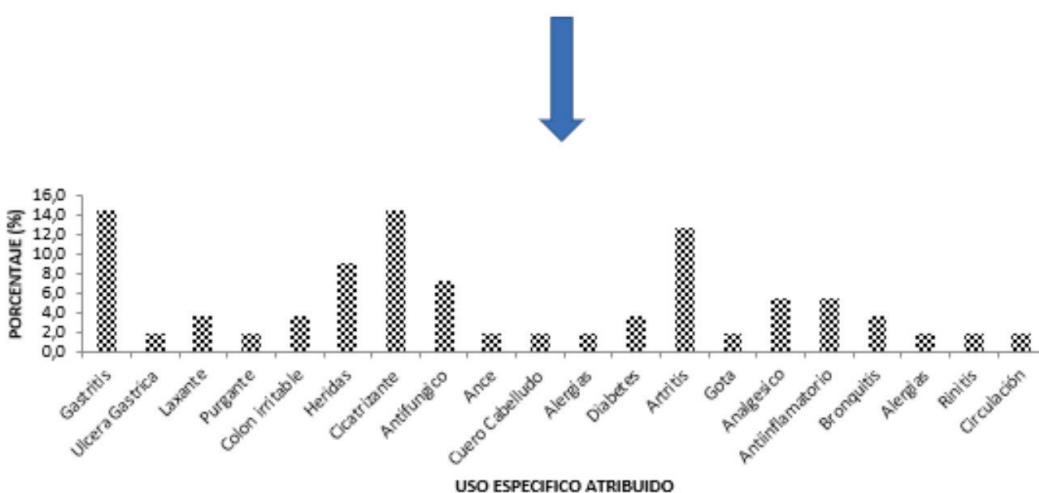
ABSTRACT

The ecosystem services are of vital importance for the socioeconomic development of

a region and even more when a large part of its population depends on them, as is the case of the region of the Colombian Orinoquia, and more specifically the department of Meta. The oleoresin of copaiba is a non-timber forest product indigenous to tropical zones found in the department of Meta, which has benefits for human health. The purpose of this article is to make Copaiba's oleoresin (*Copaifera spp.*) derived from supply and cultural services known as a socioeconomic alternative for the department of Meta through a comparison of its scientifically proven medicinal uses and those attributed by the rural community of the department. In the study it was found that a large part of the properties attributed by the rural community have already been studied with positive results, besides it was proved that it is not only used medicinally in humans but also in animals, with dosage ranging from 3 to 20 drops daily and dermal application. It is then stated that the oleoresin of copaiba has mainly beneficial properties for the dermal and gastric system, evidencing that a large percentage that consumes it is an adult population in dosages of 15 drops per day and superficial dermal applications.

Key words: Medicinal, Orinoquia, Traditional uses, Stick oil, Essential oil.

Resumen gráfico



INTRODUCCIÓN

La biodiversidad es un importante productor de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano (Mori et al., 2017). Sin embargo, únicamente se han desarrollado estudios del 5% de ésta y el mayor desafío ha sido saber cómo tener un acceso eficiente y eficaz, y valorizar la diversidad química natural (David et al., 2015). Un ejemplo de lo anterior es el género *Copaifera* spp., parte de la familia de las Fabaceae o leguminosas, donde los árboles, en su etapa adulta, son robustos con alturas que alcanzan de 25 a 40 metros y con diámetros hasta de 4 metros y distribuido en la región intertropical de América Latina y África Occidental (Junior y Pinto, 2002). García y Yamaguchi (2012), reportan que en el continente americano se distribuyen desde Argentina hasta México y que en Brasil se reporta el mayor número de especies

con 20, de las cuales 17 son endémicas. En Colombia, el género se encuentra principalmente en la amazonia y parte de la Orinoquia, donde se han reportado tres especies *Copaifera pubiflora* (Benth) endémica del país y las especies *Copaifera canime* (Harms) y *Copaifera officinalis* (Jacq) (Bernal et al., 2011).

El principal producto de los árboles del género *Copaifera* spp. es la oleoresina o "aceite de palo", cuyas características son de un líquido viscoso extraído del tronco del árbol. Esta oleoresina es poco conocida comercialmente, sin embargo, en Brasil se han adelantado diversas investigaciones sobre su uso y aplicación (García y Yamaguchi, 2012; Scur et al., 2016; Lucca et al., 2015). Para el caso específico de la Orinoquia Colombiana, las comunidades locales que

cuentan con el recurso extraen la oleoresina de forma artesanal para comercializarla en la misma región con destino a diversos usos, principalmente enfocados en temas de salud humana. Con base en lo anterior, el propósito del presente estudio fue recopilar los usos tradicionales dados a la oleoresina de *Copaifera spp* por comunidades locales del departamento del Meta (Oriñoquia colombiana) y compararlo con las investigaciones adelantadas a nivel mundial en esta temática, reportadas en la literatura científica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información primaria recolectada sobre el uso tradicional de la oleoresina de copaiba, se realizó mediante un instrumento de captura de información cualitativa tipo encuesta, que consistió en búsqueda sistemática de información en la que el investigador pregunta a los investigados sobre temas de interés (De Rada, 2012). Se consultaron temas sobre uso, dosis y asuntos generales de la oleoresina de copaiba a pobladores rurales del municipio de San Martín y municipios aledaños en el departamento del Meta que compran activamente el producto.

Para la recopilación de información secundaria se llevó a cabo una revisión literaria en la que se tomó como base de la información portales

de búsqueda científica como Research Gate y Google Scholar, la búsqueda de los documentos consultados fue en los idiomas inglés, portugués y español. El principal criterio de inclusión de la búsqueda fue que las investigaciones se enfocaran en las especies *Copaifera spp.* y que trataran de la oleoresina; además los trabajos y artículos investigativos consultados fueron en 80% de los últimos 15 años. Como criterios de exclusión están aquellos trabajos que, aunque tratasen de *Copaifera spp.*, no estuvieran orientados a la oleoresina y aquellas publicaciones que no contaran con fecha y autor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Usos y aplicaciones tradicionales de oleoresina de Copaiba

La identificación de los usos y aplicaciones de la oleoresina de Copaiba se llevó a cabo a través de una encuesta a compradores de este producto en mercado rural, en San Martín y municipios aledaños, en el departamento del Meta. En la figura 1, se presentan los resultados donde se evidencia que el 36,4% de la población encuestada lo usa como tratamiento dérmico, seguido de usos para tratamientos del sistema digestivo y articular con un 25,5% y 14,5% respectivamente.

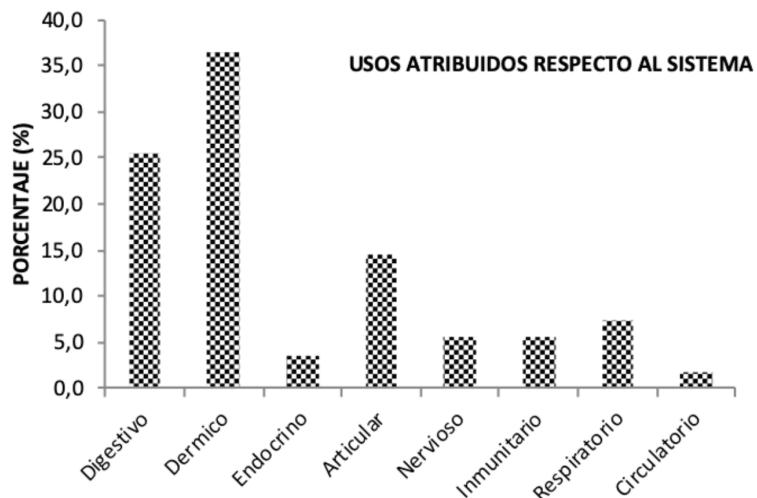


Figura 1. Usos medicinales atribuidos a la oleoresina de Copaiba por la comunidad rural del departamento del Meta.

Fuente: Autoría propia.

Los usos específicos más frecuentes dados por la comunidad rural a la oleoresina de copaiba (Figura 2.) es como tratamiento para la gastritis (15%), cicatrices (15%), artritis (13%), heridas (9%) y antifúngico (7%).

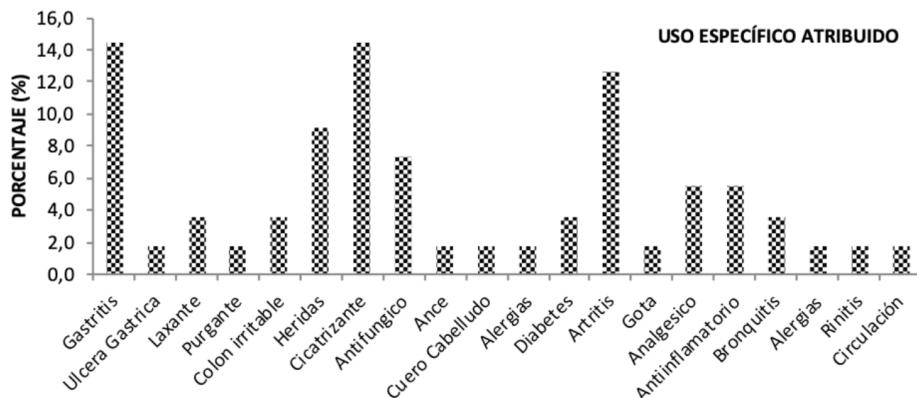


Figura 2. Usos medicinales específicos atribuidos por la comunidad rural del departamento del Meta a la oleoresina de copaiba.

Fuente de: Autoría propia.

Con respecto al modo de uso, el 80% de los encuestados coincidieron que la mejor forma de aplicación de este producto es por vía oral, de los cuales el 30% ingiere 15 gotas/día, y el 25% ingiere 3 gotas/día; esto coincide con los usos medicinales atribuidos puesto que el consumo de 15 gotas/día, según palabras de los encuestados, se hace con el fin de obtener tratamientos en el sistema digestivo específicos como gastritis, laxante y colon irritable. El 20% restante de la población encuestada hace uso dérmico de la oleoresina de copaiba para tratamientos específicos como cicatrizante, para heridas y antifúngico.

Finalmente, en cuanto al tipo de población que hace uso del producto, el 66,7% del total de los encuestados expresó que son los adultos los principales consumidores, sin embargo, un 14,8% manifiesta que en su hogar hacen uso de la oleoresina personas de todas las edades, y un 3,7% manifestó que son los menores quienes la consumen. Adicionalmente, se identificó que los compradores de la oleoresina también la utilizan para tratar a sus animales, ya que el 14,8% de los encuestados así lo manifestaron (Figura 3).

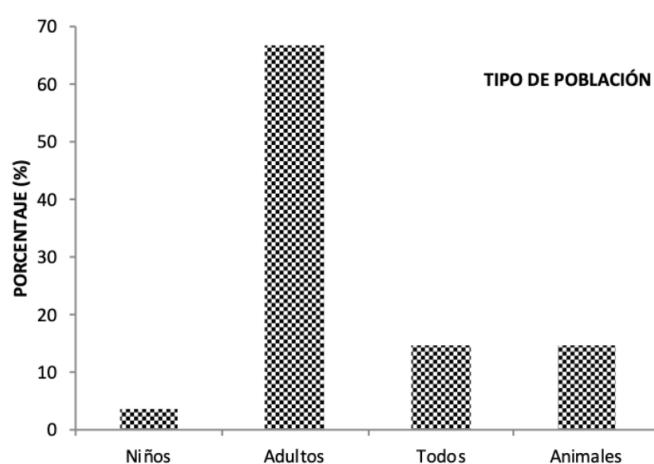


Figura 3. Tipo de población que consume la oleoresina de copaiba.

Análisis comparativo usos tradicionales vs. reportes en literatura científica

En la búsqueda de información secundaria y en concordancia con los criterios de inclusión y exclusión se encontraron 42 estudios, de los cuales se excluyeron 9, y los 33 restantes fueron artículos científicos y tesis de grado. Para la información primaria se encuestó a 22 personas habitantes del área rural de los municipios Mapiripán y San Martín. De manera general se encontró que las comunidades locales utilizan la oleoresina de Copaiba para tratar 20 afectaciones de la salud, tales como enfermedades asociadas al sistema dérmico en un 36,4 %, Digestivo 25,5 %, articular 12,7 %, respiratorio 7,3 % entre otros, las dosis para estos tratamientos varían entre 3 y 20 gotas al día y el 66,7 % de los consumidores son adultos. Por su parte, Arroyo-Acevedo et al. (2011) y Arroyo et al. (2009), mencionan que el estudio del aceite de copaiba para el beneficio humano directo e indirecto ha tenido diferentes enfoques investigativos principalmente en Brasil, donde se ha reportado su uso tradicional desde el siglo XVI por los habitantes nativos del norte y noreste del país, como anti-inflamatorio, antitumoral, antiséptico urinario, contra enfermedades de la piel, úlceras y cicatrizante de heridas.

Las comunidades rurales mencionan que el 25,5 % de los usos están orientados a tratar enfermedades relacionadas con el sistema digestivo tales como: gastritis, ulceras gástricas, colon irritable y con uso laxante y purgante. Por su parte, en la literatura se reportan estudios también relacionados con el sistema digestivo como tratamiento para la gastritis, la ulceras gástricas y el cáncer gástrico; uno de los estudios para tratar la ulceras gástricas fue llevado a cabo con la oleoresina de la especie *C. langsdorffii* administrado por vía oral con diferentes concentraciones en ratas con lesiones gástricas, presentando resultados positivos en

todas las pruebas, esto destaca el potencial gastroprotector de la oleoresina (Paiva et al., 1998); otro estudio enfocado para tratamiento de gastritis fue llevado a cabo con la oleoresina de la especie *C. officinalis* también en ratas, y presentó una eficacia de 100% como citoprotector, superando al omeprazol (97.8%), verificado mediante cortes histológicos, mostrando resultados efectivos nuevamente como agente gastroprotector (Arroyo et al., 2009). Un estudio para el tratamiento del cáncer gástrico fue llevado a cabo con ácido Kaurenoico obtenido a partir de la oleoresina de copaiba y mostró que induce daño en el ADN y aumenta la frecuencia de micronúcleos de forma dependiente de la dosis en las células del cáncer gástrico, con una genotoxicidad significativa observada por encima de la concentración de 5 µg/ml y además, este compuesto disminuye el ciclo celular y la apoptosis en células del cáncer gástrico (Dos Santo Cardoso et al., 2017).

Entre los usos medicinales se encuentran varios enfocados al sistema dérmico, representando estos un total del 36,4% de usos mencionados por las comunidades locales, donde los asocian al tratamiento para heridas, cicatrizante, antifúngico, acné, cuero cabelludo y alergias. Por su parte, en la literatura se reportan estudios de usos medicinales similares a los reportados por las comunidades locales, tales como: tratamiento de la leishmaniasis, heridas cutáneas, cicatrización y antifúngico (Santos et al., 2008; Kvist et al., 2006; Santos et al., 2011; Santos et al., 2012); mediante estos estudios, aunque no se ha identificado claramente el mecanismo de acción de la oleoresina sobre el parásito leishmania, es una opción viable y rápida de tratamiento, segura y más económica que los mecanismos tradicionalmente utilizados (Santos et al. 2011). Otro estudio llevado a cabo con la oleoresina de la especie *C. Langsdorffii* en heridas cutáneas inducidas a ratas, indican el efecto beneficioso

en el tratamiento y cicatrización de las heridas, lo que justifica su uso tradicional para tal fin (Paiva et al., 2002); Otro estudio llevado a cabo con la oleoresina de copaiba en ratas se enfoca a evaluar la capacidad de cicatrización en heridas alveolares que tiene esta oleoresina concluyendo que la administración sistémica de la oleoresina de copaiba conduce a una mejor curación ósea alveolar, sin embargo, la aplicación de la oleoresina sobre el tejido conectivo debe considerarse cuidadosamente, con respecto a la cicatrización de toda la herida (Dias-da-Silva, et al., 2013); Un último estudio que demuestra la influencia de la oleoresina en los tratamientos a afectaciones del sistema dérmico se llevó a cabo con la oleoresina de la especie *C. Langsdorffii* contra diferentes hongos que afectan los tejidos queratinizados tanto en humanos como en animales, demostrando mediante los resultados un daño físico y alteraciones morfológicas tales como compresión e hifas agrupadas en la estructura de los hongos expuestos a la acción de la oleoresina. Esto confirma los beneficios de la aplicación de oleoresina extraída de copaiba en el tratamiento de la dermatofitosis, tanto en humanos como en animales (Zimmermann-Franco et al., 2013). Entre los usos medicinales tradicionales enfocados al sistema dérmico que le da la comunidad rural a la oleoresina pero que no han sido estudiados científicamente, se tienen el tratamiento para el acné, alergias cutáneas y cuero cabelludo.

Entre los usos medicinales se encuentra uno enfocado al sistema endocrino, más específicamente al tratamiento contra la diabetes, representando este un total del 3,6% de las respuestas de los usos tradicionales que le da la comunidad rural a la oleoresina. De otro lado, en la literatura se encuentra un estudio relacionado indirectamente con el tratamiento para la diabetes, la investigación se enfoca en la mejor capacidad de curación de

heridas que tiene la oleoresina de copaiba versus una pomada usada para estas lesiones, por lo cual lo sugiere como una buena opción para su uso en pacientes diabéticos (Amorim et al., 2017).

Otro de los principales usos medicinales que ha tenido el aceite de copaiba a nivel tradicional en el sistema inmunitario y articular es para la artritis inflamatoria e inflamaciones en el cuerpo humano en general, ya que el 16,4% de las personas encuestadas así lo confirman. La población rural no se ha equivocado al hacer esta apreciación y atribuirle estos usos a la oleoresina, ya que en un experimento realizado en el 2016, a 3 grupos de ratas se les suministraron 3 tratamientos: indometacina, cloruro de sodio y aceite de copaiba, para luego inducirles un edema por medio de un agente inflamatorio (carragenina) y comparar el efecto de cada tratamiento, resultando la oleoresina de copaiba con un efecto muy similar al de la indometacina al momento de evitar la formación de edemas (Canchuja et al., 2016). También se confirma el comportamiento antiinflamatorio del aceite de copaiba al momento de tratar en un experimento el edema en patas de ratas con oleoresina extraída de la especie *Copaifera multijuga* Hayne, obteniendo como resultado que el aceite presenta una actividad antiinflamatoria a través de la inhibición de las vías histaminérgicas y serotoninérgicas (De Matos Gomes et al., 2010). Específicamente, otro estudio llevado a cabo con oleoresina de la especie *C. reticulata* a ratas con artritis inducida por adyuvante reveló que la oleoresina de copaiba presentó acciones sistémicas antiinflamatorias y antioxidantes en ratas artríticas, sin embargo, estos efectos beneficiosos fueron contrarrestados por modificaciones perjudiciales en el metabolismo hepático y la morfología de las ratas de control sanas (Castro Ghizoni et al., 2017).

Además de las propiedades benéficas de la oleoresina de copaiba al sistema inmunitario y articular nombradas anteriormente, un 1,8% de la población rural encuestada afirma utilizar la oleoresina como tratamiento para la enfermedad de la gota, hecho que aún no se ha corroborado científicamente.

Otra de las propiedades medicinales nombradas por la comunidad rural en la encuesta aplicada fue su efecto analgésico, ya sea como antinociceptivo o ansiolítico, con un 5,5% de la población encuestada que lo confirma. Resulta de gran relevancia en la actualidad encontrar compuestos analgésicos naturales en reemplazo de los analgésicos sintéticos que pueden llegar a producir adicción y problemas estomacales, e incluso en reemplazo de analgésicos narcóticos usados en casos especiales., motivo que ha llevado a investigaciones en el aceite de la especie *C. dukei* Dwyer para uso analgésico en ratas a diferentes concentraciones, presentando resultados positivos de inhibición del proceso de retorcimiento, lo que indica que la oleoresina tiene actividades tópicas analgésicas (Carvalho et al., 2005). Se han llevado a cabo de igual forma dos estudios con la oleoresina de copaiba para evaluar el efecto antinociceptivo que esta posee obteniendo resultados positivos, el primero adelantado con *C. Multijuga* demostró un efecto antinociceptivo probablemente mediado por receptores opioides ya que la posterior administración de naloxona inhibió tal efecto (De Matos Gomes et al. 2010), el otro estudio llevado a cabo mediante una comparación de las oleoresinas de *Copaifera multijuga* Hayne y *Copaifera reticulata* Ducke, demostraron en primer lugar que los aceites de Copiba no desarrollan efectos tóxicos en el organismo e indicaron también que demuestran un efecto antinociceptivo periférico y central, el cual puede ser útil en el tratamiento de trastornos algésicos (Gomes et al. 2007). Otro análisis de la oleoresina de

copaiba proveniente de la *Copaifera reticulata* Ducke con la finalidad de comprobar el efecto ansiolítico que esta podía llegar a presentar aplicada experimentalmente a ratas, produjo un efecto ansiolítico positivo sin afectar adversamente los niveles generales de actividad (Curio et al. 2009).

De los usos medicinales atribuidos por la comunidad rural, un 7,3% de la población encuestada le atribuye a la oleoresina de copaiba propiedades benéficas para el sistema respiratorio como tratamiento para la gripe, alergias respiratorias y la rinitis, propiedades que no han sido corroboradas científicamente, pero que podrían asociarse a los efectos antimicrobianos confirmados por investigaciones del potencial antimicrobiano de la oleoresina proveniente de géneros de *Copaifera spp.* y de la *C. langsdorffii*, la cual esterilizada en autoclave puede considerarse como una fuente de agente potencial contra la infección o para la conservación de alimentos, ya que inhibe el crecimiento de bacilos gram positivos como la *Listeria monocytogenes* (Pieri, 2010).

Para el caso de la isquemia, detención o disminución en la circulación sanguínea a través de las arterias de una determinada zona del cuerpo (Ramos-Gallardo y Miranda, 2014), el 1,8% de la población rural encuestada dice usar la oleoresina de copaiba como tratamiento para esta afectación del sistema circulatorio, propiedad que ha sido estudiada científicamente también. a partir de *C. langsdorffii*, cuya oleoresina fue evaluada en su efecto para el daño intestinal asociado con isquemia/reperfusión a dos grupos de ratas albinas a las que se les aplicó 200 y 400 mg/kg respectivamente, y cuyos resultados se expresan con atenuaciones significativas en los aumentos asociados con las actividades de mieloperoxidasa, malondialdehído y catalasa, al igual que en el nivel de

nitrito, indicando que la oleoresina de esa especie en particular tiene una acción protectora contra el daño del tejido intestinal inducido por la isquemia/reperfusión (Paiva et al., 2004).

Además de los usos medicinales, el 1,8% de la población rural encuestada afirma que la oleoresina de copaiba tiene propiedades insecticidas. Un estudio con el objetivo de reemplazar los insecticidas 100% sintéticos con mezclas de insecticidas botánicos y sintéticos, encontró que la toxicidad de la oleoresina aumentó sustancialmente al adicionarle insecticidas sintéticos, especialmente con mezclas más bajas con beta-cipermetrina, metomilo y triazofos (Almeida et al., 2017), lo que corrobora el uso como insecticida dado por parte de la población rural a la oleoresina de copaiba.

A nivel mundial son claros los esfuerzos investigativos que se han hecho para contrarrestar los efectivos negativos y mortales del cáncer, donde la oleoresina de copaiba ha sido estudiada como alternativa natural para el tratamiento contra este letal mal; es necesario aclarar que en la encuesta desarrollada la población rural no nombró la propiedad antitumoral. En pruebas hechas a diferentes tipos de cáncer con la oleoresina se han comprobado resultados positivos y uno negativo; en cuanto a los primeros resultados, se demostró que la oleoresina de *C. multijuga* y sus fracciones tienen actividad antitumoral en la línea celular de melanoma en modelos *in vivo* e *in vitro*, reduciendo el crecimiento del tumor en un 58% y el peso del tumor en un 76% (Lima et al. 2003). En otro de los resultados positivos con aceite de *C. multijuga* se encontró que el tumor ascítico de Ehrlich (EAT) redujo su volumen, demostrando así su efecto neoplásico después de su administración oral (de Matos Gomes et al. 2008). En cuanto al resultado negativo como agente antitumoral, se suministró a ratas con carcinoma Walker 256 oleoresina

de *C. officinalis*, observándose un potencial inhibitorio negativo del 70% y estímulo al crecimiento del tumor (Brito et al. 2010).

Otros estudios adelantados en los últimos años tienen que ver con investigaciones acerca de la capacidad mutagénica de la oleoresina de diferentes especies de Copaibas. De manera específica para la especie *C. dukei* Dwyer utilizando tres diferentes concentraciones y tres diferentes intervalos de tiempo en ratas, presentó resultados negativos, debido a que no se produjeron efectos mutagénicos sobre las células de la médula ósea ni en los reticulocitos periféricos evaluados por aberraciones cromosómicas (Maistro et al., 2005). Otro estudio de evaluación del potencial mutagénico con la especie *C. langsdorffii* Desfon en ratas con diferentes concentraciones de oleoresina y diferentes tiempos de administración oral, obtuvo en cambio resultados positivos en cuanto a la potencialidad mutagénica, ya que, se observó un aumento significativo de frecuencia de micronúcleos en eritrocitos policromáticos (EPCMN) con frecuencia máxima a las 24 horas (Chen-Chen y Sena, 2002).

La oleoresina de copaiba a pesar de ser conocida por su amplia variedad de propiedades benéficas para el ser humano también presenta algunos efectos negativos que han sido evaluados con el fin de no hacer un uso indiscriminado del producto. Estudios acerca del efecto antiproliferativo que tiene la oleoresina extraída de la especie *C. dukei*, tratando un grupo de ratas con el producto antes de someterlas a una cirugía en el hígado, se encontró un aumento en el consumo de oxígeno mitocondrial acoplado a la síntesis de ATP, dando lugar a una disminución significativa en la relación del control respiratorio, lo que se traduce en un desacoplamiento de la fosforilación oxidativa en la mitocondria y por ende una disminución en la proliferación hepatocelular, demostrando el efecto tóxico que tiene

este producto (Casto-e-Silva et al., 2004). Adicionalmente se conoce el efecto embriotóxico de la oleoresina de *C. reticulata*, donde a través de una investigación realizada en ratas Wistar embarazadas, a las que se les suministró en diferentes concentraciones, se determinó que fue tóxica para la madre reduciendo el consumo de alimentos y aumentando el peso, al igual que provocó menor peso corporal y mayor incidencia de variaciones del esqueleto fetal, ambos resultados a partir de concentraciones de 500mg/kg/día (Sachetti et al., 2011).

CONCLUSIONES

A partir de la revisión literaria se pudo corroborar que el conocimiento tradicional de las comunidades rurales de San Martín y Mapiripán, Meta, Colombia, respecto a las propiedades de la oleoresina de copaiba, es acertado. Al consultar las diferentes fuentes científicas, se encontró que, para la mayoría de los usos atribuidos por las comunidades, existe al menos una investigación que lo respalda.

Por medio de la comparación que se desarrolló en el presente trabajo entre el conocimiento tradicional y el científico, se presenta la necesidad de seguir profundizando en nuevas investigaciones acerca del potencial medicinal de estas sustancias naturales que provienen de la diversidad de especies de este género, lo que puede significar que haya variaciones en la composición de la oleoresina y a su vez en las propiedades de la misma. A raíz de lo anterior, se sugiere que los futuros estudios estén orientados de forma progresiva desde la botánica hasta la gestión ambiental del recurso natural, como estrategia para lograr un aprovechamiento sostenible por parte de las comunidades rurales poseedoras de áreas donde está establecido el género *Copaifera spp*, especialmente en la Orinoquia colombiana.

LITERATURA CITADA

- Alcaldía de Mapiripán. (2016) *Plan de desarrollo "La Fuerza del Pueblo 2016 – 2019"*. Recuperado de: [https://ceo.uniandes.edu.co/images/Documentos/Plan_de_Desarrollo_-Mapirip%C3%A1n.pdf]
- Almeida, W. A. D., Silva, I. H. I. D., Santos, A. C. V. D., Barros Junior, A. P., & Sousa, A. H. D. (2017). *Potentiation of Copaiba Oil-resin with Synthetic Insecticides to Control of Fall Armyworm*. Revista caatinga, 30(4), 1059-1066.
- Amorim, J. L., de Barros Figueiredo, J., Amaral, A. C. F., de Oliveira Barros, E. G., Palmero, C., MPalantinos, M. A., ... & Basso, S. L. (2017). *Wound healing properties of *Copaifera paupera* in diabetic mice*. PloS one, 12(10), e0187380.
- Arroyo, J., Almora, Y., Quino, M., Martínez, J., Condorhuamán, M., Flores, M., & Bonilla, P. (2009). *Copaifera officinalis oil cytoprotector and antisecretory effects in induced gastric lesions in rats*. Anales de la Facultad de Medicina, 70(2), 89-96.
- Arroyo-Acevedo, J., Quino-Florentini, M., Martínez-Heredia, J., Almora-Pinedo, Y., Alba-González, A., & Condorhuamán-Figueroa, M. (2011, April). *Efecto cicatrizante del aceite de *Copaifera officinalis* (copaiba), en pacientes con úlcera péptica*. En Anales de la Facultad de Medicina (Vol. 72, No. 2, pp. 113-117). UNMSM. Facultad de Medicina.
- Bernal, H. Y., Martínez, G., Sánchez, Q., & FelipeEd, G. (2011). *Pautas para el conocimiento, conservación y uso sostenible de las plantas medicinales nativas en Colombia*. Estrategia nacional para la conservación de plantas.
- Brito, N. M. B., Brito, M. V. H., Carvalho, R. D. K. V., Matos, L. T. D. M. B., Lobato, R. C., Correa, S. C., & Brito, R. B. (2010). *The effect of copaiba balsam on Walker 256 carcinoma inoculated into the vagina and uterine cervix of female rats*. Acta cirurgica brasileira, 25(2), 176-180.
- Canchuja, F. E. A., Lazo, K. A., & Contreras, C. (2016). *Estudio experimental comparativo del efecto analgésico y antiinflamatorio de *Copaiba* frente a morfina e indometacina*. Revista de la facultad de medicina humana, 14(1).
- Carvalho, J. C. T., Cascon, V., Possebon, L. S., Morimoto, M. S. S., Cardoso, L. G. V., Kaplan, M. A. C., & Gilbert, B. (2005). *Topical antiinflammatory and analgesic activities of *Copaifera duckei* Dwyer*. Phytotherapy Research, 19(11), 946-950.

- Castro Ghizoni, C. V., Arssufi Ames, A. P., Lameira, O. A., Bersani Amado, C. A., Sá Nakanishi, A. B., Bracht, L., ... & Comar, J. F. (2017). *Anti-Inflammatory and Antioxidant Actions of Copaiba Oil Are Related to Liver Cell Modifications in Arthritic Rats*. *Journal of cellular biochemistry*, 118(10), 3409-3423.
- Castro-e-Silva, O., Zucoloto, S., Ramalho, F. S., Ramalho, L. N., Reis, J., Bastos, Á. A., & Brito, M. V. (2004). *Antiproliferative activity of *Copaifera duckei* oleoresin on liver regeneration in rats*. *Phytotherapy Research*, 18(1), 92-94.
- Chen-Chen, L., & Sena, M. A. (2002). *Atividade tóxica e mutagênica do óleo de copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) em camundongos*. *Rev. Bras. Plant Med*, 5, 37-40.
- Curio, M., Jacone, H., Perrut, J., Pinto, Â. C., Valdir Filho, F. V., & Silva, R. C. (2009). *Acute effect of *Copaifera reticulata* Ducke copaiba oil in rats tested in the elevated plus-maze: an ethological analysis*. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 61(8), 1105-1110.
- De Matos Gomes, N., de Moraes Rezende, C., Fontes, S. P., Hovell, A. M. C., Landgraf, R. G., Matheus, M. E., ... & Fernandes, P. D. (2008). *Antineoplastic activity of *Copaifera multijuga* oil and fractions against ascitic and solid Ehrlich tumor*. *Journal of ethnopharmacology*, 119(1), 179-184.
- De Matos Gomes, N., de Rezende, C. M., Fontes, S. P., Matheus, M. E., da Cunha Pinto, A., & Fernandes, P. D. (2010). *Characterization of the antinociceptive and anti-inflammatory activities of fractions obtained from *Copaifera multijuga* Hayne*. *Journal of ethnopharmacology*, 128(1), 177-183.
- David, B., Wolfender, J. L., & Dias, D. A. (2015). *The pharmaceutical industry and natural products: historical status and new trends*. *Phytochemistry Reviews*, 14(2), 299-315.
- De Rada, V. D. (2012). *Ventajas e inconvenientes de la encuesta por Internet*. *Papers: revista de sociología*, 97(1), 193-223.
- Dias-da-Silva, M. A., Pereira, A. C., Marin, M. C., & Salgado, M. A. (2013). *The influence of topical and systemic administration of copaiba oil on the alveolar wound healing after tooth extraction in rats*. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 5(4), e169.
- Dos Santos Cardoso, P. C., da Rocha, C. A. M., Leal, M. F., de Oliveira Bahia, M., Alcântara, D. D. F. Á., dos Santos, R. A., ... & do Ó Pessoa, C. (2017). *Effect of diterpenoid kaurenoic acid on genotoxicity and cell cycle progression in gastric cancer cell lines*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 89, 772-780.
- Garcia, R. F., & Yamaguchi, M. H. (2012). *Óleo de copaíba e suas propriedades medicinais: revisão bibliográfica*. *Saúde e Pesquisa*, 5(1).
- Gomes, N. M., Rezende, C. M., Fontes, S. P., Matheus, M. E., & Fernandes, P. D. (2007). *Antinociceptive activity of Amazonian *Copaiba* oils*. *Journal of Ethnopharmacology*, 109(3), 486-492.
- Junior, V. V., & Pinto, A. C. (2002). *O Gênero *Copaifera* L. Quim. Nova*, 25(2), 273-286. Kvist, L. P., Christensen, S. B., Rasmussen, H. B., Mejia, K., & Gonzalez, A. (2006). *Identification and evaluation of Peruvian plants used to treat malaria and leishmaniasis*. *Journal of ethnopharmacology*, 106(3), 390-402.
- Kvist, L. P., Christensen, S. B., Rasmussen, H. B., Mejia, K., & Gonzalez, A. (2006). *Identification and evaluation of Peruvian plants used to treat malaria and leishmaniasis*. *Journal of ethnopharmacology*, 106(3), 390-402.
- Lima, S. R., Junior, V. F. V., Christo, H. B., Pinto, A. C., & Fernandes, P. D. (2003). *In vivo and in vitro studies on the anticancer activity of *Copaifera multijuga* Hayne and its fractions*. *Phytotherapy Research*, 17(9), 1048-1053.
- Lucca, L. G., de Matos, S. P., Borille, B. T., Dias, D. D. O., Teixeira, H. F., Veiga Jr, V. F., ... & Koester, L. S. (2015). *Determination of β-caryophyllene skin permeation/retention from crude copaiba oil (*Copaifera multijuga* Hayne) and respective oil-based nanoemulsion using a novel HS-GC/MS method*. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 104, 144-148.
- Maistro, E. L., Carvalho, J. C. T., Cascon, V., & Kaplan, M. A. C. (2005). *In vivo evaluation of the mutagenic potential and phytochemical characterization of oleoresin from *Copaifera duckei* Dwyer*. *Genetics and Molecular Biology*, 28(4), 833-838.
- Mori, A. S., Lertzman, K. P., & Gustafsson, L. (2017). *Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology*. *Journal of Applied Ecology*, 54(1), 12-27
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2017).

Sistemas de Conocimientos Locales e Indígenas. Recuperado de: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/priority-areas/links/related-information/what-is-local-and-indigenous-knowledge/>

Paiva, L. A. F., de Alencar Cunha, K. M., Santos, F. A., Gramosa, N. V., Silveira, E. R., & Rao, V. S. N. (2002). *Investigation on the wound healing activity of oleoresin from *Copaifera langsdorffii* in rats.* Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives, 16(8), 737-739.

Paiva, L. A. F., Gurgel, L. A., Campos, A. R., Silveira, E. R., & Rao, V. S. N. (2004). *Attenuation of ischemia/reperfusion-induced intestinal injury by oleoresin from *Copaifera langsdorffii* in rats.* Life Sciences, 75(16), 1979-1987.

Paiva, L. A. F., Rao, V. S. N., Gramosa, N. V., & Silveira, E. R. (1998). *Gastroprotective effect of *Copaifera langsdorffii* oleoresin on experimental gastric ulcer models in rats.* Journal of ethnopharmacology, 62(1), 73-78.

Pieri, F. A., José, R. M., Galvão, N. N., Nero, L. A., & Moreira, M. A. S. (2010). *Antimicrobial activity of autoclaved and non autoclaved copaiba oil on *Listeria monocytogenes*.* Ciéncia Rural, 40(8), 1797-1801.

Ramos-Gallardo, G., & Altamirano, A. M. (2014). *Importancia del daño isquemia-reperfusión en cirugía plástica.* Cirugía Plástica, 24(1), 57-60.

Sachetti, C. G., de Carvalho, R. R., Paumgartten, F. J., Lameira, O. A., & Caldas, E. D. (2011). *Developmental toxicity of copaiba tree (*Copaifera reticulata* Ducke, Fabaceae) oleoresin in rat.* Food and Chemical Toxicology, 49(5), 1080-1085.

Santos, A. O., Costa, M. A., Ueda-Nakamura, T., Dias-Filho, B. P., da Veiga-Júnior, V. F., de Souza Lima, M. M., & Nakamura, C. V. (2011). *Leishmania amazonensis: effects of oral treatment with copaiba oil in mice.* Experimental parasitology, 129(2), 145-151.

Santos, A. O., Ueda-Nakamura, T., Dias Filho, B. P., da Veiga Junior, V. F., & Nakamura, C. V. (2012). *Copaiba oil: an alternative to development of new drugs against leishmaniasis.* Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2012.

Santos, A. O., Ueda-Nakamura, T., Dias Filho, B. P., Junior, V. F. V., Pinto, A. C., & Nakamura, C. V. (2008). *Effect of Brazilian copaiba oils on Leishmania amazonensis.* Journal of ethnopharmacology, 120(2), 204-208.

Scur, M. C., Pinto, F. G. S., Pandini, J. A., Costa, W. F., Leite, C. W., & Temponi, L. G. (2016). *Antimicrobial and antioxidant activity of essential oil and different plant extracts of *Psidium cattleianum Sabine*.* Brazilian Journal of Biology, 76(1), 101-108.

Zimmermann-Franco, D. C., Bolutari, E. B., Polonini, H. C., do Carmo, A. M. R., das Graças AM Chaves, M., & Raposo, N. R. (2013). *Antifungal activity of *Copaifera langsdorffii Desf* oleoresin against dermatophytes.* Molecules, 18(10), 12561-12570.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo financiero del Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana – ICAOC de la Universidad de los Llanos y al productor de la oleoresina de copaiba Wilson Gutiérrez del municipio de Mapiripán – Meta por toda la información suministrada.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

FLORA VASCULAR Y VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN VILLAVICENCIO: CONFLICTOS CON LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

VASCULAR FLORA AND SOCIAL INTEREST URBANIZATION IN VILLAVICENCIO: CONFLICTS WITH THE BIODIVERSITY CONSERVATION

¹ **Castro-Arguello G.S.**

² **Cruz-Fernández J.**

³ **Ortiz-Moreno M.L.**

¹ Estudiante de Ingeniería Agronómica, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia

² Bióloga, estudiante de maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.

³ Bióloga, MSc en microbiología, doctora en ecología y recursos naturales, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia

¹giovanny.castro@unillanos.edu.co

²johanna.cruz@unillanos.edu.co

³mlortiz@unillanos.edu.co

RESUMEN

Colombia presenta alrededor de 24.530 especies de plantas vasculares. Sin embargo, esta riqueza florística está disminuyendo o presentando algún grado de amenaza, debido a que su hábitat se ha reducido por el desarrollo de actividades antrópicas como es la urbanización, minería, agricultura, entre otras. Esta misma tendencia se observa en Villavicencio. Por ello, la presente investigación tiene como objetivo describir la diversidad florística remanente en las rondas hídricas del Caño Zuria y humedal La Madrid ubicadas en el barrio homónimo. Para llevar a cabo la investigación, se realizaron muestreos oportunistas donde se colectó material vegetal en estado reproductivo y se

identificaron a especie. Como resultados se encontró que la flora asociada al humedal La Madrid posee 19 especies de plantas vasculares agrupadas en 13 familias, siendo Poaceae la mejor representada. De las especies registradas hay dos que están en la categoría de amenaza preocupación menor (LC), las cuales son *Andropogon bicornis* y *Solanum jamai- cense*. En la flora asociada a la ronda hídrica del caño Zuria se encontraron 21 especies de plantas vasculares agrupadas en 11 familias, de estas la dominante fue Melastomaceae con seis especies, seguida por Araceae con tres especies. De las especies registradas, *Psycho- tria poeppigiana* se encuentra en la categoría

de amenaza preocupación menor (LC). Los análisis realizados muestran que el desarrollo urbano no sostenible amenaza la biodiversidad de la flora y la oferta de servicios ecosistémicos asociados a las rondas hídricas del caño Zuria y humedal La Madrid en el municipio de Villavicencio.

Palabras Claves: Ronda hídrica, diversidad florística, Villavicencio, Humedal, Caño Zuria.

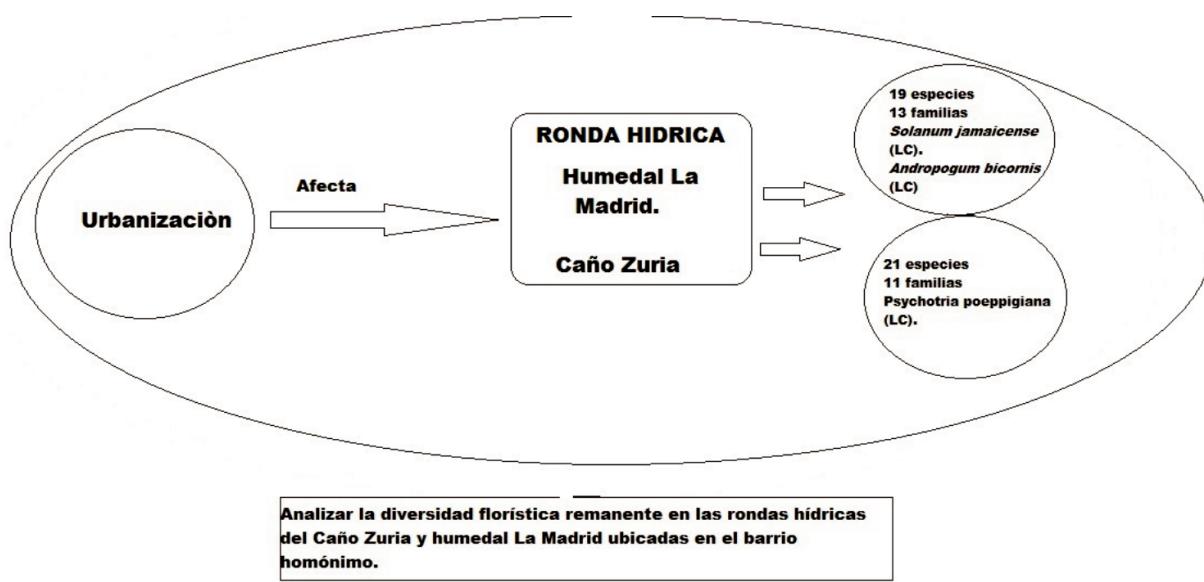
SUMMARY

Colombia presents around 24,530 species of vascular plants. However, this floristic richness is declining or showing some degree of threat, because their habitat has been reduced by the development of anthropic activities as urbanization, mining, agrarian and other. This same trend is observed in Villavicencio. For this reason, the present research has as objective to describe the floristic diversity remaining in the water rounds of Caño Zuria and La Madrid wetland located in the neighborhood of the same name. To carry out the research, opportunistic samplings were made where plant material in

reproductive state was collected and species were identified. As results, it was found that the flora associated with the La Madrid wetland has 19 species of vascular plants grouped into 13 families, with Poaceae being the best represented. Of the registered species there are two that are in the category of least concern concern (LC), which are *Andropogon bicornis* and *Jamaican Solanum*. In the flora associated with the water round of the Zuria canal, 21 vascular plant species were found grouped into 11 families, of which the dominant one was Melastomaceae with six species, followed by Araceae with three species. Of the registered species, *Psychotria poeppigiana* is in the category of minor concern threat (LC). The analyzes carried out show that unsustainable urban development threatens the biodiversity of the flora and the supply of ecosystem services associated with the water rounds of the Zuria canal and La Madrid wetland in the municipality of Villavicencio.

Keywords: Water round, floristic diversity, Villavicencio, Wetland, Zuria river.

Resumen gráfico



Fuente: autores

INTRODUCCIÓN

Colombia presenta una alta diversidad de especies de las que se conocen alrededor de 24.530 plantas vasculares (Bernal *et al*, 2016). Encontrándose la mayor diversidad en los Andes (Sierra-Giraldo *et al*, 2013; Uvidia *et al*, 2015), la cual se considera una de las regiones más diversas del planeta debido a su ubicación geográfica, orografía y variaciones microclimáticas que promueven la generación de microrregiones biogeográficas con alta biodiversidad (Giraldo-Cañas 2001; Myers *et al*, 2002). Para la Orinoquia colombiana Minorta & Rangel-Ch. (2014) y Rangel-Ch. (2015) reportan 4.246 especies de plantas vasculares y el Catalogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal *et al*, 2016) reporta 4.288 especies para el departamento del Meta.

Sin embargo, esta riqueza florística está disminuyendo o presentando algún grado de amenaza, ya que su hábitat se ha reducido debido al desarrollo de actividades como la tala y quema de bosques para ganadería extensiva e intensiva, ampliación de la frontera agrícola, al igual que la urbanización asociada al crecimiento poblacional y la minería (Ortiz-Moreno, 2015; Cruz-Fernández *et al*, 2017; Pastrana, 2017). Por otra parte, el tráfico ilícito de fauna y flora y la introducción de especies exóticas son amenazas reales a la biodiversidad que son más palpables en los paisajes intervenidos por el hombre (Pastrana, 2017). La influencia de estos factores también se ve en el departamento del Meta, el cual presenta una disminución de la riqueza de especies debido a procesos de urbanización y al desarrollo de actividades económicas tales como agricultura y ganadería, la transformación de las sabanas naturales y la pérdida de bosques remanentes (Etter, *et al*. 2015; Arévalo Ariza, 2016).

El departamento del Meta está conformado por 29 municipios, siendo Villavicencio su

capital. Villavicencio por estar ubicado en el piedemonte de la cordillera Oriental de los Andes, presenta ecosistemas estratégicos donde aloja especies de aves migratorias y endémicas, además de mamíferos, reptiles, anfibios y alrededor de 400 especies de plantas (Resolución 2103 de 2012; Ortiz-Moreno, 2015). La conservación de la biodiversidad requiere la preservación de los hábitat específicos de la flora y fauna, por ello, para que esta conservación sea efectiva es necesario mantener las coberturas naturales (Ortiz-Moreno, 2015). A su vez, la cobertura vegetal mantiene la calidad del suelo, la riqueza hídrica (Ortiz-Moreno, 2015) y las interacciones biológicas como lo son la polinización, dispersión de semillas y la estructura de las cadenas tróficas indispensables para mantener la integridad de los ecosistemas (Cuevas *et al*. 2015; Díaz-Valenzuela, 2016; Josari *et al*, 2018; Quesada-Acuña *et al*, 2018; y Sharapova, 2018).

Sumado a lo anterior el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) (1992) ratifica en sus tres objetivos la necesidad de la conservación de la biodiversidad y que esta debe ser de interés común para toda la humanidad, por ende la utilización de todos los recursos naturales se debe hacer de tal manera que satisfaga las necesidades de las generaciones presentes y las futuras, dando una gestión sostenible a los recursos. Hay intereses de muchas ONG, gobierno nacional, departamental y municipal, universidades, centros de investigaciones y otras entidades, de conservar, mitigar y realizar inventarios faunísticos y florísticos, además de reforestar. Sin embargo existe un contrasentido administrativo y algunos proyectos de desarrollo se realizan a expensas del deterioro de los ecosistemas, es así, como a diario se otorgan licencias de construcción en áreas que son zonas estratégicas para la provisión de servicios ecosistémicos o el hábitat de especies.

En el periodo del presidente Santos 2010-2014 la estrategia de crecimiento económico incluyó potenciar la vivienda e infraestructura, por lo que se aspiraba construir 1 millón de nuevas viviendas, de las cuales el 70% son viviendas de interés social. La mayoría de viviendas construidas en este macro proyecto fueron realizadas mediante métodos convencionales y no sustentables (Monroy & Mario, 2015).

Unido a lo anterior en la ciudad de Villavicencio la expansión urbana y crecimiento de la población están causando pérdidas importantes de cobertura vegetal (Ortiz-Moreno, 2015; Caicedo *et al*, 2018). Debido a que el proceso de ocupación del territorio se ha presentado de forma desordenada y los planes de ordenamiento territorial diseñados como un instrumento técnico y normativo para ordenar el territorio urbano y rural no han sido eficaces a la hora de controlar las necesidades asociadas al crecimiento poblacional (Ortiz-Moreno & Rodrigues-Pires, 2014), lo cual ha desencadenado una serie de consecuencias ambientales, económicas y sociales negativas para el desarrollo sostenible de la ciudad (Ochoa-Amaya, 2017).

En Villavicencio para cubrir las necesidades de vivienda, se desarrolló el proyecto de vivienda de interés social La Madrid, el cuál consta más de 1. 000 soluciones de vivienda en la periferia del perímetro urbano al año 2000, desarrollando intervenciones urbanísticas sobre

parte de las rondas hídricas del Caño Zuria y el humedal homónimo. Por todo lo anterior la presente investigación pretende describir la diversidad florística remanente en las rondas hídricas del Caño Zuria y el Humedal ubicados en el barrio La Madrid, ya que esta ha sido afectada por el conflicto entre vivienda de interés social y conservación de la biodiversidad en Villavicencio.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Descripción del área de estudio

El barrio La Madrid se encuentra ubicado en el suroriente del municipio de Villavicencio aledaño a los barrios Ciudad Porfía y Villa Juliana. Consta de soluciones de vivienda de interés social unifamiliares y multifamiliares (VILLAVIVIENDA, 2010). Comprende un área aproximada de 3.7ha de las cuales aproximadamente 2ha corresponden a la zona de amortiguación del humedal La Madrid, a una altura de 453 msnm. Este barrio se creó mediante la resolución 591 del 26 de marzo de 2014 emitida por el Fondo Nacional de Vivienda (FONVIVIENDA) donde el Ministerio de Vivienda estableció la entrega de 1.122 casas a personas en condición de desplazamiento o vulnerabilidad registradas en el Departamento para la Prosperidad Social -DPS-, Red Unidos, y el Sistema de Identificación de Potenciales Beneficiarios de Programas Sociales (SISBEN) (Bueno, 2015) (Figura 1).

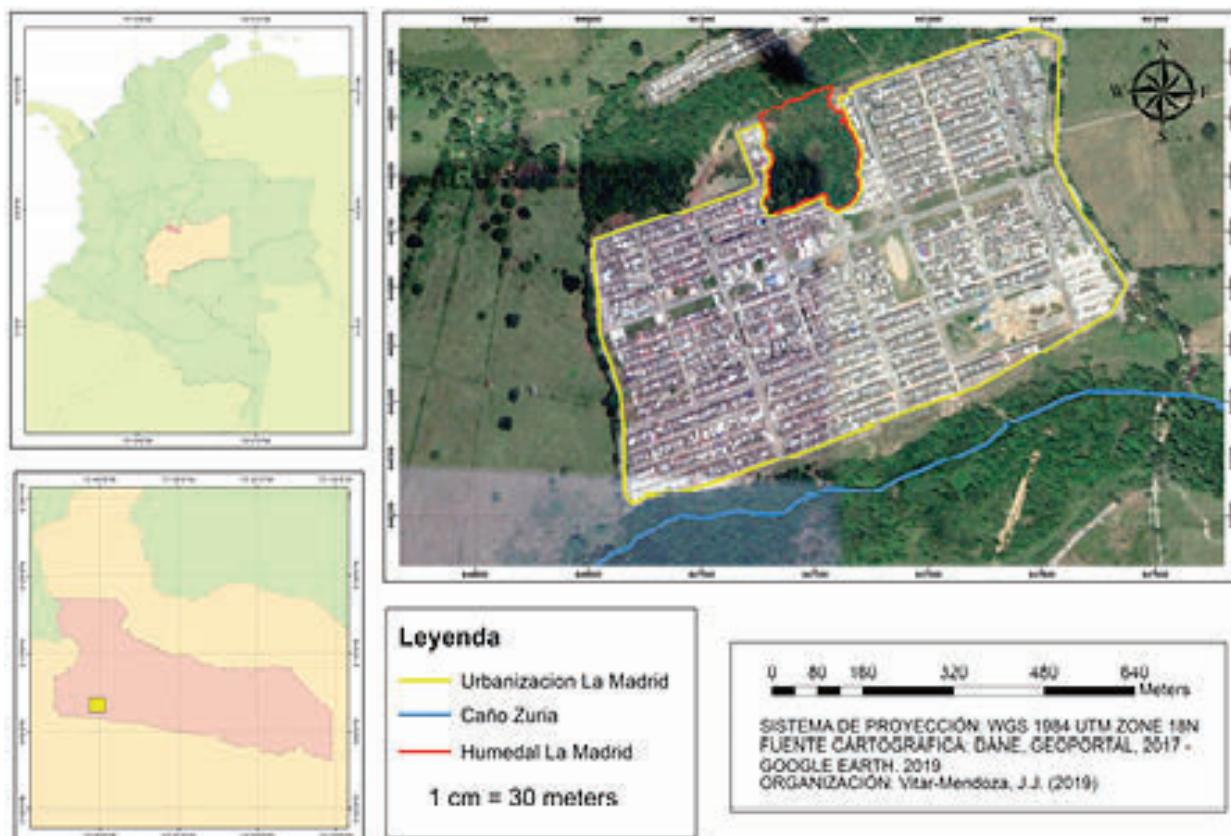


Figura 1. Ubicación del barrio La Madrid, Villavicencio.

Elaboró: Vitar-Mendoza (2019)

METODOLOGÍA

Revisión bibliográfica

Se realizó una búsqueda bibliográfica con temas relacionados a expansión urbana, vivienda de interés social y conflictos con la diversidad florística con los recursos disponibles en internet en portales oficiales, artículos e información suministrada por la actual Secretaría de Planeación del municipio de Villavicencio, Villavivienda y FONVIVIENDA.

Muestreo en campo

Se llevaron a cabo salidas de campo al barrio La Madrid (ciudad de Villavicencio) donde se colectaron muestras vegetales en estado reproductivo asociadas a las rondas hídricas del Caño Zuria y al humedal La Madrid, mediante

un muestreo oportunista. Se hicieron las anotaciones en libreta de campo de los caracteres importantes para su posterior determinación; el material fue procesado empleando las técnicas de recolección de material vegetal propuesto por Villarreal, *et al*, (2004).

El material colectado fue determinado mediante la consulta de literatura especializada como: la Flora de la Guayana Venezolana (Pipoly *et al*, 1998), el Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal *et al*, 2016). Adicionalmente, se consultaron los herbarios virtuales del Herbario Nacional Colombiano (COL), The U.S. National Herbarium (US), The New York Botanical Garden, The Missouri Botanical Garden (MO) y herbario LLANOS,

además se contó con la ayuda de botánicas especialistas en las familias Melastomataceae y Poaceae. Para corroborar las sinonimias y los nombres aceptados se utilizó las bases disponibles en internet, como: Trópicos (<http://www.tropicos.org>) y Plant list (<http://www.theplantlist.org>); también se revisaron trabajos de investigación donde se colectó material vegetal de la zona de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Vivienda de interés social y diversidad florística

Las ciudades representan para muchos individuos y familias soluciones productivas y mejores condiciones de vida, sin embargo la forma del crecimiento urbano puede generar bienestar o perjuicios a los habitantes, debido a las condiciones de eficiencia en aprovechamiento del suelo, provisión de servicios, transporte, espacios públicos e interacción comunitaria (Ochoa-Amaya, 2017). Otro punto también importante es la biodiversidad presente en las zonas urbanas, aunque la mayoría de ecólogos consideran innecesario hacer estudios florísticos en estas áreas por el grado de perturbación (Kühn & Klotz, 2006); hay otros ecólogos que si lo consideran importante, dado que, las ciudades pueden actuar como puentes de comunicación de un hábitat a otro para especies de alto valor de conservación, o pueden actuar como puntos de dispersión de especies invasoras que se establecen en zonas perturbadas. A su vez, una ciudad sostenible puede ser considerada como aquella que cuenta con zonas verdes saludables que sustentan una variedad de especies de plantas y animales en los jardines de las viviendas, en los vacíos urbanos y en el espacio público, lo cual contribuye positivamente al bienestar del hombre (Muratet *et al*, 2008).

Por otro lado, el departamento del Meta históricamente ha sufrido el flagelo del conflicto armado (Ortiz-Moreno, 2015). Según estadísticas, en los Llanos Orientales se registran 332.632 víctimas del conflicto armado (fuente: RNI, Red nacional de información, fecha de corte 01 de noviembre de 2019) cifra que se ve reflejada en la significativa migración de habitantes de los municipios del departamento, que han abandonado sus fincas y radicado en la ciudad de Villavicencio; a raíz de ello, la población en la capital ha crecido y los últimos gobiernos han tenido que diseñar planes de vivienda de interés social para cobijar a este grupo de personas, como ocurre en el barrio La Madrid, donde la mayoría de los habitantes son familias desplazadas.

El crecimiento demográfico es uno de los factores que acelera la pérdida de la biodiversidad (Ortega *et al*, 2018), ya que se necesita espacio para el desarrollo urbanístico y ubicar a las poblaciones, ofreciéndoles una vivienda digna. Por tanto, las ciudades tienen que expandirse y crecer en su perímetro urbano y a raíz de ello, predios que antes eran considerados rurales, son absorbidos por la ciudad, por lo que entran a hacer parte de la zona urbana como lo que ocurre en el barrio La Madrid. Como el barrio está en construcción, no cuenta con los servicios básicos como puesto de salud, colegio, mobiliario urbano, áreas verdes apropiadas para los requerimientos de todas las franjas etarias de la población, entre otros.

El desarrollo urbanístico del barrio La Madrid se ha expandido en los dos ecosistemas analizados, los cuales presentan un alto grado de perturbación antrópica, siendo la situación del humedal más crítica, dado que no está protegido por el sistema municipal de áreas protegidas y no cuenta con una zona de amortiguación, ya que está ha sido absorbida por el barrio.

La situación del bosque de galería de la ronda hídrica del Caño Zuria es también preocupante, lo cual es reconocido por CORMACARENA (Corporación Ambiental Regional con jurisdicción en el departamento del Meta) en el documento "Concepto técnico PM-GA-3.44.15.1696 de julio 29 de 2015". Donde se registra que la construcción del barrio está vertiendo las aguas lluvias al caño directamente y que la construcción ha deforestado gran parte de la ronda hídrica del caño Zuria, debido a lo anterior, se está generando el desplazamiento de la fauna como aves, herpetos y pequeños mamíferos por la falta de cobertura vegetal.

Como lo mencionan Ortiz-Moreno (2015), Buitrago *et al*, (2018) y Caicedo *et al* (2018), Villavicencio es considerado un corredor biológico entre las ecoregiones Andina y Orinoquía, además hace parte del cinturón verde del departamento del Meta por su ubicación geográfica, por lo que, la construcción de viviendas en lugares de importancia biológica como humedales y bosques de galería no debería autorizarse o en su defecto es necesario establecer lineamientos de construcción sostenible para edificaciones o viviendas de interés social, encaminados al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y al ejercicio de actuaciones con responsabilidad ambiental y social (Decreto 1285 de 2015 título 7).

Según Pérez (2016) una vivienda de interés social, constituye uno de los ejes más importantes en la planificación urbana, ya que favorece la sustentabilidad y contribuye a elevar el bienestar reduciendo a la vez el impacto ambiental, sin embargo los modelos para la gestión de estos proyectos son subvalorados, dando preponderancia a la cantidad de viviendas y no al bienestar de sus habitantes y a la conservación ambiental.

En la figura 2 se presenta la diversidad de familias botánicas colectadas en las rondas hídricas del humedal La Madrid y el caño Zuria, se registraron 40 especies agrupadas en 23 familias; siendo Melastomataceae y Rubiaceae las familias mejor representadas en el área de estudio. En los ecosistemas las plantas son un grupo importante ya que mediante los frutos, semillas y néctar mantienen a la fauna que depende para su alimentación y estos a su vez son dispersores o polinizadores de las plantas (Aguirre & Dirzo, 2008; Dátillo *et al*, 2015), además las plantas les proveen refugio. Los frutos también son ampliamente utilizados por varias etnias y grupos humanos, ya que hacen parte de su dieta alimenticia (Núñez, *et al*, 2015) y obtienen de ellos fibras, tintas, medicina y utensilios de herramientas (Cruz, *et al*, 2017), entre otros.

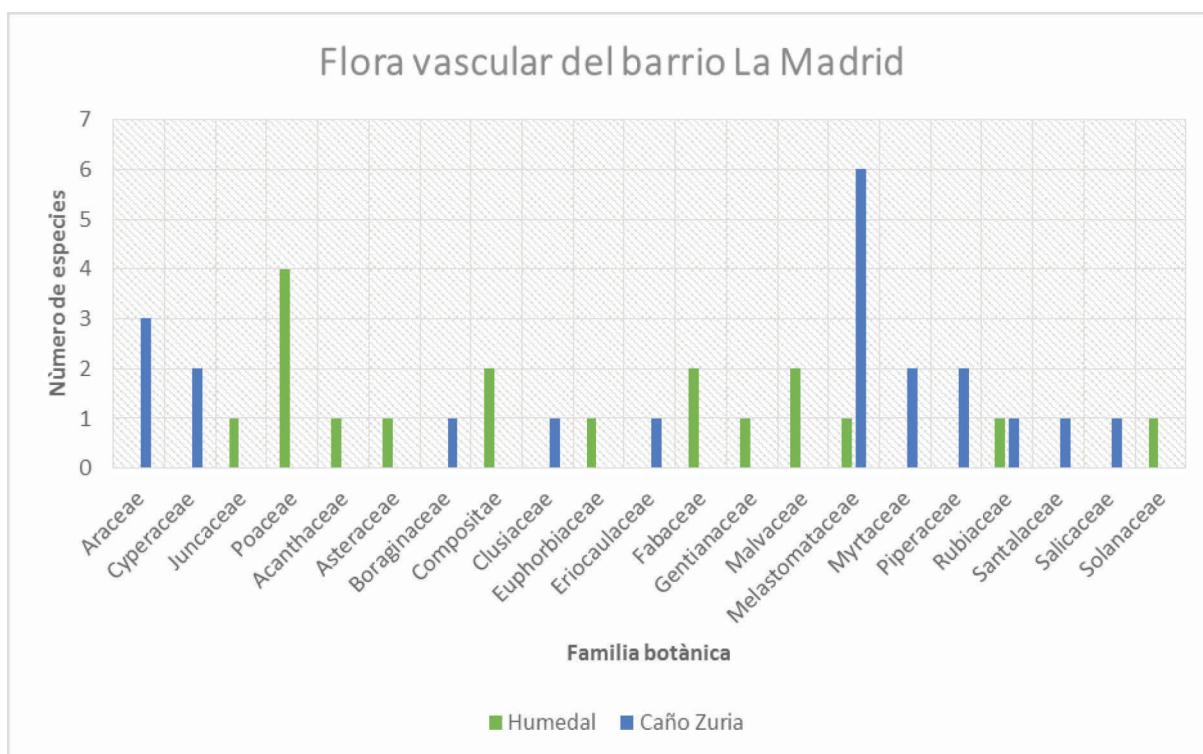


Figura 2. Comparación de la riqueza en familias botánicas del Humedal y Caño Zuria del barrio la Madrid

Fuente: autores.

Flora vascular asociada al Humedal La Madrid

En la flora asociada al humedal La Madrid se lograron identificar 19 especies agrupadas en 13 familias, siendo la familia Poaceae principalmente representada con cuatro (4) especies (anexo Tabla 1). Según la consulta de los libros rojos de Colombia Calderón *et al*, (2005) y Cárdenas & Salinas (2007) hay dos especies que están en la categoría de amenaza de extinción preocupación menor (LC), las cuales son *Andropogon bicornis* L. y *Solanum jamaicense* Mill. Aunque el Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal *et al*, 2016) las reportan con una amplia distribución en las regiones biogeográficas de Colombia. El género *Juncus* según Bernal *et al*, (2016) posee una distribución altitudinal desde los 900 a los 4.250 msnm, en esta investigación fue colectado a

los 453 m, por lo que se ampliaría el rango de distribución para este género.

A pesar de que el humedal La Madrid está siendo altamente afectado por acciones de deforestación (asociado a canalización para drenaje del terreno), descarga de escombros, extracción irregular de agua y el pastoreo no controlado por animales domésticos, posee una biodiversidad vegetal de gran importancia para la fauna local. Es por esta problemática que surge la necesidad de realizar este análisis de la flora, dado que el humedal ha sido sobreexplotado. Así mismo en Villavicencio los humedales son escasamente monitoreados por la administración municipal (Suazo & Silva, 2014) y el hecho de que el humedal La Madrid no esté dentro del Sistema Nacional o Regional de Áreas Protegidas, ni protegido por

la Corporación para Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial la Macarena CORMACARENA, aumenta su vulnerabilidad ante las acciones antrópicas.

Hay que mencionar que un humedal es importante por su alto valor, escénico, cultural, biológico y su aporte de agua potable o regulación del ciclo hidrológico local. Adicionalmente estos ecosistemas proveen alimento y refugio a aves, primates y peces de gran importancia ecosistémica (Bastidas & Sánchez, 2015; Franco-Montenegro *et al*, 2015.). Dado que el agua es el principal recurso para sostener la vida en la tierra, es importante hacer esfuerzos para recuperar y restaurar los humedales, especialmente en entornos urbanos. Así mismo el uso, protección y conservación de la diversidad biológica se han visto afectados por las acciones incorrectas de manejo de los recursos naturales. En este sentido, la flora recibe el impacto de la actividad antrópica y los cambios climáticos globales (Figueroedo & Acosta, 2008). Cabe resaltar que en el presente estudio se encontró dos especies que están en categoría de preocupación menor (LC), pero si se continua con la sobre explotación del humedal La Madrid pueden desaparecer localmente.

Flora vascular asociada al caño Zuria

Se colectaron 21 especies agrupadas en 11 familias (anexo Tabla 2), de estas la que presentó mayor número de especies colectadas fue Melastomaceae con seis especies, seguida por Araceae con tres especies; sin embargo CORMACARENA (2014) reporta para el humedal Zuria, el cual es influenciado por el caño del mismo nombre, 41 especies agrupadas en 34 familias botánicas, esto puede estar relacionado con el esfuerzo de muestreo.

Por otro lado de las especies encontradas en el presente estudio, *Psychotria poeppigiana* Müll., está dentro de la categoría de amenaza

de extinción preocupación menor (LC) (Calderón *et al*, 2005; Cárdenas & Salinas, 2007), ya que en el Catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal *et al*, 2016) la reportan con una amplia distribución en el país. Adicionalmente, el presente trabajo genera importantes aportes tales como la ampliación de la distribución geográfica de *Miconia dodecandra* (Desr) Cogn., a partir de los 444 m, dado que Bernal *et al*, (2016) la reporta desde los 775 msnm.

A pesar de su importancia biológica la ronda hídrica del caño Zuria está presentando una alta tasa de deforestación, implementación de cultivos y pastos para ganadería extensiva en su entorno local (CORMACARENA, 2014), por lo que el caudal del caño ha disminuido.

El IDEAM (2008) define a la vegetación arbórea que crece en las márgenes de los cursos de agua, ya sean permanentes o temporales como bosques de galería, por lo que este ecosistema es una comunidad vegetal compleja y frágil, que cumple un papel fundamental en términos ecológicos, hidrológicos y de biodiversidad para la conservación de las fuentes hídricas (Meli *et al*, 2017). La disposición vertical de la vegetación arbórea del bosque de galería es primordial para mantener la calidad del agua, amortiguar los procesos de sedimentación de los lechos de los ríos (Granados *et al*, 2006), proporcionar protección contra la erosión del suelo y proveer un hábitat para organismos acuáticos y terrestres (Camacho *et al*, 2006).

El caño Zuria es afluente del río Negro dentro de la cuenca del Guayuriba que finalmente desemboca en el río Meta y este a su vez, en el río Orinoco. Sumado a lo anterior la comunidad que habita el barrio La Madrid usa el agua para consumo y recreación; por lo que es importante restaurar y recuperar los servicios ecosistémicos de este caño y darle un uso sostenible.

CONCLUSIONES

La flora asociada al humedal La Madrid está compuesta por 19 especies agrupadas en 13 familias, siendo la familia Poaceae la mejor representada con cuatro (4) especies. Adicionalmente en este humedal hay dos especies que están en la categoría de amenaza de extinción preocupación menor (LC), las cuales son *A. bicornis* y *S. jamaicense*, además se amplía el rango de distribución para Colombia del género *Juncus*.

En la flora asociada al bosque de galería de la ronda hídrica del caño Zuria se colectaron 21 especies agrupadas en 11 familias, de estas la que presento mayor número de especies colectadas fue Melastomaceae con seis especies, seguida por Araceae con tres especies. De las especies identificadas, según los libros rojos *P. poeppigiana* está dentro de la categoría de amenaza de extinción preocupación menor (LC), en tanto que el presente estudio amplía la distribución de *M. dodecandra* a partir de los 444 msnm.

En el humedal La Madrid y la ronda hídrica del caño Zuria adyacentes al barrio La Madrid, se registraron 40 especies agrupadas en 23 familias; siendo Melastomataceae y Rubiaceae las familias mayormente representadas. En los análisis realizados fue evidente que el desarrollo urbano no sostenible afecta la biodiversidad de la flora y la oferta de servicios ecosistémicos asociada.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, A., & Dirzo, R. (2008). Effects of fragmentation on pollinator abundance and fruit set of an abundant understory palm in a Mexican tropical forest. *Biological Conservation*, 141(2), 375-384.
- Arévalo Ariza, Y. D. P. (2016). Descripción cualitativa y aproximación bibliográfica del impacto antrópico generado a las preferencias de micro hábitat de un ensamblaje de anuros en tres hábitats del jardín botánico de Villavicencio (Meta), durante el periodo de lluvias (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).
- Bastidas, J. A. O., & Sánchez, M. T. C. (2015). El análisis de correspondencias y la valoración social de la flora del humedal el Coroncito de Villavicencio. Pag. 445-446. En Contreras, J.M.; Batanero, C.; Godino, J.; Cañadas, G.; Arteaga, P.; Molina, G.; Gea, M. y López, M. (Eds.), *Didáctica de la Estadística, Probabilidad y Combinatoria*, (2). Granada.
- Bernal, R., Gradstein, S. & Celis, M. (2016). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. WWW. catalogoplantascolombia.unal.edu.co.
- Bueno, C. H. (17 de Diciembre de 2015). region365 periodismo alternativo. Obtenido de <http://www.region365.com/>
- Buitrago, D., Ceballos, L., Ortiz-Moreno, M.L. (2018). *Estrategia para la conservación de primates diurnos en el área urbana de Villavicencio con base a su distribución y conflictos*. Tesis de pregrado, programa de Biología, Universidad de los Llanos. Pp. 130.
- Caicedo, R. I. V., Guarín, K. J. D., & Perdomo, Y. R. (2018). *Composición y diversidad del banco de semillas en áreas urbanas fragmentadas de piedemonte, Villavicencio, Colombia*. Ingenierías USBMed, 9(1), 86-96.
- Camacho, R. F., I. Trejo y C. Bonfil. (2006). *Estructura y composición de la vegetación ribereña de la Barranca del río Tembembe, Morelos, México*. Boletín de la Sociedad Botánica de México 78: 17-31.
- Cárdenas, L. D. & N.R. Salinas (Eds). (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia*. Volumen 4. Especies maderables amenazadas. Primera parte. Serie libros rojos de especies amenazadas Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 Pp.
- Cuevas, E., Álvarez, A., y de los Ángeles Pérez, M. (2015). *Efecto de la fragmentación del hábitat en el éxito reproductivo de Fuchsia parviflora, una especie dioica*. Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 16(1), 30-32.
- Cruz-Fernández, J., Suarez-Suarez, L. S., Ortiz-Moreno, M.L. (2017). *Catálogo comentado y análisis espacial del género Clusia (Clusiaceae)*

- en el departamento del Meta. Tesis de pregrado, programa de Biología, Universidad de los Llanos. Pp 114.
- Dàtillo, W., Aguirre, A., Quesada, M., & Dirzo, R. (2015). Tropical forest fragmentation affects floral visitors but not the structure of individual-based palm-pollinator networks. *PLoS one*, 10(3).
- Díaz-Valenzuela, R. (2016). Historia natural, ecología y análisis de la interacción planta-colibrí en un paisaje mexicano, bajo dos aproximaciones teóricas: escalamiento en ecología y redes de interacciones complejas. Tesis doctorales. Facultad de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, Universidad de Alicante. Alicante.
- Etter, A., Andrade, A., Amaya, P., & Arévalo, P. (2015). Estado de los ecosistemas colombianos-2014: una aplicación de la metodología de lista roja de ecosistemas. Bogota, Colombia: From Alaska to Patagonia: IUCN Red List of the Continental Ecosystems of the Americans. Recuperado de <http://iucnrl.org/static/media/uploads/references/published-assessments/etter-etal-2015-national-rle-assessment-final-report-colombia-sp.pdf>. Google Scholar.
- Franco-Montenegro, A., Torres-Pérez, R. E., & Obando-Bastidas, J. A. (2015). Valoración social del recurso natural fauna en el humedal Coroncito de Villavicencio. *Producción + Limpia* 10 (2).
- Figueredo Cardona, L. M., & Acosta Cantillo, F. (2008). *Objetos de conservación de la flora y la vegetación de los cerros calizos costeros de la reserva de la biosfera Baconao, Santiago de Cuba*. Foresta Veracruzana, 10(2).
- Giraldo-cañas, D. (2001). *Análisis florístico y fitogeográfico de un bosque secundario pluvial andino, Cordillera Central (Antioquia, Colombia)*. Darwiniana, 39: 187-199
- Granados S., D., M. A. Hernández y G. F. López R. (2006). *Ecología de las zonas ribereñas*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 12 (1): 55-69.
- IDEAM, IGAC y Cormagdalena. (2008). *Mapa de Coberturas de la Tierra, cuenca Magdalena - Cauca, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (Cormagdalena). Bogotá D.C., Colombia. 200 pp
- Josari, G., & Morante Dávila, L. R. (2018). Diagnóstico de los recursos territoriales turísticos para el diseño de una ruta en el distrito de San Felipe, Jaén-Cajamarca. Facultad de Ciencias empresariales. Escuela académica profesional de turismo y negocios, universidad Señor de Sipan. Perú.
- Kühn, I. & Klotz, S. (2006). *Urbanization and homogenization comparing the floras of urban and rural areas in Germany*. Biological Conservation 127: 292-300.
- Meli, P., L. Ruiz, R. Aguilar, A. Rabasa, J. M. Rey B. y J. Carabias. (2017). *Bosques ribereños del trópico húmedo de México: un caso de estudio y aspectos críticos para una restauración exitosa*. Madera y Bosques 23 (1): 181-193
- Minorta, V. & Rangel, O., (2014). *Amenazas sobre la flora, la vegetación y los ecosistemas de la Orinoquia Colombiana*, Pag. 785-806. En: Rangel-Ch. O. 2014. Colombia diversidad biótica XIV, la región de la Orinoquia de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Monroy, S., & Mario, J. (2015). Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario. (Bachelor's thesis), Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Colombia.
- Muratet, A., Porcher, E., Devictor, V., Arnal, G., Moret, J., Wright, S., & Machon, N. (2008). *Evaluation of floristic diversity in urban areas as a basis for habitat management*. Applied vegetation science, 11(4), 451-460.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., da Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000). *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. Nature, 403: 853-858.
- Núñez, L. A., Isaza, C., & Galeano, G. (2015). *Ecolología de la polinización de tres especies de Oenocarpus (Arecaceae) simpátricas en la Amazonía Colombiana*. Revista de Biología Tropical, 63(1).
- Ochoa-Amaya, J. M. (2017). *Uso y tenencia de la tierra. Factores históricos y planes de ordenamiento territorial-veredas Barcelona, Cocuy y Zuría-Villavicencio, Colombia*. Direito da Cidade, 9(4).
- Ortega, D. J. P., Solarte, J. G., Díaz, J. J. P., & Pompêo, M. L. M. (2018). *Dinámica Espacio-Temporal Del Uso Del Suelo Y Su Efecto Sobre La Degradoación De Los Recursos Hídricos: Caso De La Cuenca Del Río Juqueri-Brasil*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(1).

- Ortiz-Moreno, M. L., & Rodrigues-Pires, J. S. (2014). *Aplicación de la legislación ambiental y territorial en municipios capitales: Estudio de caso Villavicencio (Colombia)*. Orinoquia, 18(2).
- Ortiz-Moreno, M.L., (2015). *Analise Interacão entre ordenamento territorial e biodiversidade: estudo de caso em Villavicencio, (Meta - Colombia)*. Universidad Federal de São Carlos. São Carlos, Brasil
- Pastrana, J. (2017). Análisis del impacto ambiental en la microcuenca de la quebrada La Perdiz asociada a la zona urbana del municipio de Florencia-Caquetá. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Económicas, Contables y Administrativas, Universidad de Manizales.
- Pérez, A. L. P. (2016). *El diseño de la vivienda de interés social: la satisfacción de las necesidades y expectativas del usuario*. Revista de Arquitectura, (18), 67-75.
- Pipoly, J., Kearns, D., Berry, P., (1998). *Clusia*. Pag. 260-294. En Steyermark, J., Berry, P., Holst, B., (1998). *Flora of the Venezuelan Guyana, Caesalpiniaceae-Ericaceae*. Missouri Botanical Garden. Vol. 4. Missouri, USA.
- Quesada-Acuña, S. G., Martínez, C. P., Alán, O. R., & Gastezzi-Arias, P. (2018). *Dispersión de semillas por aves residentes en bosque ribereño urbano del río Torres, San José, Costa Rica*. UNED Research Journal, 10(1), 48-56.
- Rangel-Ch, J. O. (2015). *La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 39(151), 176-200.
- Sierra-Giraldo, J. A., Sanin, D., Coca, L.F. & Posada-Herrera, J.M. (2013). *Araceae in a High Andean Forest of the Colombian Occidental Cordillera (Natural National Park Tatamá)*. Aroideana., 36: 76-91.
- Sharapova, A. (2018). Patrones en la diversidad de especies, abundancia y grado de generalismo de los polinizadores en diferentes ambientes en la isla de Mallorca. Facultad de Ciencias. Universidad de les Illes Balears.
- Suazo, G. G., & Silva, L. T. (2014). *Importancia ecosistémica del humedal El Coroncito sobre el barrio Manantial en la ciudad de Villavicencio/Meta*. Boletín Semillas Ambientales, 8(2).
- Uvidia, H., Ramírez, J. L., Leonard, I., Vargas, J. C., Verdecia, D., & Andino, M. (2015). *Inventario de la sucesión vegetal secundaria en la provincia Pastaza, Ecuador*. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 16(11).
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., Umaña, A.M., (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia, 236.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la comunidad del barrio La Madrid y en especial al señor Oscar Soto, quien colaboró en las actividades de muestreo y a la Directora de la Fundación William Barrios (Organización No Gubernamental) Nathaly Rojas por su acompañamiento y suministro de información. Al igual agradecemos a los estudiantes del programa de Ingeniería Agronómica Juan Daniel Larrota Escobar y Roney Fabián Alarcón López por su colaboración en la colecta y procesamiento del material vegetal, además al biólogo Juan Jair Vitar-Mendoza quién colaboró en la elaboración de cartografía temática del área de estudio. Agradecemos también a las profesoras Luz Mila Quiñones y Mónica Medina del área de botánica de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías de la Universidad de los Llanos, por su ayuda para la identificación de algunas de las especies colectadas.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

TRATABILIDAD DE LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LOS CORAZONES DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR MEDIANTE EL USO DE CARBÓN ACTIVADO

TREATABILITY OF THE LIXIVIATES OF SANITARY FILLING THE HEARTS OF THE CITY OF VALLEDUPAR THROUGH THE USE OF ACTIVATED CARBON

¹ **Omar Enrique Trujillo Romero**

² **Omar Enrique Trujillo Varilla**

³ **Andrés Quintero Tovar**

⁴ **Julio Vega Suarez**

¹ *Ingeniero Ambiental y Sanitario, Especialista en Educación Superior a Distancia, Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD.*

² *Licenciado en Matemáticas y Física, Especialista en Computación para la Docencia, Maestría en Matemática Educativa. Departamento de Matemáticas y Física – Universidad Popular del Cesar -UPC.*

³ *Zootecnista Msc. Educación Superior, estudiante de doctorado en Etología Animal.*

⁴ *Ingeniero Agroindustrial, Magíster en Ingeniería Ambiental. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD. Vicerrector de Investigación- Universidad Popular del Cesar -UPC.*

¹ omar.trujillo@unad.edu.co

² omartruva@gmail.com

³ andres.quintero@unad.edu.co

⁴ juliovega@unicesar.edu.co

RESUMEN

La investigación realizada evaluó la tratabilidad en términos de remoción de materia orgánica (DQO) presente en los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones de la ciudad Valledupar, a través del proceso de adsorción con carbón activado, desarrollado bajo dos

modelos de flujo hidráulico (reactores continuos y discontinuos) analizando variables como dosis, tiempo de contacto y PH, con el fin de comparar y obtener el mayor rendimiento en la remoción de carga orgánica de los lixiviados en estudio.

Para reactores discontinuos con lixiviado crudo se obtuvieron resultados de un 67% de remoción de materia orgánica. Modificando el PH a 3, se obtuvieron resultados de un 80% de remoción de materia orgánica, obteniendo a su vez las mejores condiciones de remoción de DQO en el modelo de flujo discontinuo empleando dosis de 100g/l con tiempos de contacto de 90 minutos.

El reactor continuo se utilizó con caudal de 6 ml/min, tiempo de retención hidráulico de 90 min, dosis utilizada de 640g de carbón activado, donde se ensayó con lixiviado crudo obteniéndose remociones de carga orgánica del 83%, ajustando el pH a 3 se obtuvo remociones del 97%.

Palabras clave: Demanda química de oxígeno, Reactor tipo Batch, Reactor flujo pistón.

ABSTRACT

The research carried out evaluated the treatability in terms of the removal of organic matter (COD) present in the leachates of Los Corazones sanitary landfill in Valledupar, Colombia,

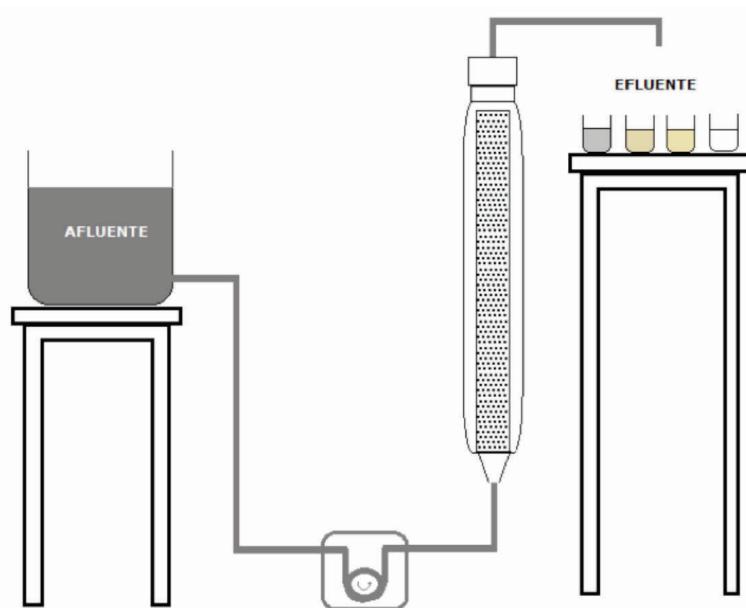
through the adsorption process with activated carbon, developed under two hydraulic flow models (continuous reactors). and discontinuous) analyzing variables such as dose, contact time and pH, with the purpose of comparing and obtaining the highest yield in the organic load removal of the leachates under study.

For discontinuous reactors with crude leachate, results of 67% removal of organic matter were obtained, modifying the PH to 3, results of 80% removal of organic matter were obtained, obtaining at the same time the best conditions of COD removal in the discontinuous flow model using doses of 100g / l with contact times of 90 minutes.

The continuous reactor was used with flow rate of 6 ml / min, hydraulic retention time of 90 min, used dose of 640 g of activated charcoal, where it was tested with crude leachate obtaining removals of organic load of 83%, adjusting the pH to 3 He obtained 97% removals.

Keywords: Chemical oxygen demand, Vatch type reactor, Piston flow reactor.

Resumen gráfico



INTRODUCCIÓN

La definición legal para Colombia de lixiviado es: *"sustancia líquida, de color amarillo y naturaleza ácida que supura la basura o residuo orgánico, como uno de los productos derivados de su Sustancia líquida, como uno de los productos derivados de su descomposición."* (Ley 1259 de 2008). Los líquidos residuales producidos en un Relleno Sanitario están en función de múltiples factores relacionados con las condiciones climáticas, el diseño y operación del Relleno y la composición de la basura. El caudal generado varía de acuerdo al estado de avance y el tipo de operación del Relleno y la composición también varía en el tiempo.

El manejo y la eliminación de residuos sólidos domésticos son problemas críticos en las áreas urbanas de América Latina (Noguera, 2010), esto representa uno de los problemas de contaminación ambiental en nuestro medio, porque dichos residuos contienen una elevada carga de contaminantes (orgánicos e inorgánicos). Estos residuos pueden alterar significativamente la calidad fisicoquímica y microbiológica de las corrientes de aguas naturales, nacimientos y pozos vecinos (Vega, 2006; Campaña, A., Et al, 2017). Por lo tanto, se han probado diversos métodos de tratamiento tanto biológicos (aeróbicos y anaeróbicos) como fisicoquímicos para disminuir la carga de contaminantes.

El carbón activado ofrece una alternativa en el tratamiento de aguas residuales, debido a que estas presentan grandes áreas superficiales, lo cual se aumenta por el poder de adsorción y sus estructuras porosas (Ensuncho, A., Et al, 2015; Solis-Fuentes, J., et al., 2012).

La adsorción es posible mediante la formación de enlaces físicos o químicos entre el lixiviado

y la superficie de los poros del carbón activo granular. Arbeláez, (2010). Castelló, (2017). En esta investigación se trató la adsorción sobre carbón activado como un método que ha mostrado eficiencia en la disminución de cargas de contaminantes, razón por la cual, se experimentó el efecto del carbón activado sobre el lixiviado del relleno sanitario Los Corazones, para la remoción de carga orgánica en términos de DQO, bajo dos modelos hidráulicos: flujo continuo y flujo discontinuo; donde se determinaron las mejores condiciones de operación, manipulando las variables de tiempo de operación y PH, para la consecución de resultados eficaces en el proceso de adsorción de carga orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo y nivel de investigación

Este estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, debido a que se utilizaron principios teóricos del proceso de adsorción, a fin de aplicarlos en el tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario "LOS CORAZONES" de Valledupar – Cesar.

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, este proyecto es de carácter experimental y se desarrolló en dos modelos de flujo hidráulico (reactores continuos y discontinuos) analizando variables como dosis, tiempo de contacto y PH con el fin de comparar y obtener el mayor rendimiento en la remoción de carga orgánica.

Ubicación del área de estudio

El relleno sanitario Los Corazones está ubicado a seis kilómetros del casco urbano de la capital departamental, sobre la vía que conduce a Patillal y posee un área de ciento veinte

(120) hectáreas; se encuentra ubicada en una zona suburbana de Valledupar, sobre las latitudes 1'083.000 y 1'099.000 este, limita en la parte sur con el Rio Guatapurí, al occidente la carretera que de Valledupar conduce a Patillal, Al norte con el arroyo el Pájaro y hacia el oriente la Vega.

MATERIAL DE ESTUDIO

El material de estudio lo constituyó el lixiviado recolectado en los pondajes, así mismo el

carbón activado de origen mineral, operado bajo dos modelos de flujo hidráulico tanto reactor discontinuo como en reactor continuo.

Muestras

Las muestras que se tomaron en los pondajes del relleno sanitario los corazones para realizar los ensayos fueron cinco muestras simples en días diferentes, recolectando el volumen necesario (40 litros aproximadamente) (Figura 1).



Figura 1. Recolección de muestra de lixiviado.

Fuente: Autores

Parámetros fisicoquímicos de los lixiviados del relleno Sanitario los corazones de la ciudad de Valledupar.

Las muestras se tomaron en el punto de descargas, y se refrigeraron a 4°C para su conservación. Los parámetros determinados fueron los siguientes (ver tabla 1):

Tabla 1. Parámetros en la caracterización de lixiviados.

PARÁMETRO	UNIDADES	METODOLOGÍA
pH	Unidades	Potenciométrico SM 4500 H+ B
Temperatura	oC	Potenciométrico
Acidez	ppm	Titulométrico SM 2310 B
Alcalinidad	ppm	Titulométrico SM 2320 B
Sólidos totales	mg /L	Gravimétrico SM 4540 B

PARÁMETRO	UNIDADES	METODOLOGÍA
Sólidos suspendidos totales	mg /L	Gravimétrico SM 2540 D
Conductividad eléctrica	µS/cm	Electrométrico 2110 B
DBO5	mg O ₂ /L	Reflujo cerrado SM 5220 D
DQO	mg O ₂ /L	Incubación 5 días SM 5210 B
grasas y o aceites	mg/L	Soxleth SM 5520 D
Detergentes o Tensoactivos	mg SAAM/L	Colorimétrico SM 5540 C
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	Argentométrico SM 4500 B
Nitrógeno Amoniacal	mg NH ₄ /L	Titulométrico SM 4500 C
Sulfuros	mg S ⁻ /L	Método yodométrico
Ácido Sulfídrico	mg H ₂ S/L	Método yodométrico
Sulfatos	mg SO ₄ /L	Turbidimétrico SM 4500 E
Cianuros	mg CN/L	Digestión ácido débil/colorimetría
Metales pesados		
Cadmio	mg Cd/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Plomo	mg Pb/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Mercurio	mg Hg/L	Absorción atómica generación de hidruros SM 3114
Cromo Hexavalente	mg Cr ⁶⁺ /L	Colorimétrico
Cobre	mg Cu/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Otros elementos		
Hierro Total	mg Fe/L	Fenantrolina SM 4500
Sodio	mg Na/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Magnesio	mg Mg/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Aluminio	mg Al/L	Absorción atómica llama, SM 3111
Zinc	mg Zn/L	Absorción atómica llama, SM 3111

Fuente de consulta: Laboratorios Ortiz Martínez.

Técnicas para remoción de materia orgánica

La determinación de la remoción de materia orgánica se hizo bajo dos modelos hidráulicos (flujo discontinuo con agitación completa y flujo continuo a través de un lecho de carbón activado).

Modelo de flujo discontinuo con agitación completa

La evaluación de la tratabilidad bajo este modelo hidráulico se desarrolló en columnas rectangulares de 10 × 10 × 20 cm, la cual

tiene una capacidad de recolectar dos litros de muestra de lixiviado (Figura 2). En el desarrollo de este ensayo se trabajó con alimentación por cochada de 1 litro de muestra con cantidades determinadas de carbón activado de (20, 40, 60, 80, 100, 120) g respectivamente. La agitación del sistema se llevó a cabo mediante una serie de paletas, con dimensiones de 6.2 cm cada una.

Inicialmente se determinaron las dosis óptimas de material adsorbente que removiera la

mayor cantidad de materia orgánica cuantificada en términos de DQO soluble, bajo condiciones de temperatura ambiente, tiempo de contacto de una hora y pH de residuo variable 7,6,5,4,3,2 respectivamente, fijándolo con H_2SO_4 al 50 % de concentración.

Una vez hallada cada una de las dosis óptimas,

se procedió a determinar el tiempo óptimo de contacto; es decir, el tiempo de contacto que favorezca una mayor remoción de materia orgánica (DQO soluble), en el cual se varió el tiempo con intervalos de 60, 90, 120, y 150 minutos respectivamente, para cada una de las dosis optimas encontrada

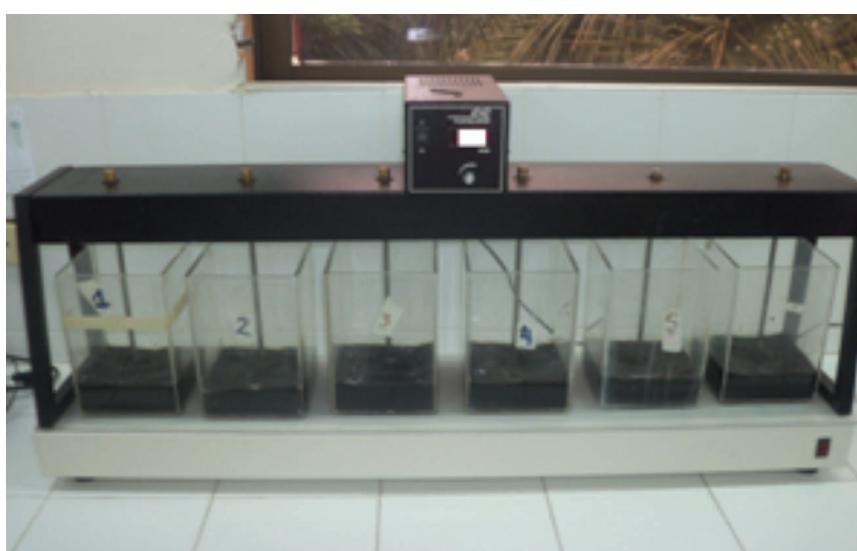


Figura 2. Reactor discontinuo.

Fuente: Autores

Modelo de flujo continuo a través de un lecho de carbón activado

Para evaluar el proceso de adsorción bajo este

modelo, se construyó una columna de acrílico de forma cilíndrica con las características mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las columnas de adsorción.

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro de la columna (cm)	6,0
Altura total de la columna (cm)	60
Altura de la columna de carbón activado (cm)	35
Cantidad de carbón activado (g)	640
Porosidad	0,216

Fuente: Elaboración propia

La columna se operó con flujo ascendente empleando una bomba peristáltica (Figura 3), se evaluó para diferentes tiempos en minutos (60, 90, 120, 150). En cada ensayo se determinó la

DQO soluble en el efluente, cada hora hasta que la concentración del efluente fuera similar a la de entrada.



Figura 3. Reactor continuo.

Fuente: Autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la caracterización suministrada por InterAseo S.A .ESP. (Tabla 3), se observa que las concentraciones de los parámetros monitoreados no corresponden a un patrón de tendencia mostrada en la literatura, ya sea para lixiviados jóvenes o lixiviados viejos, esto se debe a la mezcla de éstos; producto del proceso

de recirculación, además, las precipitaciones pluviales someten a un proceso de dilución de los lixiviados que se encuentra depositado en los pondajes, y a una continua evaporación de acuerdo a las condiciones imperantes en la ciudad de Valledupar.

Tabla 3. Resultados lixiviados del vertimiento final a la laguna de Oxidación 1 - Relleno sanitario Los Corazones.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
Numero de muestra		63319
Identificación de la muestra		PISCINA N° 1
Fecha de recolección		2017/06/17
Hora de recolección		11:30 a.m
pH	Unidades	7,98
Temperatura	oC	25
Acidez	Ppm	2

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
Alcalinidad	Ppm	5950
Sólidos totales	mg /L	17884
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	16550
Conductividad Eléctrica	mS/cm	18680
DBO5	mg O2/L	5400
DQO	mg O2/L	11130
grasas y o aceites	mg/L	368
Detergentes o Tensoactivos	mg SAAM/L	21,7
Cloruros	mg Cl=/L	2229,2
Nitrógeno Amoniacal	mg NH4 /L	406,36
Sulfuros	mg S=/L	166,4
Ácido Sulfhídrico	mg H2S/L	5674,2
Sulfatos	mg SO4/L	3869,9
Cianuros	mg CN/L	<0,002
Metales pesados		
Cadmio	mg Cd/L	<0,013
Plomo	mg Pb/L	<0,07
Mercurio	mg Hg/L	<0,00088
Cromo Hexavalente	mg Cr+6/L	<0,005
Cobre	mg Cu/L	0,08
Otros elementos		
Hierro Total	mg Fe/L	10,6
Sodio	mg Na/L	2784,6
Magnesio	mg Mg/L	421
Aluminio	mg Al/L	1,37
Zinc	mg Zn/L	1,06

Fuente: InterAseo S.A

Un relleno siempre va a tener una parte que aporta lixiviado joven (la que se está rellenando en ese momento) otra parte que tiene lixiviado maduro (las que tienen unos años) y otras lixiviado viejo (las que tienen más de cinco años) (Noeggerath, 2011). En la caracterización del relleno sanitario Los Corazones se muestran lixiviados con comportamientos similares descritos anteriormente presentando elevadas concentraciones de materia orgánica e índices de biodegradabilidad (DBO₅/DQO)

superiores a 0,4 que corresponden a lixiviados jóvenes y a su vez se evidencian pH que corresponden a un rango de lixiviados viejos.

Determinación de la remoción de DQO mediante ensayos de adsorción bajo dos modelos hidráulicos (flujo discontinuo y flujo continuo)

Bajo el modelo de flujo discontinuo con lixiviado crudo se obtuvieron remociones de carga orgánica entre un 16% a 67%, en donde se

obtuvo una dosis óptima de 100 g/l con tiempo de contacto igual a 90 minutos (Figuras 4 y 5), para las condiciones del residuo con pH modificados a 7 y 6 respectivamente, presentó el mismo comportamiento que el lixiviado crudo, mientras que para pH modificados a 5 y 4 respectivamente, mostró eficiencias entre 25% y 75% de remoción de DQO, obteniendo la mayor eficiencia con dosis de 100 g/l, con tiempos de contacto de 120 minutos para pH 5 y 90 minutos para pH 4, las mejores condiciones de remoción de materia orgánica se presentó en pH modificados a 3 y 2 con eficiencias que oscilaron entre 20% y 80% de remoción de DQO, con dosis óptima de 100 g/l, y tiempos de contacto de 120 minutos para pH igual a 3, y 90 minutos para pH ajustado a 2.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el reactor discontinuo se observó que a medida que disminuye el pH de la muestra de lixiviado se aumentaron los porcentajes de remoción de materia orgánica. Comprobando que el valor del pH inicial en el proceso de carbón

activado se relaciona con la eficiencia y capacidad de remoción de contaminantes (Jialong et al., 2000). Demostrando que la tasa de adsorción de contaminantes orgánicos en soluciones acuosas se incrementa cuando decrece el pH.

Lo anterior se explica, porque a medida que se reduce el pH a la muestra, se le están agregando iones de hidrógeno de carga positiva, reduciendo de una manera considerable la carga negativa de la muestra de lixiviado permitiendo así, una mayor adsorción por el carbón activado. El carbón activo lleva corrientemente una carga superficial neta negativa Bean y col.,(1964 citado por Weber, 1979). Lo que permite que haya una interacción por proceso de fisisorción fuerzas (electrostática, polarización, dispersión) o quimisorción, facilitando el compartimiento o transferencia de electrones entre la muestra de lixiviados y el adsorbente en nuestro caso carbón activado de origen mineral.

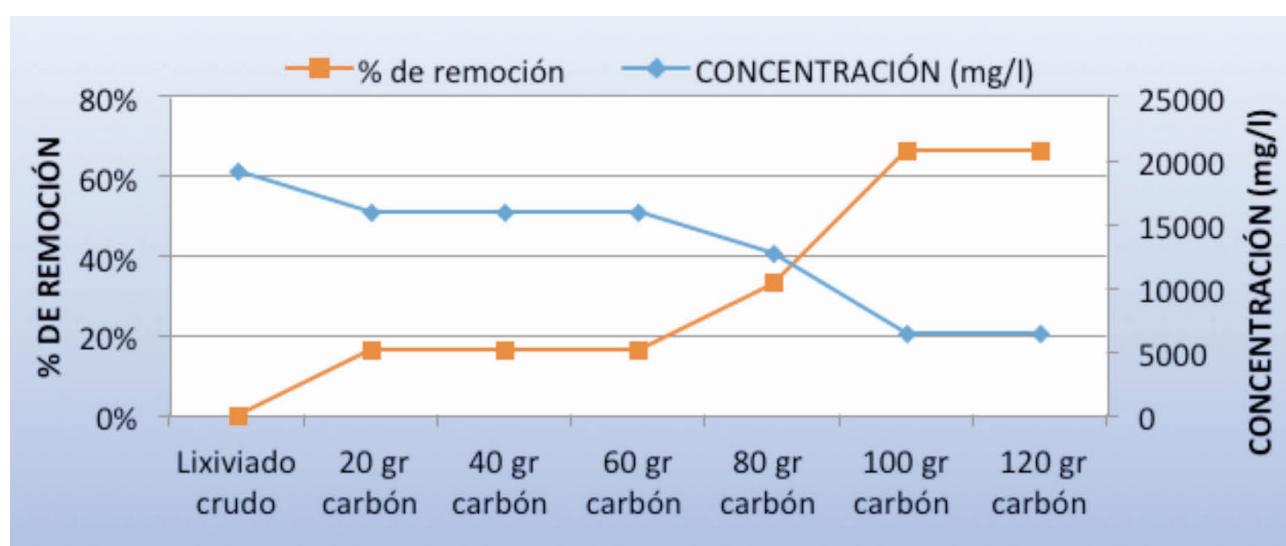


Figura 4. Eficiencia de remoción de DQO. Dosis, pH de la muestra.

Fuente: Autores

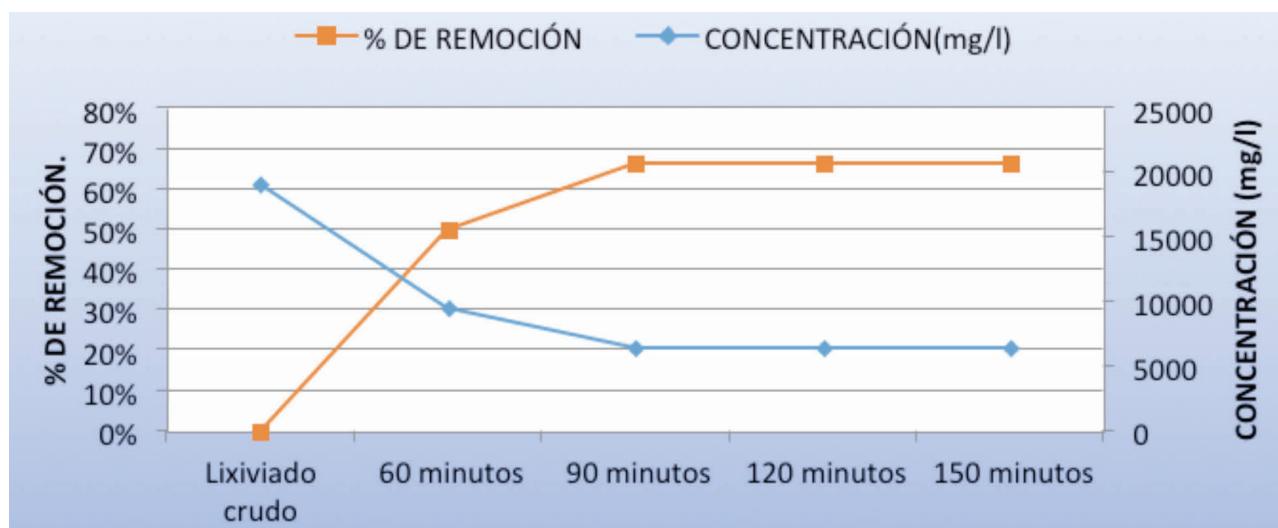


Figura 5. Eficiencia de remoción de DQO. Tiempo, pH de la muestra.

Fuente: Autores

Modelo de flujo continuo a través de un lecho de carbón activado.

Para la puesta en marcha del reactor se realizaron pruebas variando el caudal con el fin de garantizar los 90 minutos de tiempo de retención hidráulica, el cual fue el tiempo óptimo

obtenido en el reactor discontinuo, Y se probó la eficiencia de remoción de materia orgánica ensayando con pH del lixiviado crudo y con el pH ajustado a 3 que fue el de mayor eficiencia mostró en el reactor Batch.

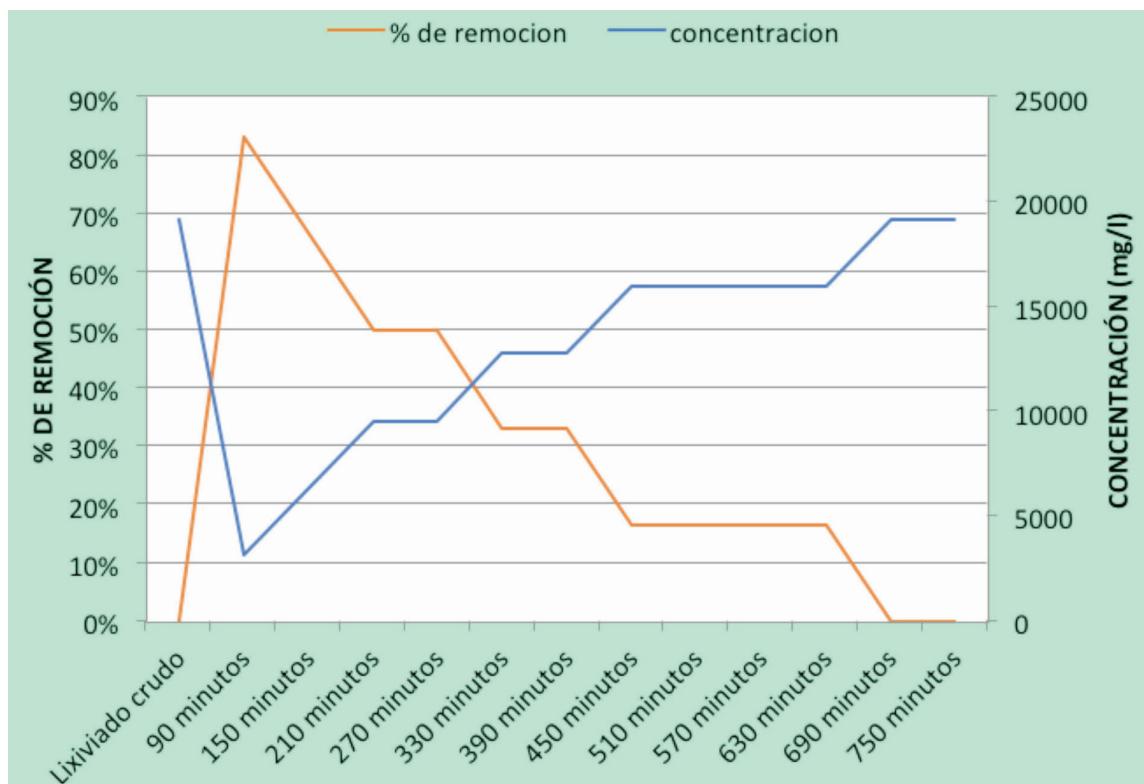


Figura 6. Eficiencia remoción de materia orgánica. PH lixiviado crudo.

Fuente: Autores

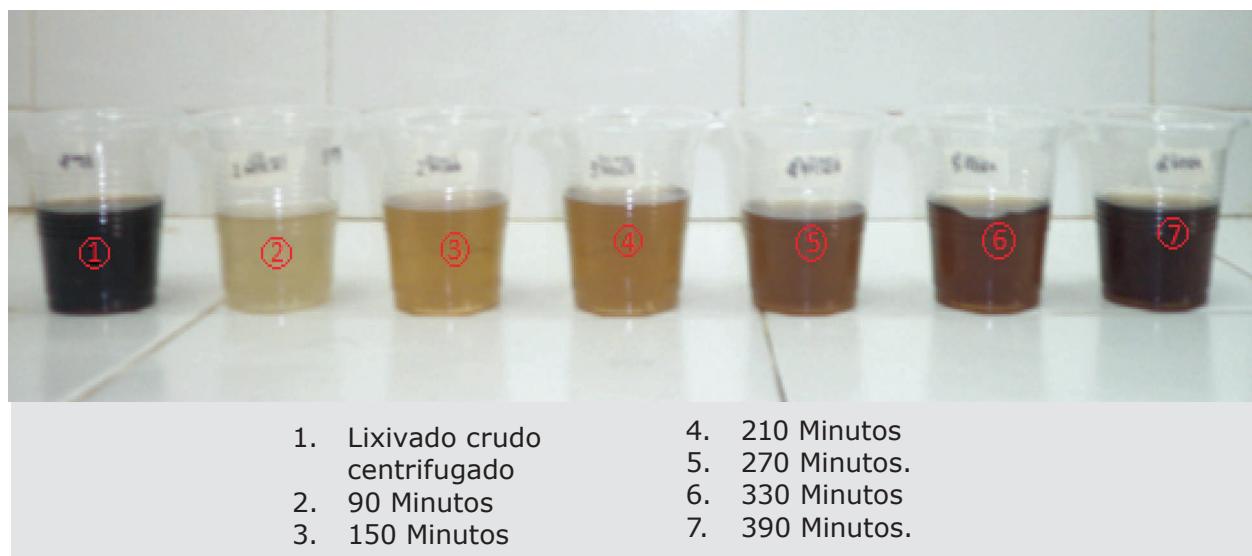


Figura 7. Comparación visual del proceso de adsorción. pH Lixiviados.

Fuente: Autores

Para el lixiviado crudo con el pH de la muestra que se encuentra en 8,0, pasado los 90 minutos del tiempo de retención hidráulica, arrojo resultado del 83,33% reduciendo así la carga orgánica de 19200 mg/l, a 3200 mg/l, pasada las dos horas y media el reactor arrojo eficiencia de un 67% disminuyendo la remoción de materia orgánica en un 50% en relación con la eficiencia mostrada a los 90 minutos, transcurrido el tiempo de cuatro horas y media el reactor arrojo una eficiencia del 50% en relación con el afluente, a partir de seis horas y media se evidencio resultados de un 33% con una concentración de 12800 mg/l, pasada las diez horas y media el reactor arrojo remociones del 17% mostrando que el lecho de carbón se encontraba saturado de carga orgánica, porque a partir de las 11 horas Y media ya no mostró eficiencia el reactor, arrojando una carga orgánica de 19200mg/l similar al residuo de entrada y la apariencia visual en relación con el tiempo transcurrido en el reactor (Figura 6).

La eficiencia encontrada en el reactor es comparable por la reportada por (Méndez, et al., 2002). Por lo que el reactor cuenta con las mismas características que las empleadas en

este proyecto, a diferencia que ellos probaron tiempo de retención hidráulico de 4 horas en el cual observaron eficiencias de remoción de DQO del 60 al 30% durante las primeras 60 horas, mientras que en este proyecto se observaron remoción de DQO del 83,33% al 17% durante las primeras 10 horas y media con TRH de 90 minutos.

Lo que podemos concluir que la remoción de materia orgánica en este proyecto es mucho mayor que la reportada por (Méndez, et al., 2002; Castellar, Et al., 2013), pero en relación con el tiempo es mucho menos prolongada, esto podría deberse a las diferencia marcadas en cuanto a la caracterización de los lixiviados, en relación con los parámetros de sólidos suspendidos totales, dado que en este proyecto reporta valores de 16550mg/l en comparación con 73 mg/l reportado por Méndez y demanda química de oxígeno de 19200mg/l a diferencia de la reportada por Méndez que es de 6089 mg/l, parámetros que inciden de una manera directa en el proceso de adsorción.

Otro aspecto con cierta influencia es la granulometría del carbón activado empleado. En

los dos procesos se utilizó carbón de origen mineral, pero con tamaños de grano diferentes, observando que la cinética de adsorción fue mucho más rápida en el proceso de flujo continuo, pero a su vez se observa que el

tiempo saturación del lecho es muy corto, lo que quiere decir que el tamaño de grano del carbón activado es mucho menor al utilizado por (Méndez, et al., 2002;).

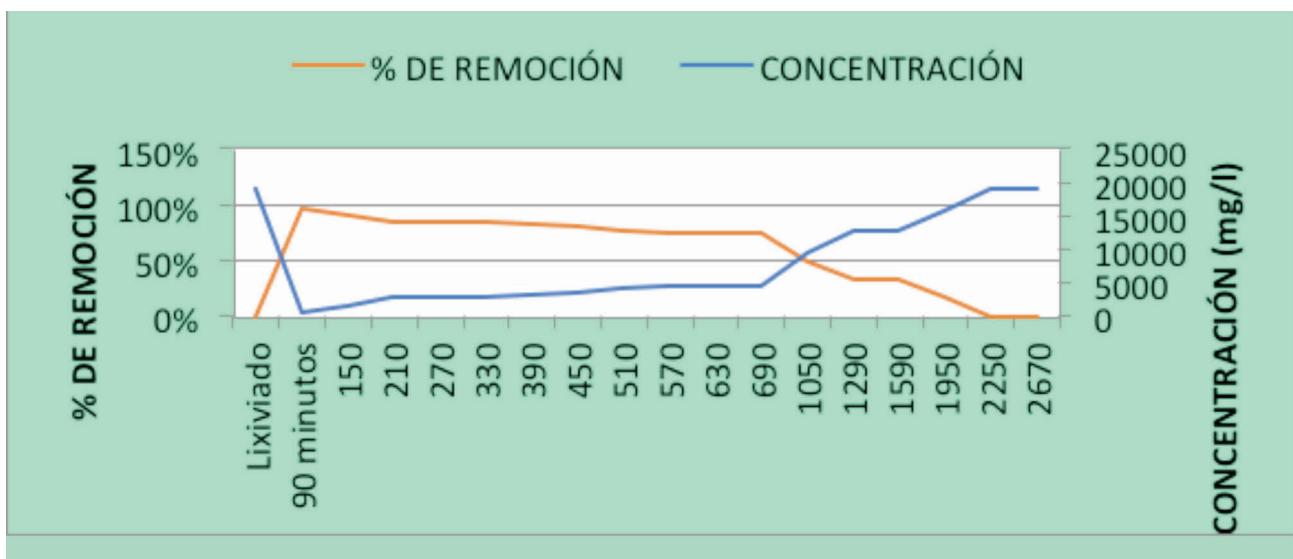
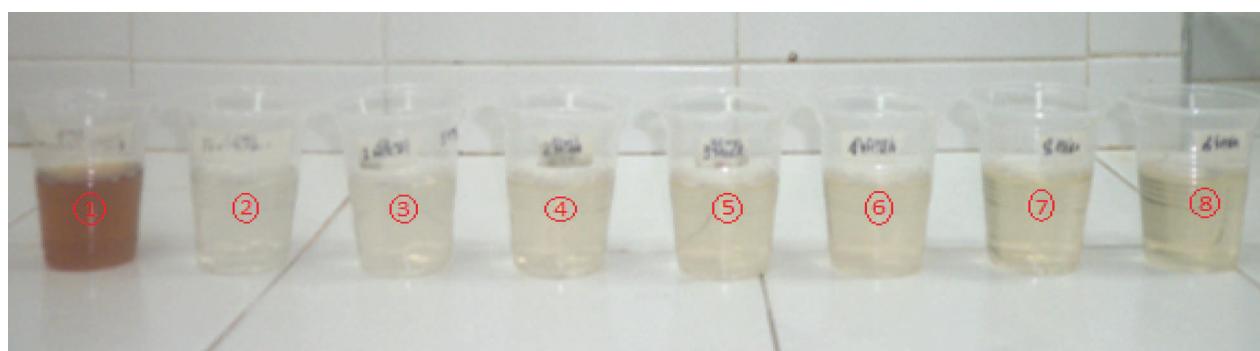


Figura 8. Eficiencia remoción de materia orgánica. pH 3,0.

Fuente: Autores



- | | |
|--------------------------------|-----------------|
| 1. Lixivado crudo centrifugado | 5. 270 Minutos. |
| 2. 90 Minutos | 6. 330 Minutos |
| 3. 150 Minutos | 7. 390 Minutos. |
| 4. 210 Minutos | 8. 450 Minutos. |

Figura 9. Comparación visual del proceso de adsorción. pH Lixiviados.

Fuente: Autores

Pasado los 90 minutos de TRH se obtuvo eficiencia del 97% de remoción de carga orgánica, reduciendo así la concentración de 19200 mg/l, a 640 mg/l, los intervalos de remoción de 90% de DQO se llevó a cabo hasta las dos horas y media, a partir de ahí se observa un leve decrecimiento de porcentaje de remoción, arrojando como resultado un 85 % pasada las 5 horas y media, después de siete horas y media el porcentaje de remoción decrece al 81% con una concentración de 3520 mg/l, transcurrida once horas y media se observó porcentaje de remoción del 75% de carga orgánica, a partir de las diecisiete hora y media se obtienen remociones de un 50% de materia orgánica con concentraciones de 9600 mg/l, desde la veintiuna hora y media hasta las veintiséis hora y media se obtuvieron remociones del 33% de carga orgánica, transcurrido las treinta y dos horas y media se obtuvo remociones del 17% mostrando así que el lecho de carbón activado ya se encontraba saturado, por lo tanto a partir de las 38 horas no se presentó remoción de carga orgánica con relación al afluente.

Para la muestra de lixiviado a la cual se le fijo un pH igual a tres se obtuvo eficiencias mayores que para el lixiviado crudo, y el tiempo de remoción de DQO fue mucho más prolongado, reafirmando el comportamiento presentado en el reactor discontinuo en relación con el pH y comprobando que la remoción de materia orgánica es mucho mayor en medio acido.

En comparación con los resultados obtenidos por (Méndez, et al., 2002). el cual trabajo con TRH de 8 horas y PH cercanos a 2 obteniendo eficiencias de remoción de DQO del 90 al 60 % durante las primeras 200 horas. En esta etapa experimental se obtuvieron remoción del 97% al 33% durante las primeras 33 horas. El cual muestra una diferencia marcada en cuanto al intervalo de tiempo, consecuencia de las variables manejadas.

En términos generales el método de flujo continuo de tipo columna tiene ventajas distintivas sobre los métodos discontinuos, puesto que las velocidades de adsorción dependen de la concentración del soluto en la solución que tratada. En el método de columna, el carbón está continuamente en contacto con una solución fresca, por tanto, la concentración de la disolución en contacto con una capa de carbón de la columna es relativamente constante. En el tratamiento discontinuo, la concentración del soluto en contacto con una cantidad determinada de carbón decrece a medida que la adsorción progresá, y por tanto decrece la efectividad del adsorbente para separar el soluto.

CONCLUSIONES

El relleno sanitario "Los corazones" recibe en promedio 10546 toneladas/mensuales de basura, generando en promedio 0,48 litros/segundo de lixiviado, con un acumulado de precipitación pluvial desde enero hasta agosto de 2016 de 581,5 mm.

Operando bajo los dos modelos de flujo hidráulico. en discontinuo se obtuvieron eficiencias de remoción de DQO soluble del 80% con tiempo de contacto óptimo de 90 minutos y dosis de 100 g/l en lixiviados a los que se le ajustó el pH a 2, y de 67% a los lixiviados crudos. Mientras que en reactores continuo con tiempo de retención hidráulica de 90 minutos se obtuvieron remociones de DQO soluble del 97% en lixiviados a los que se le ajustó el pH a 3, y del 83% para lixiviado crudo.

El carbón activado de origen mineral mostró resultados apropiados para los ensayos, mostrando una rápida cinética de adsorción, una amplia área superficial con una superficie porosa heterogénea.

En el reactor continuo, el tiempo de agotado del carbón activado, para lixiviado crudo

corresponde a once horas y media, para el cual manteniendo remociones de materia orgánica superiores de un 60 % pasada las dos horas y media, mientras que para lixiviado a los que previamente se le ajustó el pH a 3, el tiempo de agotado del carbón es aproximadamente treinta y ocho horas para lo cual manteniendo remociones de carga orgánica superiores a 75%, se llevó a cabo pasada las primeras 12 horas aproximadamente, por lo tanto es susceptible el tratamiento de lixiviado con carbón activado mediante reactores continuos.

LITERATURA CITADA

- Arbeláez, M. (2010). *Estudio de las tecnologías empleadas para el manejo de lixiviados y su aplicabilidad en el medio*. Universidad EAFIT. Medellín Colombia.
- Campaña, A., Gualoto, E., Chiluisa-Utreras, V. (2017). *Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito*. *Bionatura*. 2(2), pp.305-310.
- Castellar, G., Cardozo, B. Suárez, J. & Vega, J. (2013). *Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular*. *Prospect*, 11 (1), 66-75.
- Castelló, L. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de colorantes presentes en disolución acuosa*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia España.
- Jialong W., Yi Q., Horan N. & Stentiford E. (2000). *Bioadsorption of pentachlorophenol (PCP) from aqueous solution by activated sludge biomass*. Bioresourse Technology, UK.
- Ley N° 1259. *Diario Oficial de la Republica de Colombia*, 19 de diciembre de 2008.
- Méndez, R., Medina, E., Quintal, C., Castillo, E. & Sauri, M. (2002). *Tratamiento de lixiviados con carbón activado*. *Ingeniería*, 6 (3), 19-27.
- Noeggerath, F., Salinas, I. (2011). *Análisis comparativo de tecnologías para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios*. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas.
- Noguera, K. & Olivero, T. (2010). *Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias. 34 (132): 347-356.
- Solis-Fuentes, J., Tellez, M., Ayala & Durán, M. (2012). *Activated carbon from agroindustrial wastes for color removal from sugarcane juice*. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 27 (1), pp. 36-48.
- Vega, J. (2006). *Tratabilidad de los Lixiviados del Relleno Sanitario Doña Juana en un Reactor UASB* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia.
- Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua. Procesos físicoquímicos*. 1^a ed. Ed. Reverté. Barcelona.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

PRONÓSTICO DEL CAUDAL DEL RÍO CRAVO SUR, SECTOR DEL MORRO – PUENTE LA CABUYA, DEPARTAMENTO DE CASANARE, COLOMBIA

FLOW FORECAST OF THE CRAVO SUR RIVER,
SECTOR OF EL MORRO - LA CABUYA BRIDGE,
CASANARE DEPARTMENT, COLOMBIA

¹ ***Linson Javier Higuera Infante***
² ***William Rojas Vergara***

¹ *Ingeniero Civil, Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano UNITROPICO, Yopal Casanare, Colombia*

² *Ingeniero Civil, Esp. Educación Ambiental. Docente Investigador, Fundación
Universitaria Internacional del Trópico Americano UNITROPICO, Yopal Casanare, Colombia*

Javi.higuera0626@gmail.com
²Williamrojas@unitropico.edu.co

RESUMEN

Colombia presenta una gran red hidrográfica en la región de los Llanos orientales donde el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales **IDEAM** cuenta con estaciones hidrometeorológicas capaces de llevar registros de lluvia en el tiempo, siendo estas necesarias para la realización de estudios que permitan efectuar seguimiento a esta red y así fundamentar la toma de decisiones en sectores que se ven afectados por las variaciones climáticas que se presentan. De acuerdo con la situación mencionada, se pretende pronosticar el caudal circundante al Municipio de Yopal y obtener elementos que sirvan de base para prever y minimizar riesgos especialmente al sector del agro colombiano el cual, es característico de esta región. Se plantea un estudio de caso del caudal en

la cuenca media del Río Cravo Sur en una serie temporal de periodicidad mensual desde el año 1975 hasta el 2014, luego se realiza un análisis exploratorio de datos el cual, permite visualizar los estadísticos descriptivos que sirven para evaluar el comportamiento general de la serie, posteriormente se analiza la misma con el fin de determinar el modelo más apropiado para el pronóstico.

Como resultado, se determinó que, a lo largo del tiempo, los caudales tienden levemente a aumentar, pero sin generar riesgos superiores a los que en la actualidad está expuesta la región especialmente en épocas de constantes lluvias; esta estimación se ajusta a las características propias de la estación y depende única y exclusivamente de su historia.

Palabras clave: estaciones hidrometeorológicas, cuenca hidrográfica, Orinoquía, imputación de datos, análisis exploratorio, estudio de caso.

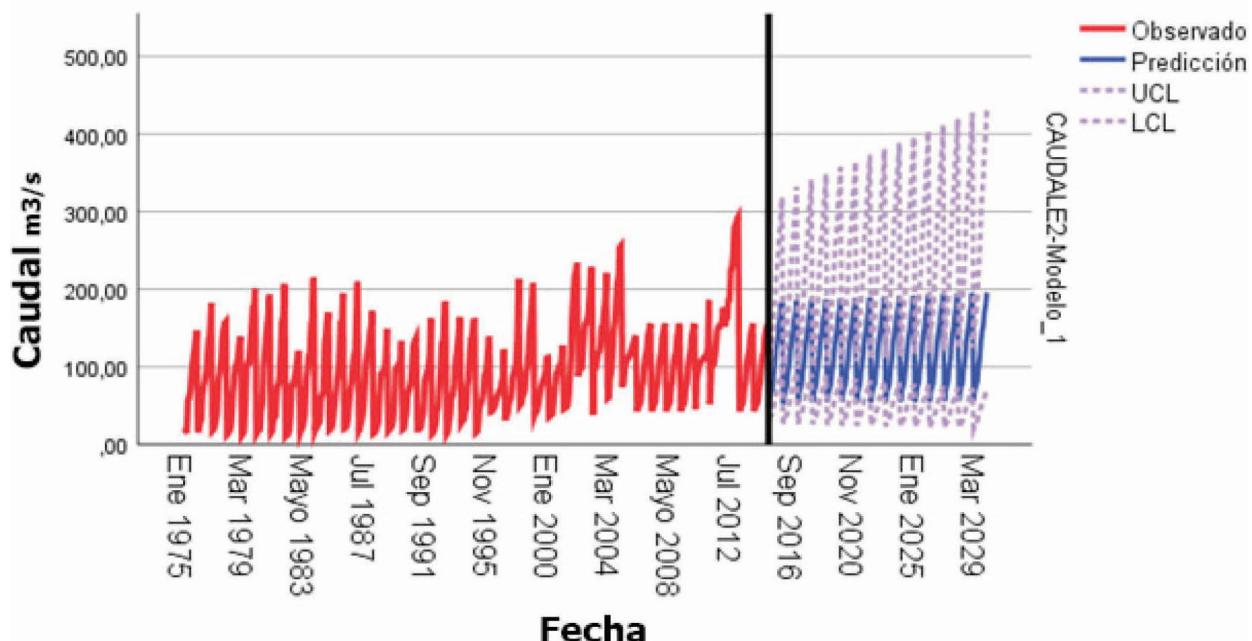


Gráfico 1. Pronóstico del caudal 15 años en la cuenca media del Río Cravo Sur en Yopal Casanare.

Fuente: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

INTRODUCCIÓN

En la región de la Orinoquía o Llanos Orientales de Colombia como es conocida comúnmente, se presenta una variación climática en diferentes tiempos del año siendo que para el primer trimestre del mismo se cuenta con un tiempo de sequía como lo demuestran los datos históricos de los últimos 40 años los cuales, fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales **IDEAM** “institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente” (IDEAM, 2014), estos datos, muestran que existen problemas de déficit hídrico en tiempos de sequía, acarreando situaciones

fuera de lo normal en el suministro de agua a las poblaciones y el abastecimiento a las actividades del agro incluido la ganadería donde se ven limitadas las mismas por la falta de continuidad y oferta de los productos; por tal razón, se hizo necesario realizar un análisis exploratorio de datos en un periodo comprendido entre el año 1975 y 2014 a la estación hidrometeorológica Puente El Yopal, ubicada en la ciudad de El Yopal-Casanare sector del MORRO – PUENTE LA CABUYA específicamente en la cuenca media del río debido a que en esta se encuentra situada la Ciudad de Yopal Casanare, siendo que es una de las más beneficiadas por este recurso de acuerdo a los datos recopilados por la empresa Environmental Ingenieros Consultores en la ejecución de

contrato de consultoría suscrito con la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia **CORPORINOQUIA** en el año 2007 con el fin de desarrollar el Plan de Ordenación Y Manejo de la Cuenca del Río Cravo Sur **POMCH**, allí se especifica que la cuenca es un territorio de estructura rural el cual, del 100% de su área, solo el 0,26% alberga los cascos urbanos de los municipios de Labranzagrande, Paya, Pisba, Nunchía y Yopal, donde este último, corresponde al 94.3% del territorio urbano de la cuenca.

Se pretende pronosticar el caudal del río 15 años y obtener elementos que sirvan de base para la toma de decisiones con el fin de prever y minimizar los riesgos derivados de variaciones extremas en los caudales. En el orden de las ideas anteriores, este documento servirá como herramienta de planeación del territorio.

La situación existente asociada al problema o necesidad, es la presencia de un alto nivel de incertidumbre referente a las condiciones del Recurso Hídrico de las cuencas, específicamente la del río Cravo Sur, información que viene siendo recopilada por entidades gubernamentales como: Ideam, Ingeominas, IGAC, Gobernaciones, Alcaldías, entre otras.

Algunas características generales de la Cuenca son: el Río Cravo Sur, desde su nacimiento en la cordillera Oriental en territorio del Departamento de Boyacá, específicamente el municipio de Tasco a 3.800 m.s.n.m. entre la

Serranía de Peña Negra y el Páramo de Cadilla el cual, se encuentra protegido dentro de los límites del Parque Nacional Natural de Pisba, hasta su desembocadura en el Río Meta, municipio de Orocué Casanare a los 150 m.s.n.m. presenta una importante corriente que baña los municipios de Tasco, Socotá, Gámeza, Mongua, Aquitania, Labranzagrande, Pisba y Paya por el Departamento de Boyacá perteneciendo a este un 35.47% de su extensión total y Támará, Nunchía, Yopal, San Luis de palenque y Orocué por el Departamento de Casanare con el 64.53% restante; su área total es de 565.113 hectáreas y su forma es oval oblonda a rectangular oblonda, alberga una corriente principal de 205 kilómetros de longitud que transcurre sobre un amplio gradiente altitudinal (CORPORINQUIA, CORPOBOYACA, & UAESPNN, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito principal de generar un documento que presenten elementos que sirvan de base para la toma de decisiones con el fin de prever y minimizar los riesgos derivados de variaciones extremas en los caudales y a su vez sirva como herramienta de planeación del territorio, se desarrolla una investigación con enfoque *cuantitativo* debido a que se basa en el análisis exploratorio de una serie de datos históricos con un alcance *descriptivo* ya que, se analiza información de manera independiente y teniendo en cuenta el siguiente diseño metodológico:

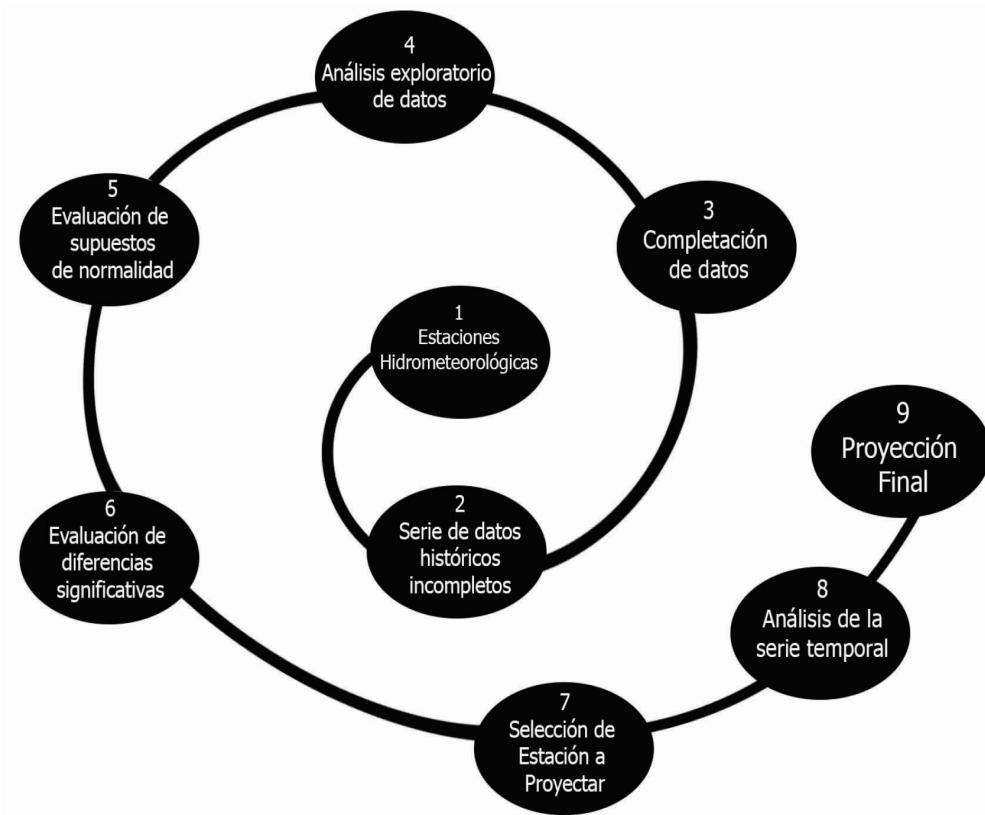


Figura 1. Ruta del proceso metodológico implementado.

Fuente: Investigador

Localización de la zona de estudio: la cuenca se localiza geográficamente entre los $4^{\circ}41'13''$ hasta los $5^{\circ}56'37''$ de Latitud Norte y entre los $71^{\circ}34'09''$ y $72^{\circ}46'28''$ de Longitud al Oeste de Greenwich, en conjunto con la influencia que ejerce la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), condicionan las propiedades físicas de la atmósfera que definen el tiempo y el clima. Actúan también sobre las características climáticas de la cuenca del río Cravo Sur, todas las condiciones físicas que le son propias (forma, orientación, rango de altitudes, topografía, vegetación, etc.) y que producen o modifican los elementos que crean

el clima (CORPORINQUIA, CORPOBOYACA, & UAESPNN, 2007).

La investigación se desarrolla con los registros históricos de caudales desde el año 1975 hasta el año 2014 provenientes de la estación hidrometeorológica Puente el Yopal operada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ubicada en el sector comprendido entre el corregimiento El Morro y el Puente La Cabuya el cual, une al municipio de Yopal con el Oriente del Llano Casanareño, datos que fueron facilitados por este ente gubernamental para fines académicos.

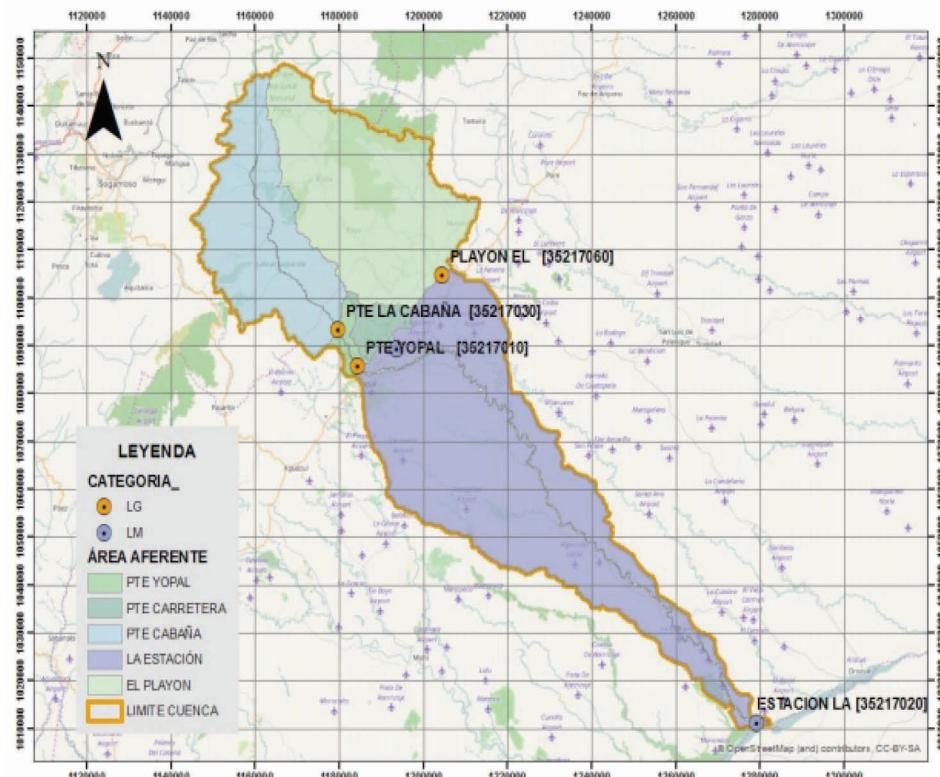


Figura 2. Modelo digital de la Cuenca del Río Cravo Sur y localización de estaciones de caudales.

Fuente de consulta: Actualización Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Cravo Sur Código 3521, pág. 36. Consorcio POMCA 2015 57

Fase I. Revisión y control de calidad de la serie de datos históricos y análisis exploratorio de datos: el IDEAM, como institución estatal encargada de “Fortalecer la capacidad tecnológica, científica, administrativa y financiera para producir la información hidrológica, meteorológica y ambiental de manera oportuna y con la calidad que requieran

la ciudadanía, los sectores públicos y privados del país” (IDEAM, 2014,) fue la entidad facilitadora de los datos históricos de caudales existentes de los últimos 40 años recopilados mediante dos estaciones hidrometeorológicas activas actualmente, ubicadas en el municipio de Yopal, Departamento de Casanare y descriptas a continuación:

Tabla 1. Características Estaciones Hidrometeorológicas Cuenca Media Río Cravo Sur

No	Nombre Estación	Código	Clase	Categoría	Lat	Long	Alt	fecha instalación	
								Inicio	fin
1	Puente La Cabaña	35217030	Hidrológica	Limnigráfica	54,379	-72,4552	497	1979	2012
2	Puente El Yopal	35217010	Hidrológica	Limnigráfica	5,369	-72,4137	343	1974	2012

Fuente de consulta: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

Recibidos y tabulados los datos históricos existentes de caudales de las dos estaciones más cercanas a la ciudad de El Yopal descritas anteriormente, logra evidenciarse que no se cuenta con series completas por lo cual, se realiza proceso de imputación de datos para cada una de ellas, optando por completar por el método de los promedios y obteniendo como resultado dos series completas con 480 datos independientes por cada estación.

Se realiza el análisis exploratorio de datos, donde se obtuvo los estadísticos descriptivos básicos, que permitieron realizar una evaluación preliminar de las dos series, teniendo en cuenta la media aritmética, media recortada al 5%, mediana de cada estación, además de la dispersión y asimetría. Dicho análisis permitió también revisar la existencia o indicios de normalidad.

Tabla 2. Descriptivos de las estaciones de estudio

Estación		Estadístico	
CAUDAL	ESTACION PUENTE LA CABANA	Media	66,92
		Media recortada al 5%	64,58
		Mediana	64,06
		Varianza	1728,29
		Desv. típ.	41,57
		Mínimo	0,66
		Máximo	242,80
		Rango	242,14
		Asimetría	0,75
		Curtosis	0,73
	ESTACION PUENTE EL YOPAL	Media	92,12
		Media recortada al 5%	88,88
		Mediana	90,08
		Varianza	3298,82
		Desv. típ.	57,43
		Mínimo	0,00
		Máximo	293,30
		Rango	293,30
		Asimetría	0,67
		Curtosis	0,28

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

Fase II. Selección de estación a pronosticar: Para determinar si lo conveniente para la investigación era trabajar con la serie de datos de una de las dos estaciones o si por lo

contrario se podría promediarlas y pronosticar los caudales con una sola serie se procede a evaluar si existen diferencias significativas en dichas series; previamente se evalúa el

cumplimiento del supuesto de normalidad para determinar si se emplearían pruebas paramétricas o no paramétricas; para ello, se emplea la prueba de **Kolmogorov – Smirnov** rechazándose la hipótesis de que existe presencia

de normalidad en ambas series debido a que su significancia se encuentra por debajo del 5% motivo por el cual, se aplican pruebas no paramétricas para comparar las series y evaluar las diferencias significativas entre ellas.

Tabla 3. Pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov

Estación		Estadístico	gl*	Sig.**
CAUDAL	ESTACION PUENTE LA CABANA	0,064	480	0,000
	ESTACION PUENTE EL YOPAL	0,078	480	0,000

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

*Grado de libertad ** Significancia

Al no contar con presencia de normalidad en las series, se procede a comparar visualmente entre ellas las medianas dentro de los gráficos

de caja, los cuales, presentan pocos valores extremos y se evidencia una mediana mayor en la estación Puente El Yopal.

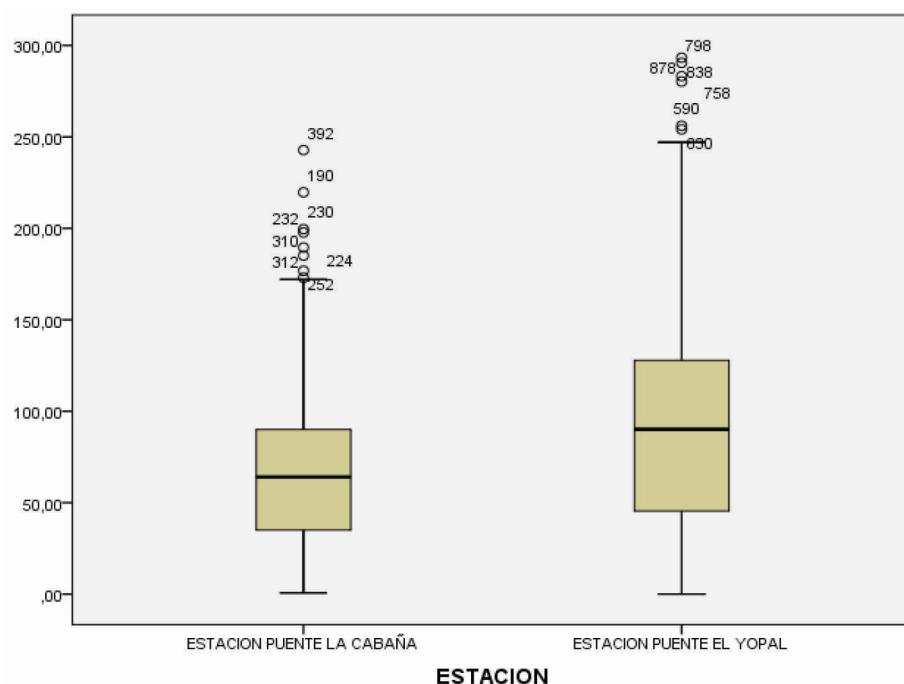


Figura 3. Comparación mediana gráficos de caja

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

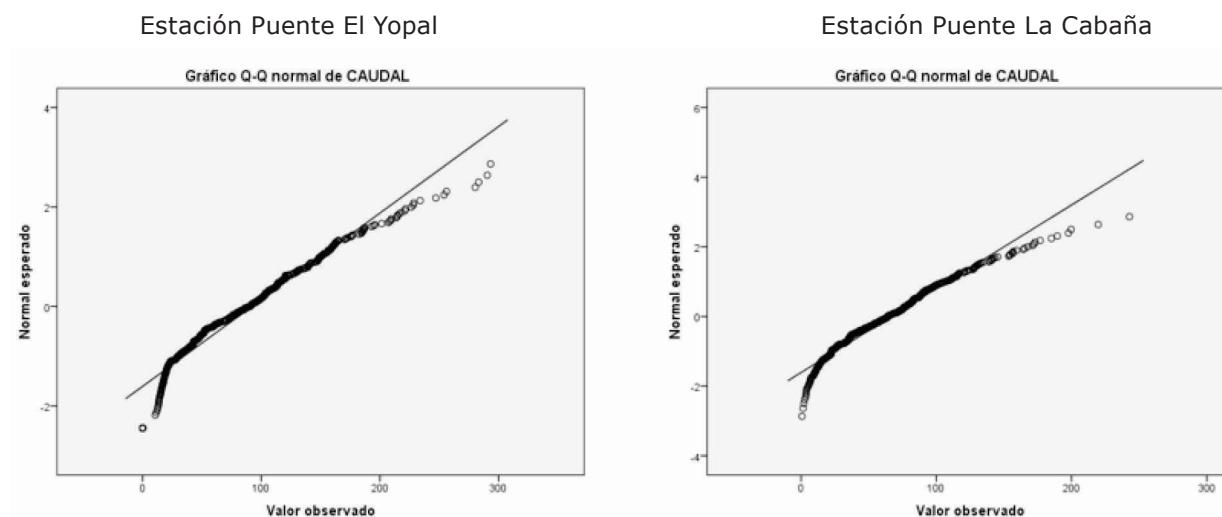


Figura 4. Q-Q normal con tendencia

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

Basados en los resultados, se aplica la prueba no paramétrica de **Mann Whitney** evidenciándose diferencias significativas entre las medianas de las series debido a que su significación se encuentra por debajo del 5%; por lo anterior y de acuerdo al criterio del

investigador, se toma la decisión de realizar la pronóstico final con la serie de la estación hidrometeorológica Puente El Yopal debido a que esta cuenta con caudales mayores y con el fin de no subestimar el pronóstico.

Tabla 4. Prueba de Mann-Whitney

Rangos				
	Estación	N	Rango promedio	Suma de rangos
CAUDAL	ESTACION PUENTE LA CABAÑA	480	418,96	201098,50
	ESTACION PUENTE EL YOPAL	480	542,04	260181,50
	Total	960		

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

Tabla 5. Pruebas No Paramétrica de Mann-Whitney

Estadísticos de contraste	
CAUDAL	
U de Mann-Whitney	85658,50
W de Wilcoxon	201098,50
Z	-6,87
Sig. asintót. (bilateral)	0,000

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

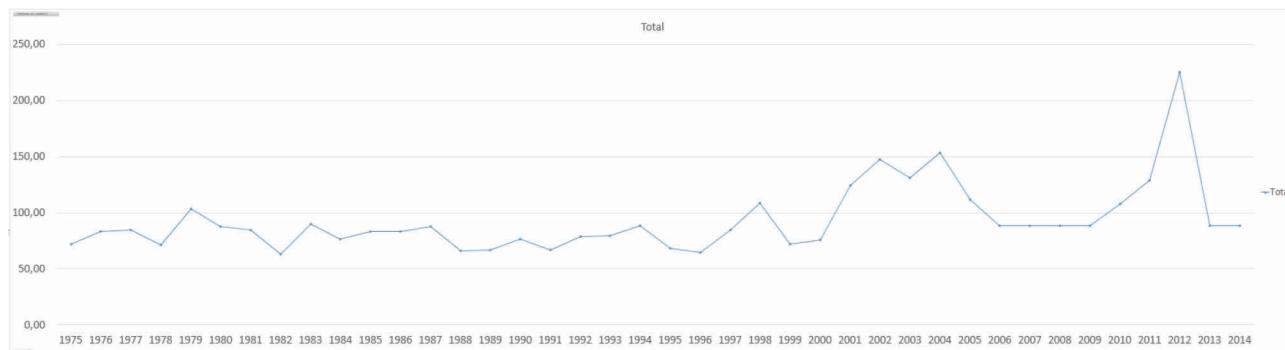


Figura 5. Secuencia de la serie Caudal Puente El Yopal (1975-2014)

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

Este gráfico presenta de manera preliminar que no existe tendencia en la serie por lo cual de manera intuitiva se afirmar que existe estacionariedad en media y en varianza. Por otra

parte, se observan picos que evidencian estacionalidad la cual, es una característica propia de la serie y se corrobora mediante los factores estacionales relacionados en la tabla No 6.

Tabla 6. Factores estacionales de estudio

Período	Factor estacional (%)
1	33,3
2	39,6
3	45,2
4	52,9
5	68,6
6	88,2
7	106,3
8	121,0
9	135,9
10	151,3
11	166,3
12	191,5

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

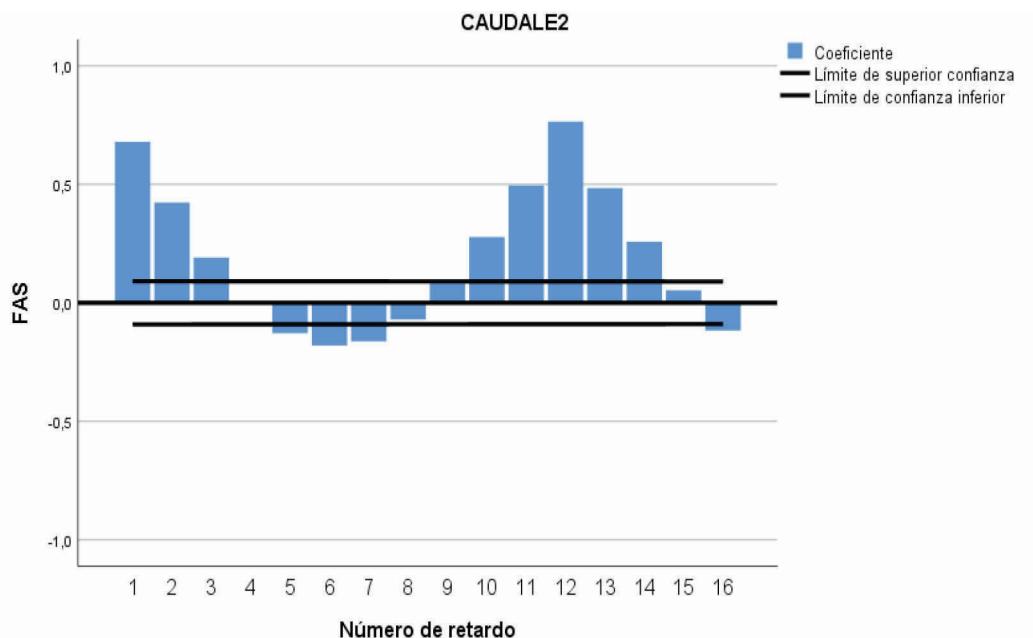


Figura 6. Función de autocorrelación

Fuente: Autores

Con el fin de corroborar la existencia de estacionariedad, se realiza análisis al grafico No 5 el cual, muestra que, al no decrecer

lentamente, la estacionariedad está presente en la serie.

Tabla 7. Descripción del modelo de pronostico

Tipo de modelo			
ID de modelo	CAUDALE2	Modelo_1	ARIMA(1,0,0)(0,1,1)

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador

Utilizando el módulo para pronósticos del Software **IBM SPSS Statistics** el cual, “es el principal software estadístico que ofrece técnicas de recolección de datos y analítica predictiva para solucionar múltiples problemas empresariales y de investigación. Brinda varias técnicas, que incluyen pruebas de hipótesis lo que facilita la gestión de los datos, la selección y

la ejecución de análisis y el intercambio de resultados, así como análisis multivariados y de sobrevida” (Statistics, IBM COLOMBIA S.A., 2018) y de acuerdo a las características de la serie, se obtiene un Modelo Estacional Autoregresivo Integrado de Medias Móviles **ARIMA (p,d,q)(P,D,Q)**.

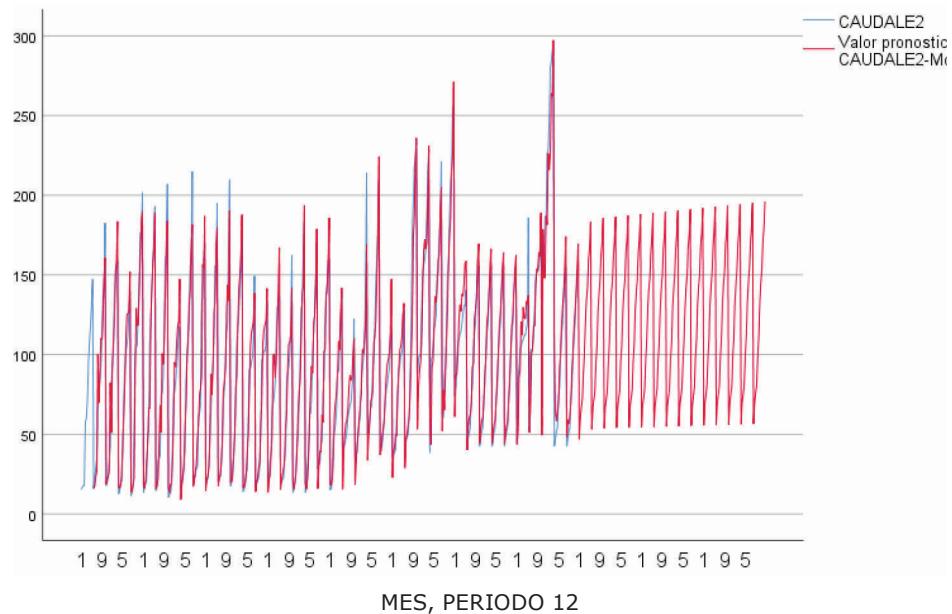
Tabla 8. Prueba de Ljung-Box Q(18)

Modelo	Ljung-Box Q(18)		
	Estadístico	DF	Sig.
CAUDALE2-Modelo_1	12,444	16	,713

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador

De acuerdo a la tabla No 8, se evidencia que, al evaluar la independencia de los residuales, estos no se encuentran correlacionados dado

que son independientes indicando que el modelo de pronostico seleccionado es robusto.

**Figura 7.** Evaluación del modelo de pronostico

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

Tabla 9. Estadísticos de prueba

CAUDALE2	
U de Mann-Whitney	108003,00
W de Wilcoxon	217749,00
Z	-,365
Sig. asintótica(bilateral)	,715

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

Realizado el pronóstico, se realiza prueba de Mann Whitney con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre los datos iniciales y los pronosticados, evidenciándose que debido a que su significación se encuentra

por encima del 5%, no existen diferencias significativas entre las series, por lo tanto, se puede afirmar que el modelo utilizado es eficiente para el pronóstico.

Con el pronóstico final se procede a realizar análisis exploratorio de datos para cada mes, donde se obtuvo los estadísticos descriptivos básicos, que permitieron evaluar preliminarmente la serie pronosticada identificando el promedio del caudal el cual, tiende a aumentar

anualmente, mientras que, promediando el caudal de cada mes durante los quince años pronosticados, los meses con mayores caudales tienden a ser los del tercer trimestre de cada año. Tabla 10 (Anexo).



Figura 8. Promedio del valor pronosticado según mes para los 15 años

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

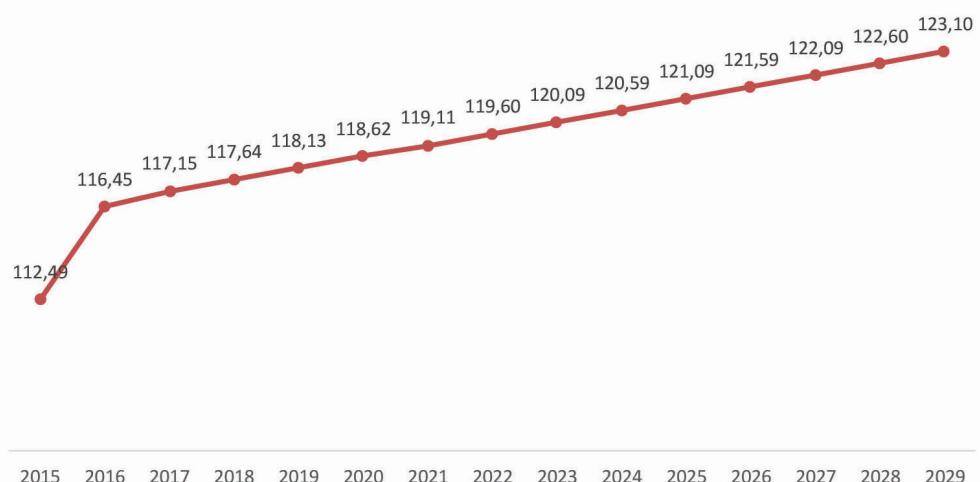


Figura 9. Promedio del valor pronosticado según mes para los 15 años

Fuente de consulta: Datos IDEAM, completación de datos y procesamiento por parte del investigador.

CONCLUSIONES

Los datos aquí presentados servirán como fundamento teórico para la comunidad en general y a entes gubernamentales quienes, de acuerdo a su criterio, puedan tomar decisiones en pro del desarrollo de la región teniendo en cuenta, que

son datos de caudales que posiblemente puedan ocurrir en la región y que podrían o no afectar los sectores afines a esta área como lo son el agro y ganadero además de la calidad de vida de la población del municipio El Yopal principalmente.

Se observa que el comportamiento del caudal en la cuenca media del Río Cravo Sur es uniforme mostrando ciclos anuales de estacionalidad presentados en las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en esta zona de estudio.

En el análisis exploratorio realizado a los datos iniciales se obtuvo información descriptiva suficientemente útil sobre el comportamiento general de los datos, los cuales fueron corroborados con los resultados obtenidos en los análisis confirmatorios; cabe destacar también que este es un paso necesario para realizar cualquier tipo de investigación ya que, permite tener una visión descriptiva de los datos con ayuda de los estadísticos básicos, los gráficos y pruebas de normalidad.

Realizado el análisis del comportamiento de las series históricas, logra evidenciarse que el caudal en algunos sectores de la zona de estudio se encuentra por encima de los caudales aguas arriba y que este aumenta de manera importante principalmente en el sector circundante al municipio de El Yopal en el Departamento de Casanare.

De acuerdo con el pronóstico realizado, el promedio del caudal en la zona media del río Cravo Sur comprendida entre EL CORREGIMIENTO DEL MORRO – PUENTE LA CABUYA tiende a aumentar anualmente, mientras que, promediando el caudal de cada mes durante los quince años proyectados, los meses con mayores caudales tienden a ser los del tercer trimestre de cada año.

Siempre debe buscarse la posibilidad de realizar análisis con series de datos de tiempo completas con el fin de corroborar la veracidad en el comportamiento de cada variable.

Es claro que se presenta un pronóstico estimados de caudales derivados de datos históricos

hasta el año 2014 pero ello no implica que los datos obtenidos sean cien por ciento reales por lo cual, podría ocurrir un evento anormal de caudal en la zona llegando a niveles no vistos antes debido a la constante variación del clima en los últimos años, es recomendable que la comunidad en general solicite a las entidades locales (alcaldías, corporaciones regionales ambientales entre otras), estudios más especializados con el fin de prevenir eventos no deseados.

Es importante continuar realizando investigaciones de este tipo, incorporando al análisis otras variables como lo son: temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento, evaporación, evapotranspiración entre otros, con el fin de evaluar el efecto de las mismas sobre los niveles del caudal.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano **UNITROPICO** como universidad que estudia la Orinoquía Colombiana, por la oportunidad de aprendizaje, al docente **LEOMAR R. VALECILLOS** licenciado en Ciencias Estadísticas de la Universidad Central de Venezuela por el soporte estadístico para la realización de los análisis.

LITERATURA CITADA

- Actualización Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Cravo Sur Código 3521, pág. 36. Consorcio POMCA 2015 57
- CORPORINQUIA, CORPOBOYACA, & UAEPPNN. (2007). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Cravo Sur. Yopal, Casanare, Colombia.
- Hernández Martín, Z. (2012). MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS (APUNTES). España: Servicio de Publicaciones, ed. 519.2.
- IDEAM. (2014). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://www.ideal.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>
- Statistics, I. S. (agosto de 2018). IBM COLOMBIA S.A. Obtenido de <https://www.ibm.com/co-es/products/spss-statistics/details?lnk=hm>

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

EVALUACIÓN DE COAGULANTES NATURALES EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS

EVALUATION OF NATURAL COAGULANTS IN WATER CLARIFICATION

**¹Sebastian Barreto Pardo, ²Diana Karina Vargas Moncada
³Lida Ruiz Martínez, ⁴Sandra Liliana Gómez Ayala**

¹*Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Sede Bosque Popular, Bogotá D.C- Colombia.* ²*Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Sede Bosque Popular, Bogotá D.C- Colombia.* ³*Maestría en Gestión Ambiental, Universidad Libre Sede Bosque Popular, Bogotá D.C- Colombia.* ⁴*Doctorado en Química, Universidad Libre Seccional Campus Universitario Majavita, El Socorro Santander-Colombia.*

¹juans-barretop@unilibre.edu.co ²dianak-vargasm@unilibre.edu.co
³lidae.ruizm@unilibre.edu.co ⁴sandral.gomeza@unilibre.edu.co.edu.co

RESUMEN

La coagulación/floculación y sedimentación de partículas presentes en el agua hacen parte del tratamiento primario avanzado, el cual es el más utilizado para la remoción de partículas contaminantes presentes en aguas con altos niveles de turbiedad. Es por esto, que en esta investigación se realizó la comparación entre el coagulante comercial más utilizado (sulfato de aluminio) y los coagulantes naturales extraídos de la semilla del aguacate y el mucílago del café para tratar las aguas de la quebrada La Guayacana ubicada en el municipio de El Socorro-Santander, para ello se realizaron ensayos de jarras y se determinó la eficiencia de cada uno de los coagulantes mencionados, en términos de reducción de color y turbiedad. Los resultados obtenidos señalan que el coagulante tipo C (semilla de aguacate) presentó una remoción del 44.27% en la turbiedad, por su parte el coagulante tipo B (mucílago del café y solución buffer de fosfato) fue el

coagulante con mejores resultados y permitió remover el 64,29% de la turbiedad y 52,20% de color, indicando que este extracto puede servir como un coagulante preliminar o auxiliar en el proceso de tratamiento primario de aguas que presentan valores considerables en la turbiedad.

Palabras Clave: *Color, Dosis Óptima, Ensayo de Jarras, Turbiedad.*

ABSTRACT

Coagulation / flocculation and sedimentation of particles present in the water are part of the advanced primary treatment, which is the most commonly used for the removal of contaminating particles present in waters with high turbidity levels. That is why, in this investigation, a comparison was made between the most commonly used commercial coagulant (aluminum sulfate) and the natural

coagulants extracted from the avocado seed and the coffee mucilage to treat the waters of La Guayacana creek located in the municipality of El Socorro-Santander, for that purpose pitcher tests were carried out and the efficiency of each of the coagulants mentioned was determined, in terms of color and turbidity reduction. The results obtained indicate that the coagulant type C (avocado seed) presented a removal of 44.27% in turbidity, meanwhile the coagulant type B (coffee mucilage

and phosphate buffer solution) was the coagulant with better results and allowed to remove 64.29% of the turbidity and 52.20% of color, indicating that this extract can serve as a preliminary or auxiliary coagulant in the process of primary water treatment that has considerable turbidity values.

Key Words: *Color, Optima Dose, Trial of jars, Turbidity.*

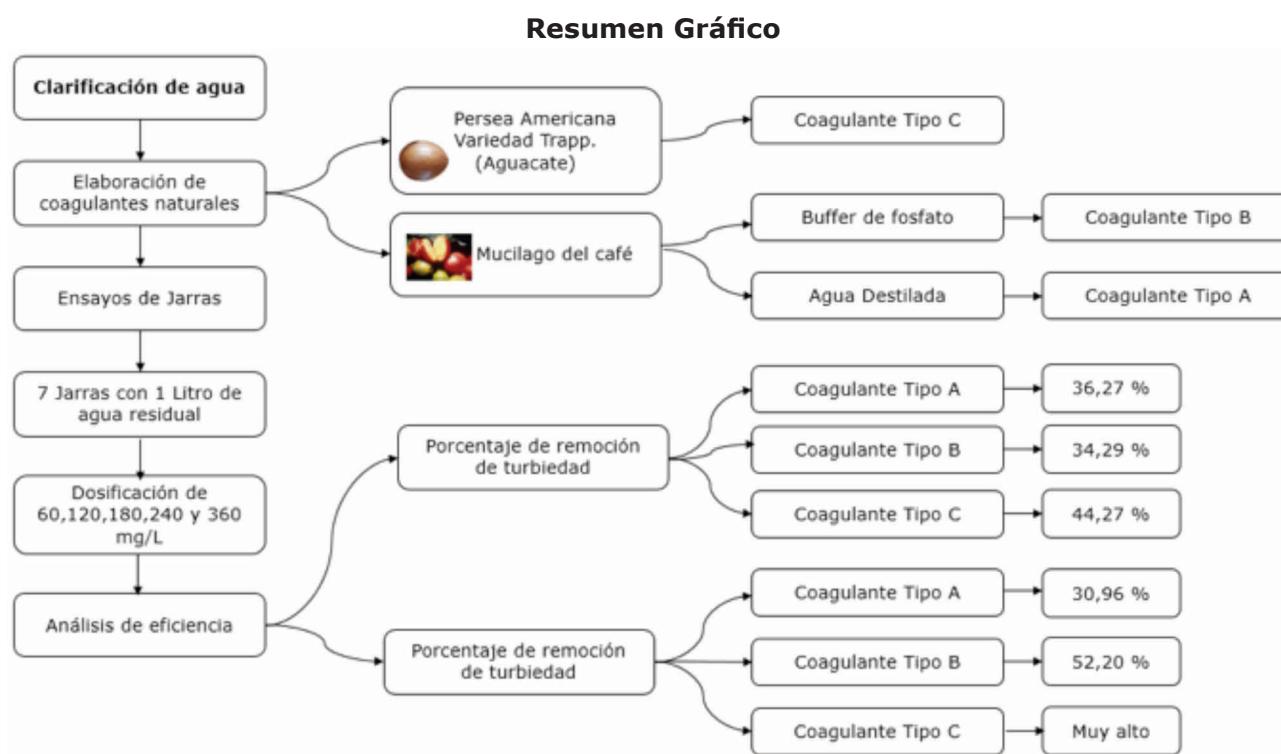


Figura 1. Resumen Gráfico.

Fuente: Autores

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, cada vez se fabrican más cantidades de productos lo que incrementa la producción de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, los cuales en muchas oportunidades son liberados indiscriminadamente al ambiente, en particular a las aguas superficiales (Yin, 2010). No obstante, las aguas pueden ser tratadas mediante

procesos de coagulación, floculación y sedimentación para la remoción de material suspendido o coloidal, sin embargo, esto conlleva al aditamento de más sustancias químicas al efluente, para así lograr la remoción de turbidez, la cual es un indicador de la presencia de los sólidos en el agua (Kakoi, Kalulli, Ndiba, & Thiong'o, 2016).

aguas residuales, entre ellos el proceso de desinfección aumentando el riesgo de propagación de enfermedades transmitidas por el agua (Bina, Mehdinejad, Nikaeen, & Attar, 2009). Por otro lado, las sustancias utilizadas en la etapa coagulación/flocculación pueden clasificarse en dos, polímeros sintéticos y naturales, dentro de los polímeros sintéticos se encuentran algunos derivados de la poliacrilamida y el polietileno, estos generalmente son poco usados debido a la presencia de monómeros residuales los cuales son neurotóxicos y carcinógenos. Por su parte, los polímeros naturales obtenidos a partir de microorganismos, tejidos y semillas de plantas o animales son biodegradables y seguros para la salud humana (Ramírez Arcila, Jhoan, & Peralta, 2015). Los coagulantes de mayor uso son de origen químico, generalmente sales de metales trivalentes, entre estos se puede mencionar las sales de aluminio y de hierro (M. Šćiban, Klašnja, Antov, & Škrbić, 2009). Las sales de aluminio se han asociado con la enfermedad de Alzheimer y otras enfermedades neurológicas, conforme a algunos estudios demuestran cómo el cuerpo humano asimila fácilmente el aluminio y da lugar a consecuencias negativas a largo plazo; lo anterior teniendo en cuenta que una concentración de aluminio superior a 0,1 ppm en agua para consumo humano puede ser un factor de riesgo para la salud humana (Parra et al., 2011). Por su parte las consecuencias adversas por el uso de sales inorgánicas en el tratamiento del agua pueden variar desde la generación de altos volúmenes de desechos inorgánicos potencialmente tóxicos, los cuales requieren la eliminación apropiada (Abebe, Chen, & Sobsey, 2016); cambios en el pH del agua e ineficacia de los mismos a baja temperatura (Shamsnejati, Chaibakhsh, Pendashteh, & Hayeripour, 2015).

Con base en lo anterior, existe un interés creciente en aprovechar los polímeros orgánicos

obtenidos a partir de extractos de plantas o sus semillas para la coagulación/flocculación en el tratamiento de aguas debido a su nula toxicidad y a su alta biodegradabilidad, motivo por el cual este tipo de extractos son comúnmente llamados coagulantes naturales (Abebe et al., 2016). La aplicación de coagulantes de este tipo constituye un gran esfuerzo en la búsqueda de cumplir con las iniciativas globales de desarrollo sostenible, el mundo se encuentra en la era del cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales y la degradación ambiental deben ser frenadas con la implementación de la tecnología ambiental sostenible (Yin, 2010). Por lo tanto, es deseable desarrollar alternativas ambientalmente aceptables y económicamente viables para reemplazar los coagulantes sintéticos. Teniendo en cuenta que las plantas pueden cultivarse localmente, los coagulantes naturales a base de plantas resultarían ser más rentables que los productos químicos importados.

Existen diversos precedentes con relación al uso de diferentes coagulantes obtenidos de plantas, Prospero Alpino (botánico italiano) ofrece un testimonio del uso de almendras para ayudar a la sedimentación, en este caso se empleó cáscara de almendras dulces y aplastadas para la clarificación del agua, haciendo las veces de ayudante de sedimentación. Por otro lado, Felix D'Acret escribió un notable documento en el que describe la filtración a través de recipientes porosos y la coagulación con almendras y frijoles en la clarificación del agua para la potabilización (Fatombi, Lartiges, Amounou, Barres, & Caillet, 2013). De igual modo, en la actualidad se hace frecuente la búsqueda de otros compuestos orgánicos de origen natural para la fabricación de coagulantes, como por ejemplo las cáscaras de naranja (Kebaili, Djellali, Radjai, Drouiche, & Lounici, 2018), las del banano (Kakoi et al., 2016), las semillas de habas (Kukić, Šćiban, Prodanović, Tepić, &

Vasić, 2015), los almidones (Choy, Prasad, Wu, Raghunandan, & Ramanan, 2016), las castañas y bellotas (M. Šćiban et al., 2009), las legumbres (M. B. Šćiban, Klašnja, & Stojimirović, 2005) entre otros. Sin embargo, la mayoría de las revisiones sobre coagulantes naturales, hacen hincapié principalmente en cuatro plantas, la semilla de la *Moringa Oleífera*, la semilla de Nirmali, los taninos y el cactus *Opuntia Ficus-Indica* empleados para el tratamiento de agua bruta y residual (Yin, 2010).

Existen precedentes donde se afirma que los taninos catiónicos pueden ser empleados como agentes de coagulación, dado que a partir de estos es posible sintetizar coagulantes partiendo de varias materias primas (Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín, & Gómez-Muñoz, 2010), en especial extractos de diferentes semillas como "Horse chestnut" (*Aesculus hippocastanum*), roble común (*Q. robur*), roble turco (*Q. cerris*), roble rojo norteño (*Q. ruber*) y castaña europea (*C. sativa*) a las cuales les determinaron el contenido de proteínas y su actividad coagulante, encontrando que la castaña europea y el roble común son las más eficientes (M. Šćiban et al., 2009). Por otro lado, también se han empleado extractos etanólicos de las semillas de uvas (GSE) y polifenoles derivados de las mismas, como ácido tánico y la catequina en un esfuerzo por encontrar nuevos coagulantes orgánicos naturales (NOCs) (Jeon et al., 2009). También, se ha investigado polímeros catiónicos comerciales a base de taninos (TBP) con el objeto de establecer sus propiedades químicas básicas y su comportamiento como coagulante (Graham, Gang, Fowler, & Watts, 2008).

Adicional a ello algunos investigadores analizaron la aplicación de taninos como coagulantes primarios y/o ayudantes de la coagulación en el tratamiento de agua, el tanino en estos estudios fue extraído de la Valonia (Özacar & Şengil, 2002; Yin, 2010). El estudio permitió concluir

que el tanino combinado con el sulfato de aluminio es un excelente sustituto de los coagulantes químicos, debido a la cationización de los taninos (Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín, & Dávila-Acedo, 2011) hecho que se debe a que los agentes coagulantes cargados positivamente pueden desestabilizar coloides aniónicos una vez se mezclan en soluciones acuosas provocando la remoción de una amplia variedad de sustancias aniónicas, tales como colorantes, tensoactivos y materia orgánica (Beltrán-Heredia et al., 2010). La semilla de aguacate empleada en el presente estudio posee material celular irregular que contiene taninos (Gaviaria Mejía & Mejía Aguas, 2012) derivados de la familia del ácido gálico y son los llamados hidrolizables, que poseen diversos efectos en sistemas biológicos, tales como atrapar y encapsular metales, actividad antioxidante y ayudante de precipitación, entre otras (Segovia Gomez, 2015).

Con respecto al mucilago de café, este se localiza entre la pulpa y la cáscara de la semilla de café y representa alrededor del 5% del peso de este. Adicionalmente, el mucílago es un sistema coloidal líquido, liofilico que actúa como un hidrogel, químicamente estos contienen agua, azúcares, ácidos orgánicos y pectinas. La estructura del mucílago presenta una primera fracción en donde se encuentran las pectinas, con propiedades gelificantes y una segunda fracción sin propiedades gelificantes (Braham & Bressani, 2017) otros autores (Goycoolea & Cárdenas, 2003; Matsuhiro, Lillo, Sáenz, Urzúa, & Zárate, 2006; Medina-Torres, Brito-De La Fuente, Torrestiana-Sánchez, & Katthain, 2000) afirman que los mucílagos son carbohidratos de naturaleza compleja que contienen L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa, así como ácido D-galacturónico en diferentes proporciones, este último siendo la estructura básica de las pectinas (Sociedad Latinoamericana de Nutrición, Sangronis, & Unai, 2008).

El principal uso de las pectinas en la industria alimentaria es como gelificante, espesante, texturizante, emulsificante y estabilizante, su aplicación más común es en la manufactura de mermeladas y jaleas. Esta funcionalidad de la pectina es atribuida a la presencia de regiones polares y apolares dentro de su molécula, lo que permite incorporarla a diferentes sistemas alimenticios (Sociedad Latinoamericana de Nutrición et al., 2008). Como se ha indicado, el mucílago del fruto del café es muy rico en sustancias pécticas que se podrían aislar. Sin embargo, estas sustancias son difíciles de recuperar debido a que el despulpado y lavado son operaciones inherentes al proceso de la extracción del café (Aritizábal Arias & Duque Orrego, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto fue desarrollado en el laboratorio de aguas y microbiología de la Universidad Libre seccional Socorro, Santander. Se realizó un muestreo puntual en el vertimiento en la quebrada La Guayacana del municipio de El Socorro; adicional a ello, para la extracción de los coagulantes se utilizó la semilla de aguacate, la cual representa un residuo que en su composición química posee taninos, los cuales pueden ser empleados como coagulantes (Beltrán-Heredia et al., 2010). Por su parte, el mucílago de café fue obtenido de la planta de beneficio que se encuentra en la Universidad Libre, el mucilago constituye un residuo que se genera en el proceso del descerezado y lavado en la producción del café. Para poder tener un punto de comparación en el estudio, se realizaron ensayos con un coagulante comercial "sulfato de aluminio tipo B" y con ellos se evaluó el desempeño en la clasificación de los coagulantes convencionales con respecto a los usados en esta investigación, cabe resaltar que todos los coagulantes fueron preparados a una concentración del 2% (m/v).

Obtención de Coagulantes Naturales

En la extracción de los hidrocoloides (mucílago), se utilizó una mezcla acuosa de mucílago relación 3:1, tomada de la planta de beneficio de café del campus Majavita de la Universidad Libre, dicha mezcla pasó a través de un filtro de acero inoxidable de 2,38 mm y se dejó decantar en conos Imhoff durante 24 horas. Posteriormente se separó el agua del mucílago, y este último se dividió en dos partes, a la primera de ellas fue secada (50°C; 40 min) y se dejó fermentar por un día más (Sáenz et al., 2006), la solución para este coagulante se preparó disolviendo 10 g de coagulante en 500 ml de agua destilada y se rotuló como coagulante tipo (A); la segunda porción del extracto se le realizó un tratamiento térmico en plancha (97°C; 1 hora) y en horno secador por convección (50°C; 1 hora y media) y se obtuvo un polvillo aproximadamente un tamaño de partícula de 1 mm; la solución para este primer coagulante se preparó disolviendo 10 g de coagulante en polvo en 500 ml de solución amortiguadora o buffer de fosfato y se rotuló como coagulante tipo (B).

Para el último coagulante, se utilizó la especie vegetal denominada *Persea americana*, variedad *Trapp* (Aguacate) presente en la zona. La semilla del aguacate fue triturada y se cernió con un tamiz de número de malla 10 (2 mm U.S. Standar Sieve). Posteriormente, se llevó a un sistema de extracción Soxhlet durante 6 horas, se empleó éter etílico para la extracción del aceite de la semilla (ISPC, 1990) y finalmente se secó el extracto sólido en el horno secador por convección, es decir, el ripio de la semilla de aguacate a la cual le fue retirado el aceite. Para concluir, se pulverizó el ripio de semilla de aguacate a fin de obtener un polvo fino (Lizbeth & Meneses, 2015) con un tamiz de número de malla 30 (0,500 mm U.S. Standar Sieve). La solución para este coagulante se preparó disolviendo 10 g de ripio de aguacate

en 500 ml de agua destilada y se rotuló como coagulante tipo (C).

Prueba de jarras

Para determinar la eficiencia de los coagulantes, se realizó la prueba de jarras estándar, para tal fin se emplearon 7 jarras de un litro con agua residual, una se utilizó como jarra de control y las otras 6 fueron dispuestas en un floculador con velocidad de agitación variable. Cada una de estas jarras fue dosificada con los coagulantes obtenidos en concentraciones de 60, 120, 180, 240, 300 y 360 mg/L, los ensayos fueron realizados teniendo en cuenta el protocolo propuesto por (Shamsnejati et al., 2015) Ocimum basilicum L. (basil, quienes establecieron el desarrollo del test de jarras mediante las etapas de dosificación, agitación rápida, agitación lenta y sedimentación, con replicas por triplicado, por ello todos los ensayos fueron realizados a una velocidad de agitación de 100 rpm para mezcla rápida durante 3 min y 40 rpm para mezcla lenta o floculación durante 15 min, la sedimentación se dio durante una hora y todos los ensayos fueron por triplicado.

Eficiencia y comportamiento de variables

Para analizar la eficiencia de los coagulantes en los respectivos ensayos, se determinó la turbiedad usando un turbidímetro (turbidímetro portable, HACH 2100Q, Colombia) y un espectrofotómetro (Fotómetro Spectroquant, NOVA 60 de Merck, Alemania) para la determinación del color, adicional a ello, se determinó el pH con la ayuda de un potenciómetro (Multímetro digital de dos canales, HACH HQ40D, Colombia) y la alcalinidad del agua mediante un proceso de titulación con un ácido y un indicador colorado (Chaibakhsh, Ahmadi, & Zanjanchi, 2014) y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 = \frac{V_{\text{Indicador}} * N * 5000}{V_{\text{muestra}}}$$

Donde,

- $V_{\text{indicador}}$ es el volumen (mL) de ácido sulfúrico utilizado en la titulación N es la normalidad del ácido sulfúrico utilizado
- V_{muestra} es la alícuota de la muestra analizada

El porcentaje de remoción de color se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción Turbiedad} = \frac{(T_o - T_f)}{T_o} * 100$$

Donde,

- T_o es el valor inicial de la turbiedad
- T_f es el valor final de la turbiedad en cada ensayo

El porcentaje de remoción de color se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción Color} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} * 100 \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde,

- C_o es el valor inicial de la turbiedad
- C_f es el valor final de la turbiedad en cada ensayo

Por otro lado, se determinó la dosis óptima de coagulante mediante las siguientes fórmulas:

$$[\text{Concentración de Coagulante}] = \frac{\text{masa (mg)}}{\text{Volumen (ml)}} = \frac{\text{mg}}{\text{ml}}$$

Donde,

- *Masa* corresponde al valor en (mg) del coagulante a preparar
- *Volumen* es el valor en (mL) del coagulante a preparar

$$[\text{Dosis de Coagulante}] = [\text{Coagulante}] \frac{\text{mg}}{\text{ml}} * \frac{V_a(\text{ml})}{V_m(\text{L})} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

En donde,

- *[Coagulante]* es la concentración de coagulante determinada en la primera fórmula

- V_a es equivalente al volumen (mL) aplicado en cada jarra en mililitros y corresponde al ensayo que se obtuvo en el test de jarras.
- V_m es el volumen de la muestra a tratar en Litros.

para cada uno de los datos con su respectivo porcentaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones iniciales de la calidad del agua residual se presentan en la tabla 1. En esta se observa que la alcalinidad residual es menor a 100 mg de CaCO_3/L hecho por el cual no se requirió la adición de alcalinizante para lograr la aglomeración de partículas (Arenas Esteves, 2017). Cabe resaltar que en los casos en los cuales el agua no contiene la alcalinidad suficiente para reaccionar con el coagulante generalmente se hace necesario añadir cal o hidróxido de sodio al agua (Giraldo & Castri-llón Bedoya, 2012). Por otro lado, se realizó un único muestreo puntual del vertimiento, obteniendo valores de 155 NTU y 177,5 UPC para la turbiedad y el color, dicho muestreo se realizó en el mes de octubre, en tempora-da de alta precipitación.

Manejo de datos

Se realizaron ensayos de jarras con los si-guienes coagulantes: de sulfato de aluminio, mucílago de café con agua destilada (A), mucí-lago de café con solución buffer de fosfato (B) y semilla de aguacate (C); se hicieron medicio-nes de pH, color y turbiedad, adicionalmente se halló el porcentaje de remoción de turbie-dad y color, teniendo en cuenta los parámetros iniciales que se muestran en la tabla 1. Poste-riormente se realizó el tratamiento de datos mediante la herramienta de Microsoft Excel, promediando cada uno de los datos obtenidos, puesto que se hicieron tres ensayos de jarras por coagulante, finalmente se procede a ha-llar la desviación estándar de color y turbiedad

Tabla 1. Parámetros iniciales de calidad del agua residual empleada.

Parámetro	Valor	UNIDAD
pH	6,9	-
Alcalinidad	154,9	mg de CaCO_3/L
Turbiedad	155	UNT
Color	177,5	UPC

Fuente de consulta: Autores

Las figuras 2 y 3 presentan la variación del porcentaje de remoción de turbiedad y color para los distintos coagulantes ensayados a distintas dosis. Se puede apreciar que el coagulante comercial permitió alcanzar los ma-yores porcentajes de remoción de turbiedad ($99\% \pm 0,40$) y de color ($90\% \pm 1,19$), valores consecuentes con otros autores como San-doval y Canepa (Sandoval Arreola & Canepa Laines, 2014) quienes alcanzaron un 96,60%

y un 98,32%, al igual que Heber, Marina y Leonardo (De Paula, De Oliveira Ilha, & An-drade, 2014) quienes afirmaron que el sulfato de aluminio por sí solo, cumple todas la es-pecificaciones para tratar aguas grises con fi-nes de reutilización, hecho que denota la alta efectividad de esta sal inorgánica en el trata-miento de agua residual y cruda. Por su parte, el coagulante extraído de mucilago de café, logró remover el 65% de turbiedad y un 30%

de color con un margen de error de 2,47% y del 3,97% respectivamente, con una dosis óptima de 300 mg/L, lo cual y de acuerdo a distintos autores se debe a la acción de las

cadenas pécticas en el proceso de aglomeración (Braham & Bressani, 2017) de partículas presentes en el agua de estudio.

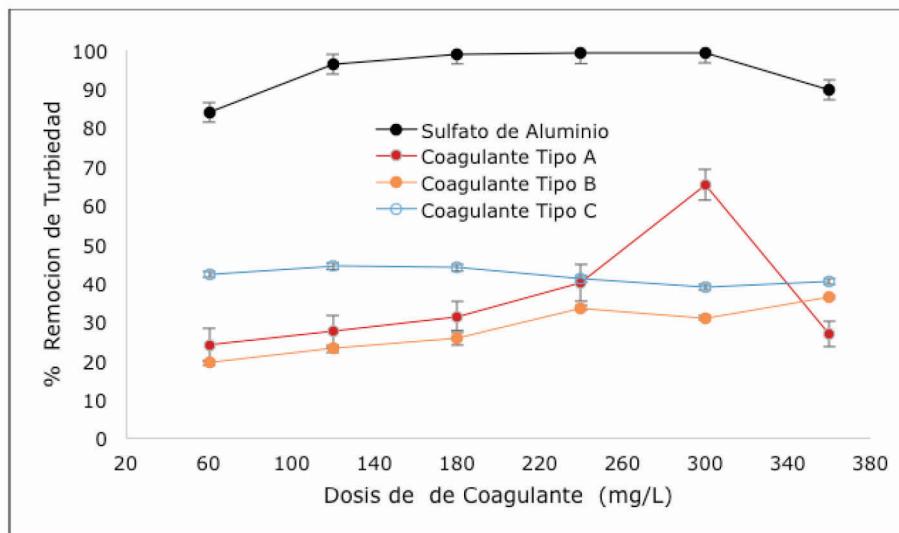


Figura 2. Porcentaje de remoción de turbiedad vs. dosis de coagulante aplicado. Fuente de: Autores

Se observó que el efecto principal del coagulante tipo (A) es la remoción de turbiedad a pesar que permite remover color del agua, el porcentaje de remoción no es comparable con el de turbiedad. En la figura 2 se puede apreciar el comportamiento de los coagulantes, los porcentajes de remoción de turbiedad y su dosificación, observando que tanto

el coagulante de mucilago tipo (A) y tipo (B) poseen cierta tendencia, sin embargo uno alcanza un nivel mayor de remoción que el otro. En la tabla 2 se presentan los resultados correspondientes a porcentajes de remoción y de turbiedad obtenidos con coagulantes similares a los empleados.

Tabla 2. Antecedentes Coagulantes Naturales

Coagulante	% Remoción de turbiedad	Referencia
Mucilago Cactus <i>Opuntia Wentiana</i>	41,47 - 94,84	(Parra et al., 2011)
Mucilago del cactus <i>Stenocereus griseus</i>	14,5 - 80,42	(Fuentes S., Mendoza S, López M, Castro V., & Urdaneta M., 2011)
Mucílago de <i>fenogreco</i>		
Semilla de <i>Malva</i>	40 - 95	(Yin, 2010)
Semilla <i>Tamarindus indica</i>		

Fuente: Los autores

Con respecto a los resultados presentados en la tabla 2 se puede afirmar que el coagulante tipo (A) se encuentra entre los rangos del porcentaje de remoción de turbiedad expuestos por los tres autores, lo que demuestra cierta tendencia en la actividad de los mucilagos en procesos de clarificación de aguas. Por otro lado, se puede afirmar que el coagulante tipo (B) fue poco efectivo en la reducción turbiedad y de color, arrojando valores entre 30% y 39% de remoción, con un intervalo de desviación aproximadamente del 0,4% y se detalla que este no alcanza ni el mínimo porcentaje de remoción (40%) en el que se encuentran los coagulantes mencionados anteriormente en la tabla. Cabe resaltar que los autores Anastasakis,

Kalderis, & Diamadopoulos (2009) apoyaron el proceso de coagulación/floculación usando como coagulante sulfato de aluminio y como floculante mucilago de okra y de malva. Con el uso del primer floculante alcanzaron un 70% de remoción de turbidez y afirmaron que se eliminó un 19% más con respecto al coagulante por sí solo. Asimismo, con el uso del segundo floculante alcanzaron un porcentaje de remoción del 62% al 67%, siendo de un 5% a un 12% más efectivo que el coagulante por sí solo, lo que permite identificar una nueva metodología aplicable para el uso del coagulante tipo (A) y tipo (B) a fin de obtener mejores resultados.

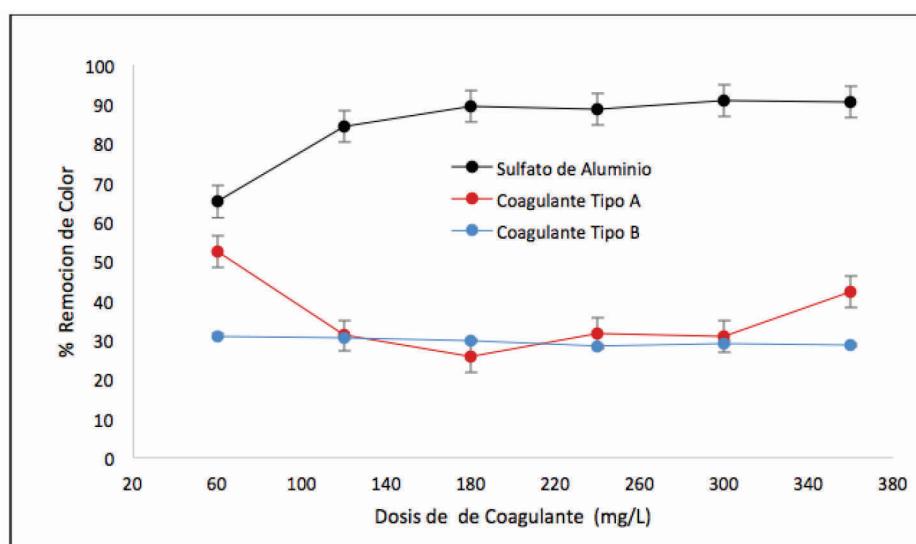


Figura 3. Porcentaje de remoción de color vs dosis de coagulante aplicado.

Fuente de: Autores

En la figura 3 se puede observar el comportamiento del porcentaje de remoción de color a medida que se realizan las dosificaciones, resaltando que el mejor comportamiento y el más efectivo en la reducción de color fue el del sulfato de aluminio. Por su parte el coagulante tipo C, no consiguió realizar remoción de color.

En el caso del coagulante tipo (C), presenta un mínimo porcentaje de remoción de turbiedad

el cual osciló entre el 40% y 45%, en una variación de datos entre el 0,40% y 0,55% lo que indica su baja efectividad para el tratamiento de aguas.

Los taninos son compuestos orgánicos que favorecen el proceso de coagulación, de hecho indican que pueden ser utilizados como coagulantes primarios (Özcar & Şengil, 2002). Sin embargo, en esta ocasión su remoción en

la clarificación de aguas fue baja resaltando que la semilla del aguacate es un fruto con una alta concentración de taninos (Braham & Bressani, 2017). El uso de los taninos se encuentra muy arraigado en la industria textil al formar colorantes orgánicos a partir de estos (Devian & Saldarriaga, 2015) y del aguacate (*Persea gratissima* Goerin). Nuevamente se hace evidente que los coagulantes ensayados no permiten alcanzar la efectividad que se logra con el sulfato de aluminio, pero sí pueden ser una alternativa para ayudar en el proceso de coagulación y disminuir la dosis del polielectrolito comercial.

CONCLUSIONES

En general el uso de coagulantes naturales permite una remoción tanto de turbiedad como de color en el agua residual a tratar, el leve aumento de pH permite suponer que no se requiere la adición de cal o hidróxido de sodio para lograr la coagulación de las partículas en el agua para su posterior aglomeración y sedimentación.

El coagulante obtenido a partir de mucilago de café en base tipo A, representa una alternativa para la clarificación del agua residual analizada dando lugar a una reducción significativa de turbiedad y color, sin embargo, los valores son inferiores a los que se logran con sulfato de aluminio.

El aumento de color por efecto de ciertas sustancias en los extractos como en el caso del coagulante tipo B y tipo C puede ser eliminado por adsorción sobre carbón activado o por oxidación con peróxido de hidrógeno logrado reducir el color, materia orgánica y desinfección de agua residual después de la clarificación.

LITERATURA CITADA

- Abebe, L. S., Chen, X., & Sobsey, M. D. (2016). *Chitosan Coagulation to Improve Microbial and Turbidity Removal by Ceramic Water Filtration for Household Drinking Water Treatment*.
- International Journal of Environmental Research and Public Health, 269. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030269>
- Anastasakis, K., Kalderis, D., & Diamadopoulos, E. (2009). *Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater*. Desalination, 249(2), 786–791. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.09.013>
- Arenas Esteves, M. F. (2017). *Formato guías de laboratorio*. Guías de Laboratorio, 1–13.
- Aritizábal Arias, C., & Duque Orrego, H. (2005). *Caracterización De Beneficio De Café En Cinco Departamentos Cafeteros De Colombia*. 56(4), 299–318.
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Dávila-Acedo, M. A. (2011). *Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract*. Journal of Hazardous Materials, 186(2–3), 1704–1712. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.075>
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Gómez-Muñoz, M. C. (2010). *New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies*. Chemical Engineering Journal, 162(3), 1019–1025. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.011>
- Bina, B., Mehdinejad, M. H., Nikaeen, M., & Attar, H. M. (2009). *Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters*. Iranian Journal Of Environmental Health Science And Engineering, 6(4), 247–252.
- Braham, J. E., & Bressani, R. (2017). *Pulpa de café composición tecnología y utilización*. INCAP - Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (Vol. 91). Bogotá: Centro internacional de investigaciones para el desarrollo.
- Chaibakhsh, N., Ahmadi, N., & Zanjanchi, M. A. (2014). *Use of Plantago major L. as a natural coagulant for optimized decolorization of dye-containing wastewater*. Industrial Crops and Products, 61, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.056>
- Choy, S. Y., Prasad, K. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2016). *Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal*. Ecological Engineering, 94, 352–364. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.082>
- De Paula, H. M., De Oliveira Ilha, M. S., & Andrade, L. S. (2014). *Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining*

- aluminum sulfate and *Moringa oleifera* powder. *Journal of Cleaner Production*, 76, 125-130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.031>
- Devian, J., & Saldarriaga, D. (2015). *Pulverización de colorantes naturales por secado por atomización*. Revista Universidad EAFIT, 41(137), 36-43.
- Fatombi, J. K., Lartiges, B., Aminou, T., Barres, O., & Caillet, C. (2013). *A natural coagulant protein from copra (Cocos nucifera): Isolation, characterization, and potential for water purification*. Separation and Purification Technology, 116, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.05.015>
- Fuentes S., L. D. C., Mendoza S, I. A., López M, A. M., Castro V, M. F., & Urdaneta M., C. J. (2011). *Effectiveness of a coagulant extracted from *Stenocerens griseus* (Haw.) Buxb in water purification*. Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia, 34(1), 48-56.
- Gaviaria Mejía, M. A., & Mejía Aguas, M. C. (2012). *Evaluación de la extracción de colorantes de la semilla de aguacate como negocio para la región antioqueña*. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Retrieved from http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2012071302010531749001
- Giraldo, M. D. L. A., & Castrillón Bedoya, D. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa Santa- na*. Universidad tecnológica de pereira.
- Goycoolea, F. M., & Cárdenas, A. (2003). *Pectins from Opuntia A Short Review*. Journal of the Professional Association for Cactus Development, (February 2003), 17-29.
- Graham, N., Gang, F., Fowler, G., & Watts, M. (2008). *Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 327(1-3), 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.05.045>
- ISPC, I. de S. P. de C. (1990). *Procedimiento para determinar materia grasa : Método Soxhlet*. Sección Química de Alimentos, no2, 1-2. Retrieved from http://www.ispch.cl/lab_amb/met_analitico/doc/ambiente pdf/GrasSoxhlet.pdf
- Jeon, J. R., Kim, E. J., Kim, Y. M., Murugesan, K., Kim, J. H., & Chang, Y. S. (2009). *Use of grape seed and its natural polyphenol extracts as a natural organic coagulant for removal of cationic dyes*. Chemosphere, 77(8), 1090-1098. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.036>
- Kakoi, B., Kaluli, J. W., Ndiba, P., & Thiong'o, G. (2016). *Banana pith as a natural coagulant for polluted river water*. Ecological Engineering, 95, 699-705. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.001>
- Kebaili, M., Djellali, S., Radjai, M., Drouiche, N., & Lounici, H. (2018). *Valorization of orange industry residues to form a natural coagulant and adsorbent*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.03.027>
- Kukić, D. V., Šćiban, M. B., Prodanović, J. M., Tepić, A. N., & Vasić, M. A. (2015). *Extracts of fava bean (*Vicia faba L.*) seeds as natural coagulants*. Ecological Engineering, 84, 229-232. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.008>
- Lizbeth, N., & Meneses, G. (2015). *Evaluación de la semilla de *Moringa Oleifera* como coadyuvante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de Villapinzón, Cundinamarca*.
- Matsuhiro, B., Lillo, L. E., Sáenz, C., Urzúa, C. C., & Zárate, O. (2006). *Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica**. Carbohydrate Polymers, 63(2), 263-267. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.08.062>
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torres-Tiana-Sánchez, B., & Katthain, R. (2000). *Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*)*. Food Hydrocolloids, 14(5), 417-424. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00015-1)
- Özacar, M., & Şengil, I. A. (2002). *The use of tannins from Turkish acorns (valonia) in water treatment as a coagulant and coagulant aid*. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26(3), 255-263.
- Parra, Y., Cedeño, M., María, G., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. (2011). *Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *opuntia wentiana* (Britton&Rose) / (Cactaceae)*. Universidad Del Zulia; Ciencias Exactas, Naturales y Agropecuarias, Redieluz, 1, 27-33.
- Ramírez Arcila, H., Jhoan, & Peralta, J. (2015). *Agentes Naturales Como Alternativa Para El Tratamiento Del Agua Agents As Natural Alternative for Water Treatment*. Facultad de Ciencias Básicas UMNG, 136-153. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>

- Sáenz, C., Berger, H., Corrales Garcia, J., Galletti, L., Garcia de Cortázar, V., Higuera, I., Varnero, M. T. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. In C. Rosell (Ed.), Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. 162nd ed., p. 105.
- Sandoval Arreola, M. M., & Canepa Laines, J. R. (2014). *Moringa oleifera una alternativa para sustituir metálicos en el tratamiento de aguas superficiales*, 17(2), 101.
- Šćiban, M. B., Klašnja, M. T., & Stojimirović, J. L. (2005). *Investigation of Coagulation Activity of Natural Coagulants From Seeds of Different Leguminose Species*. Apteff, 36, 81–87. <https://doi.org/10.2298/APT0536081S>
- Šćiban, M., Klašnja, M., Antov, M., & Škrbić, B. (2009). *Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn*. Bioresource Technology, 100(24), 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>
- Segovia Gomez, F. (2015). *Aprovechamiento de residuos agro- industriales : Preparación de extractos , caracterización y uso en alimentos*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.12.010>
- Shamsnejati, S., Chaibakhsh, N., Pendashteh, A. R., & Hayeripour, S. (2015). *Mucilaginous seed of Ocimum basilicum as a natural coagulant for textile wastewater treatment*. Industrial Crops and Products, 69, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.045>
- Sociedad Latinoamericana de Nutrición, H., Sangeronis, E., & Unai, E. (2008). *Archivos latinoamericanos de nutrición*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 58(1), 64–70. Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222008000100009&script=sci_arttext&tlang=en
- Yin, C. Y. (2010). *Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment*. Process Biochemistry, 45(9), 1437–1444. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

4-NONILFENOL: EFECTOS, CUANTIFICACIÓN Y MÉTODOS DE REMOCIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES Y POTABLES

4-NONYLPHENOL: EFFECTS, QUANTIFICATION AND METHODS OF REMOVAL IN SUPERFICIAL AND DRINKING WATER

¹Gloria Maria Doria Herrera

²Gustavo Peñuela Meza

³Gloria Cristina Valencia

¹ Universidad de Antioquia, ² Universidad de Antioquia, ³ Universidad Nacional de Colombia- sede Medellin

¹gloria.doria@udea.edu.co, ²gustavo.penuela@udea.edu.co

³gcvalenc@unal.edu.co

RESUMEN

Los contaminantes emergentes constituyen un grupo de sustancias cuya regulación está siendo abordada, debido al incremento de su presencia en cuerpos de agua asociado principalmente a las acciones antropogénicas. Estos compuestos, que son caracterizados como disruptores endocrinos a bajas concentraciones, causan daños irreversibles en los ecosistemas y están siendo objeto de estudio especialmente en las últimas dos décadas. Para mitigar su impacto y presencia en los ecosistemas, se han estudiado alternativas para lograr su remoción, basadas en procesos de adsorción, electrocoagulación, filtración por membrana y procesos de oxidación avanzada (AOP). Específicamente el contaminante emergente 4-nonilfenol (4-NF), un compuesto perteneciente a la familia de los alquilfenoles, es utilizado como principio activo de tensoactivos no iónicos para uso en detergentes, dispersantes, emulsionantes y solubilizantes, estando

presente entre otros, en formulaciones producto de aseo, de plaguicidas y de pinturas, siendo su principal vía de acceso al ambiente a través de aguas residuales. Esta revisión bibliográfica reúne información acerca de algunas propiedades fisicoquímicas del 4-NF, toxicidad, métodos de cuantificación y remoción.

Palabras clave: toxicidad, contaminante, 4-nonil fenol, análisis, cuantificación.

ABSTRACT

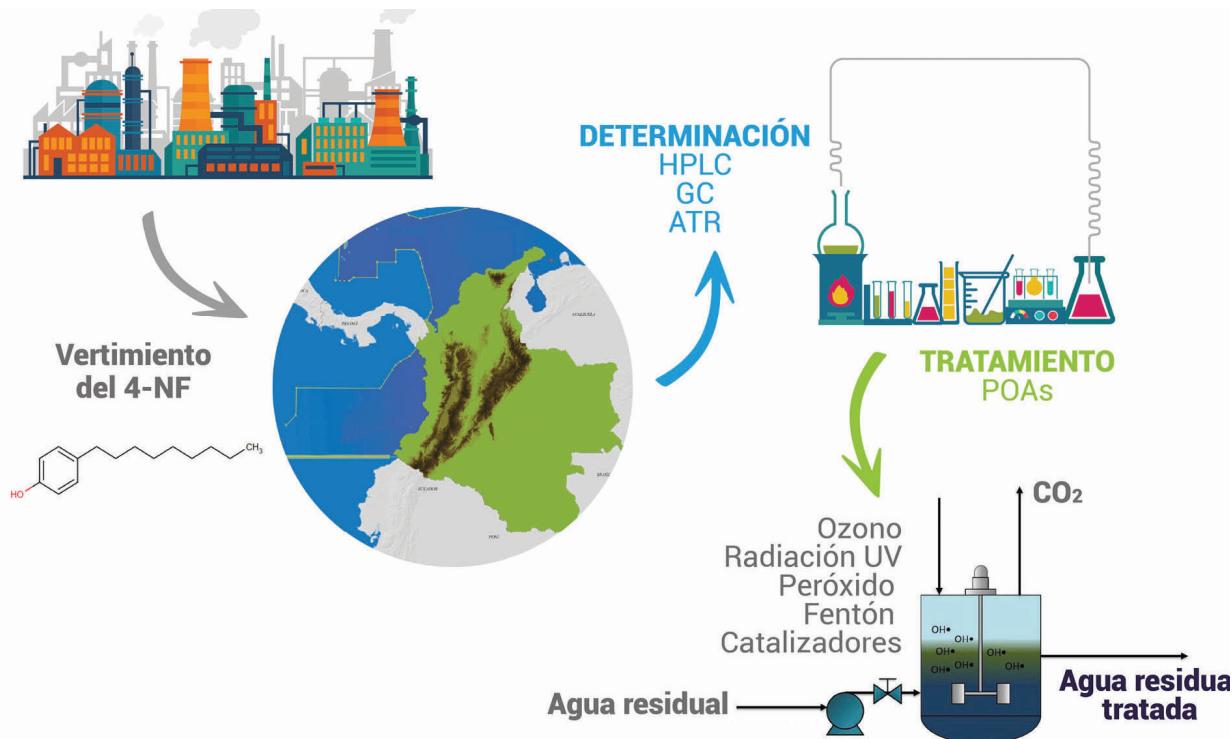
The emergent contaminants are a group of non-regulated substances with low concentrations that cause irreversible damage to ecosystems and have been mostly identified as endocrine disruptors, so have gained great interest in the last 20 years. To mitigate its impact and presence in ecosystems, alternatives have been proposed to achieve their removal, such as adsorption, electrocoagulation,

membrane filtration and advanced oxidation processes (AOP). 4-nonylphenol (4-NF) is used as a precursor in the manufacture of nonionic surfactants for use in detergents, dispersing, emulsifying, pesticide formulations, paints and personal care products, so its main access road to the environment it is by sewage, however, has become increasingly important environmental level, by various effects generated when entering aquatic ecosystems

and the variety of isomers which can be found in the environment. In this review information about some physicochemical properties of 4-NF, toxicity, quantification method considering analytical and instrumental conditions, and methods of removal is collected.

Keywords: toxicity, pollutant, 4-nonylphenol, emerging, quantification

Resumen Gráfico



INTRODUCCIÓN

Los contaminantes emergentes son compuestos que previamente no han sido reconocidos como tal y que, a pesar de encontrarse en bajas concentraciones en ambientes acuáticos y terrestres, tienen el potencial de causar efectos adversos sobre la salud y el medio ambiente (EPA, 2015), en especial cuando forman compuestos secundarios con capacidad recalitrante y habilidad de biomagnificarse. Es preocupante y se constituye como un problema

de salud pública que estos contaminantes no sean removidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales ni en aguas de consumo humano, pues debido a la escasa regulación al respecto, ni siquiera son monitoreados y mucho menos se aplican metodologías que sean eficientes para su tratamiento. Esto viene motivando diversas investigaciones, especialmente apoyadas con el desarrollo de métodos analíticos más sensibles y avances a nivel

instrumental, con los que se logra la detección de estos materiales en muestras ambientales incluso a niveles de $\mu\text{g/L}$ (Noguera-Oviedo & Aga 2016). No obstante, aún se emplean metodologías que permiten concentrar la muestra para que pueda ser cuantificada.

Diversas son las fuentes de estos contaminantes e incluyen su presencia en formulaciones de productos químicos farmacéuticos y de higiene personal (PPCPs, por su sigla en inglés: pharmaceuticals and personal care products), detergentes para el hogar y la industria, pesticidas, plastificantes, metabolitos de transformación, síntesis de nuevos materiales, drogas de abuso, aditivos en gasolina y retardantes de fuego, y de forma general, diversos compuestos de origen doméstico e industrial (Gil et al. 2012; Lin et al., 2016). En la Figura 1 (ver anexo) se reúnen reportes referentes al análisis de contaminantes emergentes, así como las innovaciones e instrumentación. La información registrada en esta figura de 1950 al 2005 fue compilada por Noguera-Oviedo & Aga (2016), y ha sido complementada con otras investigaciones relevantes hasta el 2017 como objeto de la presente revisión.

El este artículo se presenta una revisión bibliográfica del 4-n-nonilfenol (4-NF) que incluye toxicidad, métodos de cuantificación y remoción. Especialmente se hace referencia a investigaciones relacionadas con la aplicación de tecnologías que permiten mitigar la presencia de microcontaminantes en aguas, destacando

la aplicación de procesos de oxidación avanzada por el interés de lograr la mineralización de estos compuestos.

ANTECEDENTES

Propiedades fisicoquímicas

El 4-NF de la familia de los alquilfenoles es utilizado principalmente como precursor en la fabricación de tensoactivos no iónicos para uso en detergentes, desengrasantes, dispersantes, emulsionantes, estabilizantes, formulaciones de plaguicidas, pinturas y productos para el cuidado personal (Gil et al. 2012; Martínez-Zapata et al., 2013; Lin et al., 2016; Diehl et al., 2005). Su capacidad como tensoactivo le permite modificar la tensión superficial de mezclas y en consecuencia la permeabilidad de materiales y tejidos sobre los que se aplica. En su estructura (Figura 2), se reconoce al anillo fenólico como la parte polar, por lo que capacidad de solubilizarse en agua se verá afectada en función del tamaño de la cadena carbonada que corresponde al segmento apolar cuyo efecto inductivo disminuye al aumentar la longitud de la cadena. Al aumentar la longitud de la cadena alquílica en la molécula (menos ramificaciones), disminuye su solubilidad en agua e incrementa su solubilidad en presencia de otros solventes de carácter orgánico y con ello su peligrosidad. Por el contrario, si se hace más corta la cadena lateral, mejoraría la solubilidad en medios acuosos, aumentando su persistencia (Ying et al., 2002).

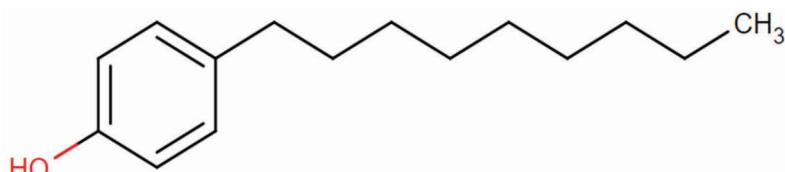


Figura 2. Estructura química del 4-n-Nonilfenol. Fuente los autores

El 4-NF representa alrededor del 90% de los nonilfenoles, del cual existen teóricamente 211 isómeros constitucionales y si se consideran los estereoisómeros, este número incrementa a 550. Estos isómeros presentan

diferente estrogenicidad y biodegradabilidad (Lu & Gan 2014). En la Figura 3 se muestran algunos compuestos de la familia de los 4-NF encontrados en una muestra comercial.

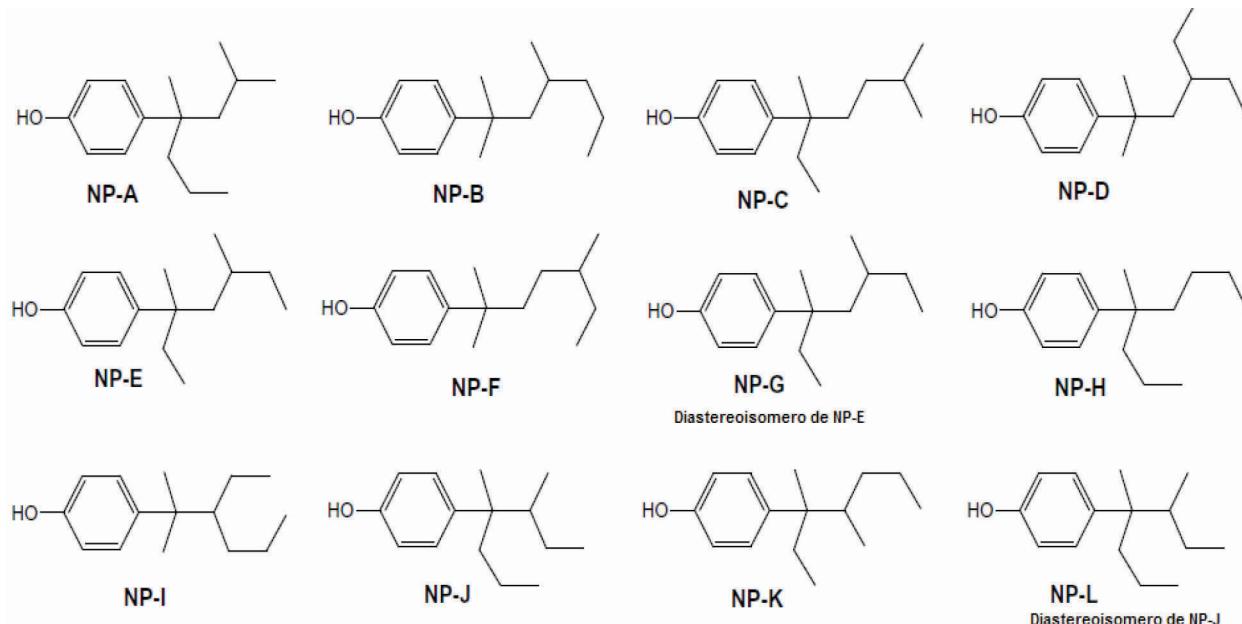


Figura 3. Estructuras químicas de isómeros del 4-NF presentes en una muestra comercial.

Tomado de Uchiyama et. al. (2008).

El 4-NF se produce industrialmente por la alquilación de fenol con nonano por catálisis en condiciones de ácidas (Soares et al., 2008). diversos estudios han reportado más de 100 isómeros de la familia del 4-NF y el producto comercial en condiciones ambientales es un líquido viscoso translucido entre transparente y ligeramente amarillento e inmiscible con agua (Ieda & Horii, 2005; Pontolillo et al., 2009).

Fuente de emisión

En la Figura 4, se ilustra cómo el 4-NF es incorporado al recurso hídrico y superficies

terrestres provenientes de actividades domésticas e industriales. Debido a sus propiedades fisicoquímicas entre las que incluye ser altamente hidrofóbico, tienden a adsorberse en sólidos suspendidos y, en consecuencia, es factible encontrarlo en sedimentos. Sin embargo, se ha detectado su presencia en aguas superficiales en concentraciones entre 3×10^{-4} y 37,3 mg/m³ (Careghini et al., 2014), posiblemente debido al aporte de las descargas de aguas residuales de zonas urbanas. Ya en los sistemas hídricos, el 4-NF es capaz de biomagnificarse y llegar al ser humano.

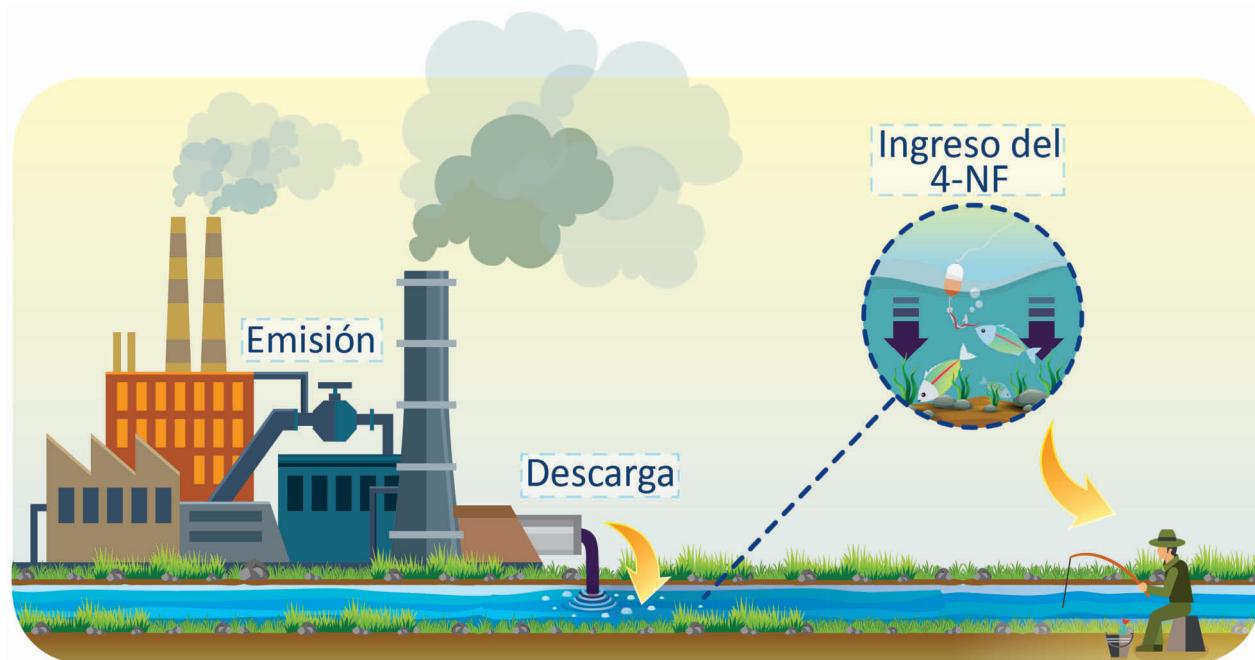


Figura 4. Descarga del 4-nonylfenol en los cuerpos de agua e ingreso al ser humano. Fuente los autores

En la Tabla 1 se muestran algunos estudios que incluyen la detección del 4-NF en aguas (Bolong et al., 2009; Lin, Yu, & Chen 2016). Gracias a los reportes originados de estas y otras investigaciones, se espera contribuir en la sensibilización de la comunidad, referente a

la responsabilidad inherente al uso de productos que contengan este y otros contaminantes emergentes, y su adecuada disposición final, así como motivar a quienes intervienen en los sistemas de regulación, para que se promueva el control de las descargas de este compuesto.

Tabla 1. Hallazgos del 4-NF y otros contaminantes emergentes en aguas naturales, superficiales y potables.

Tipo De Aguas	Sitio	Compuesto Detectado	Técnica implementada	Concentración	Referencia
Aguas residuales industriales	Bélgica e Italia	Nonilfenol	(RP-LC), (ESI), (MS) y (API).	Max. 2.5 mg/L	Loos et al., (2007)
Consumo	Alemania	Nonilfenol Estrógeno Estradiol	GC-MS usando método HPLC y se realiza extracción CL	8.0(ng/L) 0.4(ng/L) 0.3(ng/L)	Kuch & Ballschmiter, (2001)
Residuales Municipal	UK	Nonilfenol Estrógenos Estradiol	GC-MS/ uso como método de extracción y purificación HPLC	1.2-1.7 ng/L 15-220 ng/L 7-88 ng/L	Rodgers-gray et al. (2001)
Aguas superficiales	Alemania	Nonilfenol Estrógenos Estradiol Etinilestradiol	GC-MS	199 ng/L 3.4 ng/L 0.9 ng/L 1.4 ng/L	Kuch & Ballschmiter, (2001)

Tipo De Aguas	Sitio	Compuesto Detectado	Técnica implementada	Concentración	Referencia
Aguas superficiales	Japón	Estrógenos Estradiol	GC-MS	80-1240 ng/L 2.7- 48 ng/L	Kuch & Ballschmiter, (2001)
Aguas superficiales	Alemania	Nonilfenol Estrógenos Estradiol		34 ng/L 0.7 ng/L 0.6 ng/L	
	Japón	Nonilfenol Estradiol		250ng/L 2.1ng/L	Bolong et al., (2009)
Agua de mar	Norte América	Nonilfenol Etoxilatos del Nonilfenol	GC	0.42 mg/L	Diehl et al., (2012)
Aguas superficiales (16 Ríos)	Taiwán	Nonilfenol Bisfenol A	Cromatografía líquida	0.02-3.94 mg/L 0.01- 44.65 mg/L	C. C. Lee et al., (2013)
Agua de mar	Japón	Nonilfenol	HPLC/ Detector de fluorescencia	5-1000 ng/mL	Cherniaev et al. (2016)
Aguas superficiales	Estados Unidos	Nonilfenol Otros 67 contaminantes emergentes farmacéuticos	HPLC/MS	10^3 - 10^4 ng/L	Fairbairn et al. (2016)
Aguas de estuarios	Estados Unidos	150 compuestos cuidado personal, farmacéuticos (Nonilfenol)	LC	506-1690 ng/L	Medor et al., (2016)

Fuente: los autores

Toxicidad del 4-nolnilfenol

El 4-NF se origina a partir de la degradación de etoxilatos de nonilfenol, compuestos ampliamente utilizados como tensoactivos industriales (Kuzikova, et al., 2016; Rabouan et al., 2012; Deborde, et al., 2008; Cheng et al., 2015; Verderame et al., 2011). Incluso el 4-NF es más tóxico que los mismos compuestos etoxilatos (Ying, 2002) y presenta riesgos por ser un disruptor endocrino, evidenciado este efecto en fauna acuática (Sumpter & Jobling 1995). Se han reportado efectos estrogénicos por presencia de estos compuestos del 4-NF en cultivos de plantas como *Atriplex hortensis* L., *Beta vulgaris* var. *altissima* L. cv. Bush,

Mono Leaves, *Beta vulgaris* var. *esculenta* L. cv. *Monogold*, *Chenopodium quinoa* L., *Chenopodium rubrum* L., *Daucus carota* L. cv. *Nantaise*, *Glycine max* L. Merr. cv. *Mandarin*, *Hordeum vulgare* L., *Lycopersicon esculentum* Mill., *Triticum aestivum* L. cv. *Heines Koga II*. y en vegetales: Esto puede presentarse por la adsorción en suelos, tras la formación de complejos (Bokern & Harms, 1997; Zgoła et al., 2009; (Sayed et al., 2016).

Por otro lado, se pudo verificar la presencia de 4-NF en 60 productos alimenticios de supermercados alemanes, en concentraciones desde 0,1 a 19,4 µg/kg (peso fresco) y esto

correlacionado con la tasa de consumo promedio reportado por los entes gubernamentales alemanes, asocian a posibles efectos secundarios adversos para la salud humana de alimentos contaminados por 4-NF (Guenther et al., 2002). Un estudio en aguas dulces, marinas y crustáceos, arrojan valores para la dosis letal media (LC_{50}) menores a 50 ppb (Vitali et al., 2004) por lo que es posible concluir que tras la exposición a concentraciones de orden 0,1 ppb del 4-NF se incurre en alta peligrosidad para los seres humanos.

Por sus riesgos, ya en la Unión Europea (UE) y Canadá, han iniciado el tema de control de su uso en los procesos de manufactura, apoyados en resultados demostrados en investigaciones (Sumpter & Jobling 1995). Para 2008, la Unión Europea (UE) presentó las Normas de Calidad Ambiental (NCA), fijando en 2,0 μ g/l la concentración máxima permitida en aguas superficiales continentales. En este se plantea el compromiso para el monitoreo, registro y los planes de regulación, por parte de los estados miembros (Greenpeace, 2010). Como fecha de referencia, los planes de seguimiento deberán ser presentados en septiembre del 2018, por lo que se percibe un proceso muy laxo en la emisión de normas y controles de este y otros contaminantes emergentes.

Las implicaciones del 4-NF, así como otros disruptores endocrinos, se enmarcan en el efecto que presentan sobre el sistema hormonal mediante la imitación de hormonas naturales, bloqueando su producción y/o inhibiendo su función, y en consecuencia afectando los procesos fisiológicos controlados a través de las hormonas. Particularmente, el 4-NF es un imitador de la hormona natural 17 β -estradiol, compitiendo por el sitio de unión del receptor de estrógenos (Schirmer et al., 2006; Soares et al., 2008). Resultados obtenidos en estudios de su presencia en aguas residuales,

superficiales y en ríos de países tales como Japón, Alemania, Italia y países bajos, en los que se han encontrado concentraciones hasta de 27 ng/L (Chen et al., 2014). Aunque se han implementado metodologías de remediación de tipo biológico, aun no es posible determinar el comportamiento ambiental y el destino de estos esteroides hormonales en diferentes ecosistemas (Ying et al., 2002).

La presencia de 4-NF ha sido evidenciada en ecosistemas acuáticos, reporto investigaciones en el lago Taihu en China con concentraciones en aguas de 116 μ g/L, mientras que el contenido de NP en la carne de camarón, hígado de pescado, pescado la grasa, la carne de pescado y la carne de mariscos fueron 108, 375, 301 respectivamente, superando las cantidades determinadas en aguas, en el caso de las algas, tal es el caso del alga *Cyclotella caspia*, considerada un biomarcador de contaminación, se encontró que la EC50 fue de 0.18 ppm, dentro de los aspectos que se analizan en la inhibición son: ampliación del volumen, inclusión citoplásmica, agregación, clorofila empañada y ruptura celular (Liu, Dai, & Wei, 2013).

Además, de la capacidad de bioacumulación del NF genera en los peces puede afecciones en la síntesis de la proteína asociada a la vitelogenina (VTG), generando un descontrol multihormonal que causa la feminización de peces machos, incluso a concentraciones de 1 μ g/L (Sumpter & Jobling, 1995). También se han encontrado lesiones histopatológicas en truchas marrones, con daños en branquias y tejido del intestino cuando son sometidas a concentraciones de 1 a 100 ppb (Shirdel & Kalbassi, 2016). En mamíferos tales como ratones macho expuestos a concentraciones de 60 mg/kg se evidenció efectos adversos asociados con deficiencias hormonales, trastornos de metabolismo de fructosa y daño oxidativo testicular (Duan et al., 2016).

La interacción del 4-NF en organismos vivos conduce de forma general a cambios en el sistema endocrino, generando problemas para la preservación de las especies. Específicamente para el hombre, cuyo ingreso de este compuesto al organismo puede darse por vía cutánea, ingestión o inhalación, tiene un efecto directo en el aborto y mutaciones a concentraciones de 0.41 ± 0.49 ng/mL (Peng et al., 2016; Wang et al., 2015). Lo anterior, permite determinar que el 4-NF genera afecciones tanto a nivel biológico como ambiental, concluyendo que la interacción del 4-NF con los ecosistemas es altamente nociva, en especial dada su capacidad de biomagnificarse.

Técnicas de cuantificación

En la identificación y cuantificación del 4-NF y sus isómeros, se han utilizado cotidianamente técnicas como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (She et al., 2012) y cromatografía de gases (GC), y en algunos casos el método de ELISA (Lu & Gan, 2014; Vincent & Sneddon, 2009; Céspedes et al., 2006). A pesar de que en GC se presenta buena sensibilidad en términos de cuantificación, hay algunas limitaciones en su aplicación asociadas con la volatilidad de los compuestos de interés, debido a que solo podrían separarse compuestos que puedan evaporarse a la temperatura máxima de trabajo en el horno. Sin embargo, aun cuando pueden utilizarse procesos de derivatización para reducir la temperatura de ebullición de los analitos, con HPLC se evitan estas limitaciones, siendo una metodología bandera en la determinación de este tipo de contaminantes, ampliando el espectro de posibilidades en el análisis, al poder modificar fase móvil (solventes), fase estacionaria y condiciones de elución.

Existen otros estudios que han demostrado la posibilidad de análisis del 4-NF por Espectroscopia Infrarroja con reflectancia atenuada

(ATR-FTIR) y análisis por RAMAN, sin embargo, las concentraciones de análisis estaban en el rango de 0 a 100 ppm, superando las concentraciones de trabajo para ser considerado un contaminante emergente (Duan et al., 2019). Así mismo, (Su, et al., 2017) estudios han reportado el uso de la técnica voltamétrica para el análisis del 4-NF, reportando curvas de calibración en el rango $0.01 \mu\text{M}$ - $10 \mu\text{M}$, por lo que reafirma que las técnicas más sensibles de análisis con las cromatográficas.

Preparación de muestra para el análisis del 4-Nonilfenol

Basados en las condiciones y características de la matriz donde se encuentre el compuesto a separar, así como la posible presencia de isómeros, puede ser útil la implementación de pretratamientos como se ilustran en la Tabla 2 (ver anexo), logrando mejores condiciones de separación. Estos pretratamientos incluyen extracción en fase sólida (SFE), extracciones líquido-líquido y complejación (Guerreiro et al., 2008). En matrices complejas, incluyendo los materiales biológicos, es imperativa la aplicación de métodos de extracción previa para luego proceder a la separación y cuantificación del contaminante, debido a que, en bajas concentraciones, las matrices complejas pueden enmascarar la presencia del analito, actuando incluso como "atrapadores" del compuesto de interés. La extracción en fase sólida en una de las metodologías más destacadas por ser de fácil manejo, debido a que los cartuchos vienen listos para ser utilizadas, y solo se requiere la solubilización de los componentes de la mezcla.

Condiciones de operación para el análisis del 4-Nonilfenol

Debido a la existencia de un gran número de isómeros del 4-NF y a que las muestras donde está presente este compuesto, sus isómeros, metabolitos y productos de degradación,

en general son muy complejas, se requieren de una combinación estratégica de técnicas analíticas, que incluyen diversos los protocolos de extracción, así como diversas condiciones de operación para el desarrollo de métodos en la cuantificación de este tipo de analitos. La cromatografía es la técnica por excelencia en cuanto a la separación e identificación, existen estudios recientes que compilan métodos de preparación, toxicidad, legislación y determinación usando la cromatografía como la técnica más versátil para la cuantificación del 4-NF (Araujo, Bauerfeldt, & Cid, 2017), sin embargo, estos reportan a grandes rasgos acerca de cada uno de los aspectos anteriormente mencionados, además incluyen los dos tipos de cromatografía como son gases y liquida, en esta investigación nos enfocamos en el HPLC y se da de forma detallada la identificación y cuantificación, así como para el seguimiento de sus procesos de degradación, se usan diversidad de columnas para HPLC, fases móviles, especificaciones instrumentales asociadas al tipo de detector y condiciones del equipo, que integran el trabajo con diferentes matrices donde se pueden encontrar compuestos como el 4-NF y sus derivados, tal como se muestra en la Tabla 3 (ver anexo).

Se resalta el uso de UHPLC con detectores de fluorescencia, con sensibilidad entre 20 a 30 veces mayor al detector de arreglo de diodos (DAD). Lo anterior, aprovechando el hecho de ser compuestos fluoroforos. Para las señales de fragmentación destacadas se evidencia el pico del ion base m/z : 219. Los subproductos formados dependerán del tipo de tratamiento utilizado y si el caso de la aplicación de procesos de oxidación avanzada, también pueden generarse diversidad de productos, dadas las diferentes condiciones de reacción y el tipo de especie oxidante.

Métodos de remoción del 4-Nonilfenol (4-NF)

Se han usado diversos métodos de remoción tal como adsorción, filtración por membrana, osmosis inversa, nanofiltración, oxidación química entre otros (Villegas et al., 2016). Específicamente para el 4-NF se han propuesto diversas metodologías de remoción dentro de los que se destaca la electroadsorción por nanotubos de carbono (Li et al., 2014), sin embargo, los riesgos asociados a la adsorción tales como cambios en el pH, temperatura, concentración inicial se vuelven factores determinantes en la eficiencia de adsorción, por ello se ha potenciado la aplicación de los procesos de oxidación avanzada, los cuales tienen la presencia del radical libre hidroxilo, poderoso agente oxidante, que puede conducir a la mineralización de los contaminantes.

Dentro del grupo de los procesos de oxidación avanzada se destaca Fenton, Fotofenton, Fenton asistido, sonoquímica, electroquímica, fotocatálisis, ozonación, UV/H_2O_2 , sin embargo, en esta revisión nos dedicamos solo a investigaciones reportadas para el tratamiento del 4-NF en aguas. Dentro de los estudios para la degradación para el 4-NF usando los procesos de oxidación avanzada como UV/H_2O_2 , Fenton y Fotofenton, lográndose los mejores resultados a pH básicos con UV/H_2O_2 , sin embargo, el escalamiento no ha sido satisfactorio (Dulov et al., 2013; Peng et al., 2016) reportaron la degradación del 4-NF usando luz solar simulada y el efecto de los nitratos, el ion férrico y el ion radical carbonato en el proceso fotodegradativo, alcanzándose porcentajes de degradación satisfactorias (98%).

Se han reportado investigaciones con agua residuales de las industrias textileras y de curtidores contenido 4-NF, alcanzándose porcentajes de degradación de 42% (Pothitou &

Voutsas, 2008). En otro estudio se reportó que el 4-NF alcanzó porcentajes de degradación de aproximadamente 60% (Nakada et al., 2006).

Xu et al. (2016) realizaron la degradación del 4-NF usando la sonoquímica, el cual no requiere aditivos químicos y genera menos subproductos peligrosos. En este estudio se evidenció, que el radical libre hidroxilo fue la principal vía de oxidación del 4-NF. No se comprobó la mineralización, pero se identificaron varios intermediarios de reacción. (Dzinun et al. 2016) usando la fotocatálisis heterogénea con TiO₂, mediante una membrana de fibra hueca recubierta con doble capa con dióxido de titanio inmovilizada lograron la degradación del 4-NF.

Bechambi et al. (2016) usaron wurtzita dopada con Ag(I) como material fotocatalizador del 4-NF con el propósito de aumentar el área superficial, logrando un porcentaje de degradación del 4-NF del 100% y un 88% de mineralización en 24 horas de irradiación. También se realizó la degradación del 4-NF usando dióxido de titanio dopado con oro (Au) alcanzándose un 100% de degradación del 4-NF (Naya et al., 2013).

Xin et al. (2014) sintetizaron nanotubos de titanio dopados con WO₃, logrando la degradación del 98% de 4-NF con un porcentaje de mineralización del 64%, lo que evidencia que estas metodologías pueden ser susceptibles de ser aplicadas, no obstante, la electrodeposición puede traer consigo lodos activos que pueden tener mayor peligrosidad que los compuestos de partida.

En la tabla 4 se muestra los resultados de la degradación de 4-NF por diferentes investigadores, es importante destacar que hay

metodologías comparativas, métodos más convencionales como la adsorción, bioadsorción y uso de membrana, con excelentes resultados, los procesos de oxidación avanzada siguen siendo un gran foco de interés debido a que representan un valor agregado y es que las especies oxidantes generadas en estas metodologías en general buscan la mineralización de los contaminantes de partida, y aunque con esto no se afirma que todos llegan a este término, forman subproductos de degradación que permiten la aplicación de metodologías en II etapas tales como los métodos biológicos, lo que sigue a continuación es investigar acerca de otros procesos de oxidación tal como el oxígeno molecular singulete, el cual no requiere la incorporación de reactivos tóxicos al tratamiento y aprovechando el oxígeno presente y la luz es capaz de degradar esta tipología de contaminantes, los cuales están siendo explorados como parte de sus procesos investigativos por los grupos de investigación involucrados en esta revisión.

Los métodos biológicos como lo planteado por (Cabana et al., 2007) usando un hongo de pudrición blanca *Coriolopsis polizona*, logró la degradación del 4-NF alrededor del 80%. También se ha realizado la biodegradación en condiciones anaerobias del 4-NF (Chang et al., 2005; Lu et al., 2008) También existen otros sistemas más complejos como sistemas electrostáticos de alto voltaje para inmovilizar las células bacterianas o enzimas en microcápsulas de alginato para la eliminación de NF a partir de lodos de aguas residuales, aplicando un aumento de potencial de 0 a 12 kV generando remociones hasta de un 54.3% (Hsu et al., 2013)

Tabla 4. Métodos de remoción consultados para el 4-nonilfenol

Método de remoción	Aspectos relevantes	Referencia
Adsorción	El factor más influyente es la concentración inicial del 4-NF. Remociones hasta de un 94%.	Kostura, et al. (2015)
Electroquímico vs ozonación	El tratamiento se utiliza para eliminar tres contaminantes: 4-NF, fenol y titron X-100, haciendo un estudio comparativo con dos metodologías: electroquímica y ozonación. Ruptura del anillo aromático, formación de subproductos de degradación asociados a la benzoquinona y aldehídos.	Kim, et al. (2005)
Ozonación	Se requieren medios ácidos para que se dé la reacción, además, hay una predominancia de compuestos intermedios tal como el hidroxi Alquil fenol.	Ning et al. (2007)
Bioadsorción	Se propone la bioadsorción usando biomasa fúngica de <i>Rhizopus arrhizus</i> inmovilizadas en perlas de quitosan. Las remociones fueron del 69-76%, se demuestra que la fijación al quitosan aumenta los ciclos de vida del material.	Lang, et al. (2009)
Sonoquímica	Se usa ultrasonidos de frecuencia corta. Se encuentra que la velocidad de reacción aumenta con concentraciones crecientes del soluto, hasta un valor crítico. Es destacable que el uso de la sonoquímica reduce los efectos scavengers de especies coexistentes en aguas naturales como el carbonato. Se asegura degradación y no se menciona la mineralización.	Ince et al. (2009)
UV/H ₂ O ₂ vs Foto Fenton	la degradación es más eficiente con el Fotofenton (79%), sin embargo, su porcentaje de mineralización fue menor, debido a la formación de Fe(III), dado que se compleja con el NF y con ello consume el radical hidroxilo para fotoreducirse.	Karci et al. (2013)
Adsorción	Se obtiene cenoesferas de cenizas magnéticas de Fe ₃ O ₄ por medio de la coprecipitación, luego se dotó la superficie del material con grupos vinilos, adicionalmente, se realizó una polimerización en suspensión, permitiendo la generación de esferas supermagnéticas que facilitan la adsorción.	Pan et al. (2013)
UV- H ₂ O ₂ - UV/H ₂ O ₂	La eliminación de los seis compuestos fenólicos como disruptores endocrinos (estrona, 17β-estradiol, 17α-etinilestradiol, estriol, bisfenol A y 4-nonilfenoles) proveniente del lodo activado residual. Se investigó el uso de luz ultravioleta (UV), peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂), y los procesos UV/H ₂ O ₂ combinados, este último fue el que mejor resultados evidenció (67% de degradación).	Zhang & Li (2014)
Filtración por membrana	Se propuso un sistema anaerobio provisto de una membrana. La eliminación de una mezcla técnica de isómeros p-nonilfenol se evaluó en un reactor discontinuo de secuenciación sin la adición de una fuente de carbono orgánico en lodo nitrificante enriquecido y la membrana. La concentración de p-nonilfenol se cuantificó en las fases líquida y sólida para diferenciar con precisión entre los mecanismos de biodegradación y adsorción. El mecanismo de eliminación predominante fue la biodegradación p-nonilfenol (62%), seguido por sorción, que resultó en una eliminación total de 96%. Además, los microorganismos de amonio-oxidantes controlan la biodegradación de p-nonilfenol.	Buitrón et al. (2015)

Fuente: los autores

CONCLUSIONES

Los contaminantes emergentes como los alquilfenoles y sus isómeros, han sido detectados tanto en cuerpos de agua como en los sedimentos y todos los estudios resaltan su continuo aumento desde los años 90 como consecuencia de efectos tanto en animales como seres humanos, por lo que es de gran interés a nivel de salud pública por el incremento en el riesgo ambiental debido a su toxicidad especialmente a nivel endocrino. Por lo anterior, existe la búsqueda de metodologías de detección, cuantificación, remoción y degradación desde los cuerpos de aguas y sedimentos. La cromatografía líquida de alta eficacia HPLC es una metodología ampliamente empleada en el análisis de los isómeros de los alquilfenoles, debido a su versatilidad. Dada la gran cantidad de isómeros generados, la cromatografía es la técnica más utilizada para la cuantificación de nonilfenoles y sus isómeros, tal como se explicó en la serie de tiempos propuesta en el artículo.

Adicionalmente, también se destacan en tratamiento y degradación de estos contaminantes, el uso de los procesos de oxidación avanzada, que incluyen especies activas del oxígeno como el radical hidroxilo, que ha demostrado poca selectividad y gran eficacia en términos de degradación de estos compuestos, trayendo consigo la mineralización de varios de estos isómeros, por lo que los procesos de oxidación avanzada por su poca selectividad y capacidad de mineralización siguen siendo una metodología efectiva de tratamiento para este tipo de contaminantes.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia por la financiación a través del proyecto Hermes 35753 (QUIPU 203010019056).

A la Fundación para la promoción de la investigación y la tecnología a través del proyecto 3973 por la financiación de la investigación.

A COLCIENCIAS a través del programa de doctorados nacionales convocatoria 647 del 2015.

LITERATURA CITADA

- Bechambi, O., Najjar, W., & Sayadi, S. (2016). *The nonylphenol degradation under UV irradiation in the presence of Ag-ZnO nanorods: Effect of parameters and degradation pathway*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, (60), p.496–501.
- Bokern, M., & Harms, H. H. (1997). *Toxicity and metabolism of 4-n-nonylphenol in cell suspension cultures of different plant species*. Environmental Science and Technology, 31(7), p.1849–1854.
- Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. R., & Matsuura, T. (2009). *A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal*. Desalination, 238(1-3), p. 229–246.
- Buitrón, G., Torres-Bojorges, A. X., & Cea-Barcia, G. (2015). *Removal of p-nonylphenol isomers using nitrifying sludge in a membrane sequencing batch reactor*. Chemical Engineering Journal, (281), p. 860–868.
- Cabana, H., Jiwan, J. L. H., Rozenberg, R., Elisashvili, V., Penninckx, M., Agathos, S. N., & Jones, J. P. (2007). *Elimination of endocrine disrupting chemicals nonylphenol and bisphenol A and personal care product ingredient triclosan using enzyme preparation from the white rot fungus Coriolopsis polyzona*. Chemosphere, 67(4), p.770–778.
- Careghini, A., Mastorgio, A. F., Saponaro, S., & Sezenna, E. (2014). *Bisphenol A, nonylphenols, benzophenones, and benzotriazoles in soils, groundwater, surface water, sediments, and food: a review*. Environmental Science and Pollution Research, (22), p. 5711–5741.
- Céspedes, R., Skryjová, K., Raková, M., Zeravik, J., Fránek, M., Lacorte, S., & Barceló, D. (2006). *Validation of an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for the determination of 4-nonylphenol and octylphenol in surface water samples by LC-ESI-MS*. Talanta, 70(4), p. 745–751.

- Chang, B. V., Chiang, F., & Yuan, S. Y. (2005). *Anaerobic degradation of nonylphenol in sludge*. Chemosphere, 59(10), p.1415–1420.
- Chen, R., Yin, P., Zhao, L., Yu, Q., Hong, A., & Duan, S. (2014). *Spatial-temporal distribution and potential ecological risk assessment of nonylphenol and octylphenol in riverine outlets of Pearl River Delta, China*. Journal of Environmental Sciences (China), 26(11), p. 2340–2347.
- Cheng, G., Sun, M., Yao, L., Wang, L., Sorial, G. A., Xu, X., & Lou, L. (2015). *Investigation into the feasibility of black carbon for remediation of nonylphenol polluted sediment through desorption kinetics after different order spiking*. Chemosphere, (138), p. 568–575.
- Cherniaev, A. P., Kondakova, A. S., & Zyk, E. N. (2016). *Contents of 4-Nonylphenol in Surface Sea Water of Amur Bay (Japan/East Sea)*. Achievements in the Life Sciences 10 (2016) p.65–71.
- Deborde, M., Rabouan, S., Mazellier, P., Duguet, J. P., & Legube, B. (2008). *Oxidation of bisphenol A by ozone in aqueous solution*. Water Research, 42(16), p.4299–4308.
- Diehl, J., Johnson, S. E., Xia, K., West, A., & Tomanek, L. (2012). *The distribution of 4-nonylphenol in marine organisms of North American Pacific Coast estuaries*. Chemosphere, 87(5), p.490–497.
- Diehl, J., Johnson, S. E., Xia, K., West, A., Tomanek, L., Cortazar, E., Shi, W. (2005). *Optimization of microwave-assisted extraction for the determination of nonylphenols and phthalate esters in sediment samples and comparison with pressurised solvent extraction*. Chemosphere, 223(23), p.5616–5623.
- Duan, P., Hu, C., Butler, H. J., Quan, C., Chen, W., Huang, W., Yang, K. (2016). *Effects of 4-nonylphenol on spermatogenesis and induction of testicular apoptosis through oxidative stress-related pathways*, (62), p.27–38.
- Dulov, A., Dulova, N., & Trapido, M. (2013). *Photochemical degradation of nonylphenol in aqueous solution: The impact of pH and hydroxyl radical promoters*. Journal of Environmental Sciences (China), 25(7), p.1326–1330.
- Dzinun, H., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., Puteh, M. H., Rahman, M. A., & Jaafar, J. (2016). *Photocatalytic degradation of nonylphenol using co-extruded dual-layer hollow fibre membranes incorporated with a different ratio of TiO2/PVDF*. Reactive and Functional Polymers, (99), p.80–87.
- EPA (2015). *Use of High Throughput Assays and Computational Tools in the Endocrine Disruptor Screening Program*. Recuperado de <https://www.epa.gov/endocrine-disruption/use-high-throughput-assays-and-computational-tools-endocrine-disruptor#screening>.
- Fairbairn, D. J., Karpuzcu, M. E., Arnold, W. A., Barber, B. L., Kaufenberg, E. F., Koskinen, W. C., Swackhamer, D. L. (2016). *Sources and transport of contaminants of emerging concern: A two-year study of occurrence and spatiotemporal variation in a mixed land use watershed*. Science of the Total Environment (551–552) p.605–613.
- Gil, J., Soto, M., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. Producción Más Limpia, 7(2), p. 52–73.
- Guenther, K., Heinke, V., Thiele, B., Kleist, E., Prast, H., & Raecker, T. (2002). *Endocrine disrupting nonylphenols are ubiquitous in food*. Environ. Sci. Technol (36), p.1676–1680.
- Guerreiro, A., Soares, A., Piletska, E., Mattiasson, B., & Piletsky, S. (2008). *Preliminary evaluation of new polymer matrix for solid-phase extraction of nonylphenol from water samples*. Analytica Chimica Acta, 612(1), p.99–104.
- Hsu, F. Y., Wang, Z. Y., & Chang, B. V. (2013). *Use of microcapsules with electrostatically immobilized bacterial cells or enzyme extract to remove nonylphenol in wastewater sludge*. Chemosphere, 91(6), p.745–750.
- Ince, N. H., Gültekin, I., & Tezcanli-Güyer, G. (2009). *Sonochemical destruction of nonylphenol: Effects of pH and hydroxyl radical scavengers*. Journal of Hazardous Materials, 172(2-3), p.739–743.
- Karci, A., Arslan-Alaton, I., & Bekbolet, M. (2013). *Advanced oxidation of a commercially important nonionic surfactant: Investigation of degradation products and toxicity*. Journal of Hazardous Materials, (263), p.275–282.
- Kim, J., Korshin, G. V., & Velichenko, A. B. (2005). *Comparative study of electrochemical degradation and ozonation of nonylphenol*. Water Research, 39(12), p.2527–2534.

- Kostura, B., Škuta, R., Plachá, D., Kukutschová, J., & Matýsek, D. (2015). *Mg-Al-CO₃ hydrotalcite removal of persistent organic disruptor — Nonylphenol from aqueous solutions*. Applied Clay Science, (114), p.234–238.
- Kuch, H. M., & Ballschmiter, K. (2001). *Determination of endocrine-disrupting phenolic compounds and estrogens in surface and drinking water by HRGC-(NCI)-MS in the picogram per liter range*. Environmental Science and Technology, 35(15), p.3201–3206.
- Kuzikova, I., Safronova, V., Zaytseva, T., & Medvedeva, N. (2016). *Fate and effects of nonylphenol in the filamentous fungus *Penicillium expansum* isolated from the bottom sediments of the Gulf of Finland*. Journal of Marine Systems, in press.
- Lang, W., Dejma, C., Sirisansaneeyakul, S., & Sakairi, N. (2009). *Biosorption of nonylphenol on dead biomass of *Rhizopus arrhizus* encapsulated in chitosan beads*. Bioresource Technology, 100(23), p.5616–5623.
- Lee, C. C., Jiang, L. Y., Kuo, Y. L., Hsieh, C. Y., Chen, C. S., & Tien, C. J. (2013). *The potential role of water quality parameters on occurrence of nonylphenol and bisphenol A and identification of their discharge sources in the river ecosystems*. Chemosphere, 91(7), p.904–911.
- Lee, C., Jiang, L., Kuo, Y., Chen, C., Hsieh, C., Hung, C., & Tien, C. (2015). *Characteristics of nonylphenol and bisphenol an accumulation by fish and implications for ecological and human health*, (502), p. 417–425.
- Li, X., Chen, S., Li, L., Quan, X., & Zhao, H. (2014). *Electrochemically enhanced adsorption of nonylphenol on carbon nanotubes: Kinetics and isotherms study*. Journal of Colloid and Interface Science, (415), p.159–164.
- Lin, T., Yu, S., & Chen, W. (2016). *Occurrence, removal and risk assessment of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP) around Taihu Lake in China*. Chemosphere, (152), p.1–9.
- Loos, R., Hanke, G., Umlauf, G., & Eisenreich, S. J. (2007). *LC-MS-MS analysis and occurrence of octyl- and nonylphenol, their ethoxylates and their carboxylates in Belgian and Italian textile industry, wastewater treatment plant effluents and surface waters*. Chemosphere, 66(4), p. 690–699.
- Lu, J., Jin, Q., He, Y., Wu, J., & Zhao, J. (2008). *Biodegradation of nonylphenol polyethoxylates under sulfate-reducing conditions*. Science of the Total Environment, 399(1-3), p.121–127.
- Lu, Z., & Gan, J. (2014). *Analysis, toxicity, occurrence and biodegradation of nonylphenol isomers: A review*. Environment International, (73), p.334–345.
- Martinez-Zapata, M., Aristizábal, C., & Peñuela, G. (2013). *Photodegradation of the endocrine-disrupting chemicals 4n-nonylphenol and triclosan by simulated solar UV irradiation in aqueous solutions with Fe(III) and in the absence/presence of humic acids*. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, (251), p.41–49.
- Meador, J. P., Yeh, A., Young, G., & Gallagher, E. P. (2016). *Contaminants of emerging concern in a large temperate estuary*. Environmental Pollution, (213), p.254–267.
- Nakada, N., Tanishima, T., Shinohara, H., Kiri, K., & Takada, H. (2006). *Pharmaceutical chemicals and endocrine disrupters in municipal wastewater in Tokyo and their removal during activated sludge treatment*. Water Research, 40(17), p.3297–3303.
- Naya, S. I., Nikawa, T., Kimura, K., & Tada, H. (2013). *Rapid and complete removal of nonylphenol by gold nanoparticle/rutile titanium (IV) oxide plasmon photocatalyst*. ACS Catalysis, 3(5), p.903–907.
- Ning, B., Graham, N. J. D., & Zhang, Y. (2007). *Degradation of octylphenol and nonylphenol by ozone - Part II: Indirect reaction*. Chemosphere, 68(6), p.1173–1179.
- Noguera-Oviedo, K., & Aga, D. S. (2016). *Lessons Learned from more than Two Decades of Research on Emerging Contaminants in the Environment*. Journal of Hazardous Materials (316) p.242–251.
- Pan, J., Li, L., Hang, H., Ou, H., Zhang, L., Yan, Y., & Shi, W. (2013). *Study on the nonylphenol removal from aqueous solution using magnetic molecularly imprinted polymers based on fly-ash-cenospheres*. Chemical Engineering Journal, (223), p.824–832.
- Peng, F., Ji, W., Zhu, F., Peng, D., Yang, M., Liu, R., ... Yin, L. (2016). *A study on phthalate metabolites, bisphenol A and nonylphenol in the urine of Chinese women with unexplained recurrent spontaneous abortion*. Environmental Research, in press.

- Peng, J., Wang, G., Zhang, D., Zhang, D., & Li, X. (2016). *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry Photodegradation of nonylphenol in aqueous solution by simulated solar UV-irradiation: The comprehensive effect of nitrate, ferric ion and bicarbonate*, (326), p.9-15.
- Pothitou, P., & Voutsas, D. (2008). *Endocrine disrupting compounds in municipal and industrial wastewater treatment plants in Northern Greece*. Chemosphere, 73(11), p.1716-1723.
- Rabouan, S., Dupuis, A., Cariot, A., Albouy-Llaty, M., Migeot, V., Cariot, A.; Legube, B. (2012). *Analytical chemistry and metrological issues related to nonylphenols in environmental health*. TrAC - Trends in Analytical Chemistry, (37), p.112-123.
- Rodgers-gray, T. P., Jobling, S., Morris, S., Kelly, C., Kirby, S., Janbakhsh, A., Tyler, C. R. (2001). *Long-term temporal changes in the estrogenic composition of treated sewage effluent and its biological effects on fish*. Environ. Sci. Technol., 34(8), p.1521-1528.
- Ros, O., Vallejo, A., Blanco-Zubiaguirre, L., Oliva-Res, M., Delgado, A., Etxebarria, N., & Prieto, A. (2015). *Microextraction with polyethersulfone for Bisphenol-A, alkylphenols and hormones determination in water samples by means of gas chromatography-mass spectrometry and liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis*. Talanta, (134), p. 247-255.
- Sayed, A. E. D. H., Mohamed, N. H., Ismail, M. A., Abdel-Mageed, W. M., & Shoreit, A. A. M. (2016). *Antioxidant and antiapoptotic activities of Calotropis procera latex on Catfish (Clarias gariepinus) exposed to toxic 4-nonylphenol*. Ecotoxicology and Environmental Safety, (128), p.189-194.
- She, Y., Wang, J., Zheng, Y., Cao, W., Wang, R., Dong, F., Wu, L. (2012). *Determination of nonylphenol ethoxylate metabolites in vegetables and crops by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry*. Food Chemistry, 132(1), p.502-507.
- Shirdel, I., & Kalbassi, M. R. (2016). *Effects of nonylphenol on key hormonal balances and histopathology of the endangered Caspian brown trout (Salmo trutta caspius)*. Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology, (183-184), p. 28-35.
- Soares, A., Guiyesse, B., Jefferson, B., Cartmell, E., & Lester, J. N. (2008). *Nonylphenol in the environment: A critical review on occurrence, fate, toxicity and treatment in wastewaters*. Environment International, 34(7), p.1033-1049.
- Sumpter, J. P., & Jobling, S. (1995). *Vitellogenesis as a biomarker for estrogenic contamination of the aquatic environment*. Environmental Health Perspectives, 103(SUPPL. 7), p.173-178.
- Uchiyama, T., Makino, M., Saito, H., Katase, T., & Fujimoto, Y. (2008). *Syntheses and estrogenic activity of 4-nonylphenol isomers*. Chemosphere, 73(1 SUPPL.), p.60-65.
- Verderame, M., Prisco, M., Andreuccetti, P., Aniello, F., & Limatola, E. (2011). *Experimentally nonylphenol-polluted diet induces the expression of silent genes VTG and ERα in the liver of male lizard Podarcis sicula*. Environmental Pollution, 159(5), p.1101-1107.
- Villegas, L. G. C., Mashhadi, N., Chen, M., Mukherjee, D., Taylor, K. E., & Biswas, N. (2016). *A Short Review of Techniques for Phenol Removal from Wastewater*. Current Pollution Reports, (2)157-167.
- Vincent, M. D., & Sneddon, J. (2009). *Nonylphenol: An overview and its determination in oysters and wastewaters and preliminary degradation results from laboratory experiments*. Microchemical Journal, 92(1), p. 112-118.
- Wang, P. W., Chen, M. L., Huang, L. W., Yang, W., Wu, K. Y., & Huang, Y. F. (2015). *Prenatal nonylphenol exposure, oxidative and nitritative stress, and birth outcomes: A cohort study in Taiwan*. Environmental Pollution, (207), p.145-151.
- Xin, Y., Gao, M., Wang, Y., & Ma, D. (2014). *Photoelectrocatalytic degradation of 4-nonylphenol in water with WO₃/TiO₂ nanotube array photoelectrodes*. Chemical Engineering Journal, (242), p.162-169.
- Xu, L. J., Chu, W., Lee, P. H., & Wang, J. (2016). *The mechanism study of efficient degradation of hydrophobic nonylphenol in solution by a chemical-free technology of sonophotolysis*. Journal of Hazardous Materials, (308), p.386-393.
- Ying, G. G., Kookana, R. S., & Ru, Y. J. (2002). *Occurrence and fate of hormone steroids in the environment*. Environment International (28) p. 545- 551.
- Ying, G.-G., Williams, B., & Kookana, R. (2002). *Environmental fate of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates: a review*. Environment International, 28(3), p.215-226.

Zgoła-Grześkowiak, A., Grześkowiak, T., Rydlichowski, R., & Łukaszewski, Z. (2009). *Determination of nonylphenol and short-chained nonylphenol ethoxylates in drain water from an agricultural area*. Chemosphere, 75(4), p.513–518.

Zhang, A., & Li, Y. (2014). *Removal of phenolic endocrine disrupting compounds from waste activated sludge using UV, H₂O₂, and UV/H₂O₂ oxidation processes: Effects of reaction conditions and sludge matrix*. Science of the Total Environment.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

EL SANEAMIENTO PREDIAL Y SU VALIDACIÓN DESDE LA ACTUACIÓN DE DIVERSOS ACTORES IMPLICADOS EN LA DINÁMICA TERRITORIAL DE LOS HUMEDALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, COLOMBIA

**PROPERTY SANITATION AND ITS VALIDATION THROUGH
THE ACTIONS OF VARIOUS PLAYERS INVOLVED
IN THE TERRITORIAL DYNAMICS OF THE WETLANDS
OF THE CITY OF BOGOTÁ, COLOMBIA**

¹*Gina Paola González Angarita*

²*Valeria Toro Casas*

³*Elkin Oswaldo Dorado Castillo*

¹ *Dr. Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Universidad Libre, Bogotá Colombia.*

² *Est. Ingeniería Ambiental, Universidad Libre, Bogotá Colombia.*

³ *Est. Ingeniería Ambiental, Universidad Libre, Bogotá Colombia.*

¹ ginap.gonzaleza@unilibre.edu.co

² valeria-toroc@unilibre.edu.co

³ elkino-doradoc@unilibre.edu.co

RESUMEN

Esta investigación estudia el saneamiento predial (recuperación de terrenos) a partir de las percepciones de actores involucrados con los humedales de Bogotá. El trabajo se inicia con un diagnóstico de los conflictos en los usos de los suelos durante el 2004, que involucra las partes interesadas, es decir los terrenos que se encuentran en posesión de propietarios externos a la gestión de los humedales, para determinar el grado de afectación en toda su extensión. El enfoque metodológico utiliza el análisis y gestión de entrevistas semiestructuradas, teniendo en cuenta el análisis narrativo de las partes interesadas, debido a sus

conocimientos sobre la localización de zonas en conflicto y zonas de saneamiento predial. Las limitaciones de la investigación se presentan por la falta de conocimiento de las partes interesadas sobre las gestiones de saneamiento predial adelantadas en la zona de estudio. En síntesis, los resultados se presentan mediante cartografía social y estos revelaron que existe un 30% de zonas en conflicto y tan solo el 16% corresponde a la adquisición de terrenos para la conservación de humedales. Este análisis contribuye a una mejor compresión de la problemática actual sobre los usos de los suelos y sus necesidades de gestión, con la

expectativa de que las autoridades competentes tomen en cuenta esta información.

Palabras clave saneamiento predial, conflicto de usos del suelo, cartografía social y humedales.

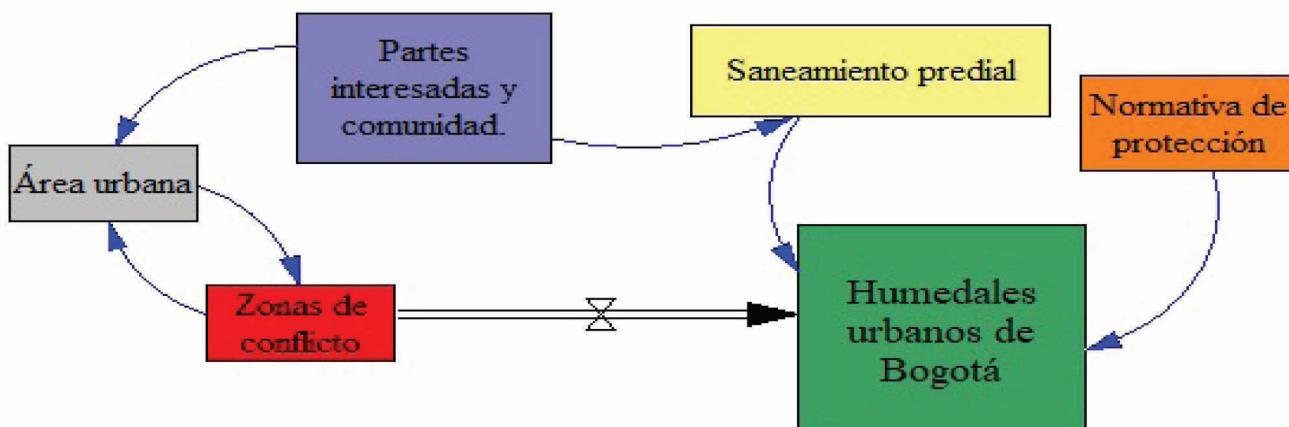
ABSTRACT

This research studies the property sanitation (land recovery) based on the perceptions of players involved in the Bogotá wetlands. The study begins with a diagnosis of conflicts in land use during 2004, which involves the stakeholders, that is, the lands that are in the possession of owners who do not have a management of wetlands, to determine their degree of affection in the extension of these. The methodological approach uses the analysis and management of my structured interviews, which takes into account the narrative analysis

of the interested parties for their knowledge on the location of conflict zones and areas of property sanitation. The limitations of the research are based on the lack of knowledge of the stakeholders on the management of property sanitation carried out in the study area. In summary, the results are presented by means of social mapping and these revealed that there is a 30% of conflict zones and only 16% corresponds to the acquisition of land for wetland conservation. This analysis contributes to a better understanding of the current problem of land uses and their management needs, with the expectation that they can be taken into consideration by the competent authorities.

Keywords: Property sanitation, land use conflict, social cartography and wetlands.

Resumen gráfico



INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años, Colombia ha tenido un crecimiento urbano sin precedentes. Las principales ciudades del país han presentado un crecimiento predial superior al 3% desde 1991 (Shlomo et al, 2018), lo que aumentará la presión sobre los recursos naturales. Esta situación ha causado efectos colaterales en los ecosistemas estratégicos en zonas urbanas,

como es el caso de Bogotá: con un creciente ascenso poblacional, la ciudad se ha venido ocupando en una proporción de 58 habitantes por hectárea en el último decenio (Inostroza, Baur, & Csaplovics, 2013).

Por lo tanto, las problemáticas actuales de Bogotá requieren con urgencia integrar nuevos

lineamientos en sus planes territoriales. De acuerdo con Cerema (2015), las especificaciones urbanísticas deben integrar la protección de los medios húmedos. En ese sentido, en su plan de ordenamiento territorial, la ciudad de Bogotá ha venido adoptando la protección de los ecosistemas estratégicos mediante la política de humedales distritales (Alcadía mayor de Bogotá, 2004). La defensa, protección y recuperación de dichos ecosistemas se encuentra a cargo de organizaciones sociales, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), la Secretaría Distrital de Medio Ambiente (SDA) y el Jardín Botánico de Bogotá (JBB), entre otras.

La normativa de protección de humedales de Bogotá se encuentra sustentada en la resolución 196 del 2006, que establece una guía técnica para la formulación de planes de manejo ambiental. Posteriormente, en el mismo año se estableció el decreto 062 para definir los mecanismos, lineamientos y directrices para la elaboración de Planes de Manejo Ambiental. La aplicación de la normativa incluye la protección de humedales desde el saneamiento predial, este se fundamenta con el programa de gestión de Bogotá-Colombia, que busca la adquisición del terreno para la restauración de los humedales, así sus actividades requieran la compra de zonas de propiedad privada, la eliminación de asentamientos ilegales y la reubicación de las personas instaladas en ellas (Escalona y González, 2016).

A pesar de la normativa de protección de humedales, en la actualidad son diversos los conflictos de uso del suelo que aquejan a los humedales de Bogotá, puesto que muchos de ellos son ocasionados por la lenta gestión en los procesos de saneamiento predial y su escasa inversión económica desde los planes de gobierno.

De acuerdo con la EAAB (2013), las inversiones económicas en saneamiento predial se encuentran alrededor de USD 78 276,54 para cubrir periodos de tiempo desde el 2005 hasta el 2013. De esta manera, se deduce que son pocos los recursos económicos, lo que significa que la adquisición de terrenos es muy baja, razón por la cual el 51% de los terrenos de los humedales son de propiedad privada (EAAB, 2017). Esta investigación busca analizar los procesos de gestión del saneamiento predial teniendo como referencia los conocimientos de los actores involucrados mediante cartografía social, entrevistas semiestructuradas y trabajo de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las gestiones adelantadas en el saneamiento predial están dirigidas a doce humedales localizados en el occidente de la ciudad de Bogotá, que se encuentran emplazados en las localidades de Usaquén, Bosa, Kennedy, Fontibón, Engativá y Suba. Por lo tanto, limitan al oriente con los cerros orientales, la Calera y el pueblo de Choachí; al norte, con el municipio de Chía; y al sur con Soacha.

En la Figura 1 se observa la localización de los humedales. Al norte de la ciudad se localiza el Torca-Guaymaral; continuamente, por el noroccidente, se encuentran los humedales Córdoba, Conejera, Tibabuyes y Jaboque; seguidamente, en la zona central de Bogotá, se localizan los humedales Santa María del Lago, Capellanía, Meandro de Say; y finalmente, al suroriente, se emplazan los humedales Techo, Burro, Vaca, y Tibanica. En general la red de humedales limita al occidente con el río Bogotá.

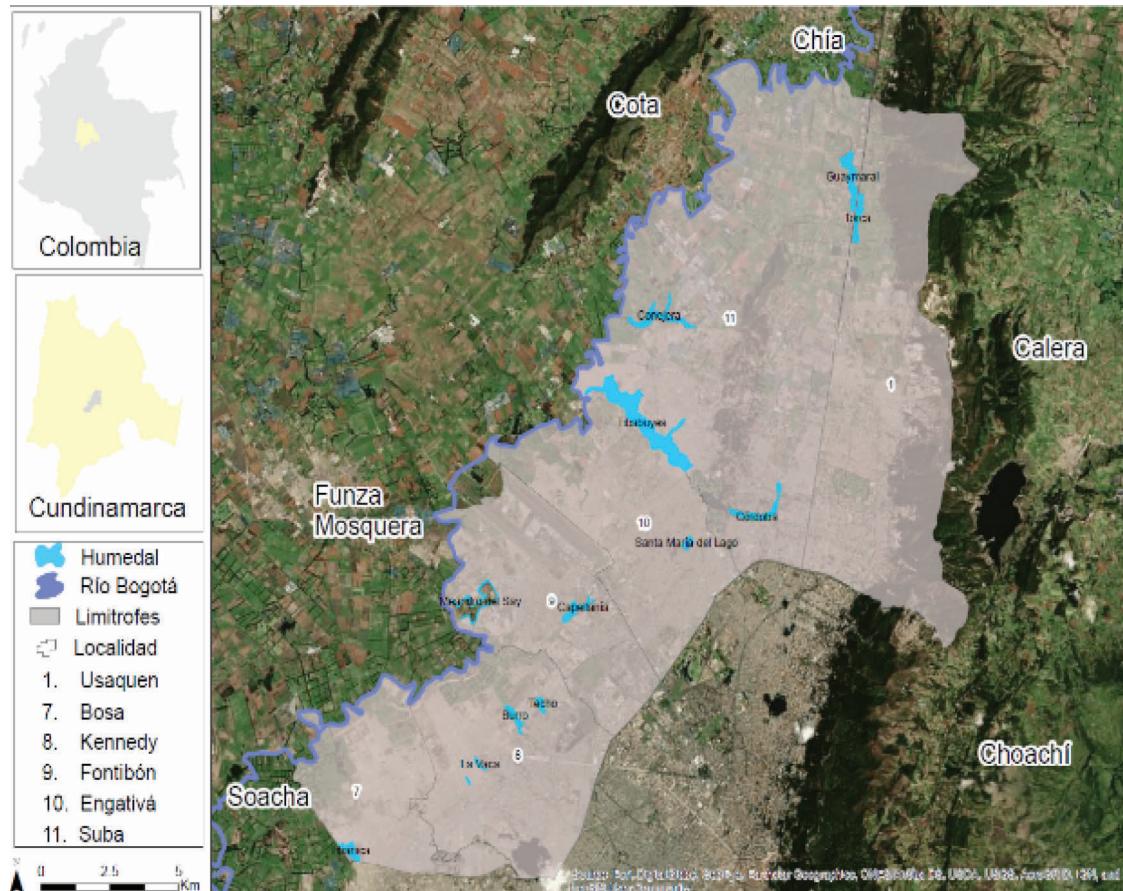


Figura 1. Localización de los humedales. Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Los fundamentos metodológicos de la presente investigación se derivan de técnicas exploratorias y descriptivas, cuyo objetivo es identificar el conflicto de usos del suelo a partir del trabajo de campo para la construcción de la cartografía social. Su elaboración requiere de realizar entrevistas semiestructuradas. En este caso, los factores más relevantes para analizar la gestión del saneamiento predial se consideran para identificar la situación actual de la superficie de los humedales.

Entrevistas semiestructuradas

Se emplearon entrevistas semiestructuradas debido a que esta técnica ayuda analizar las

percepciones de los actores de las partes interesadas. Tal y como lo propone Ricart y Claramont, (2016) quienes afirman que la técnica es de gran utilidad para hacerle frente a la complejidad de los conflictos de gestión de los recursos hídricos, puesto que muchas veces los enfoques técnicos no son suficientes. Por esto, la expresión “partes interesadas” hace referencia a un grupo de personas que comparten un interés común (Grimble y Wellard, 1997). En ese orden de ideas, se seleccionaron los actores con base en sus conocimientos en la gestión del saneamiento predial en los humedales de Bogotá.

De esta manera los actores más representativos son líderes comunitarios y funcionarios públicos de la SDA, el JBB, las alcaldías locales de la ciudad y la EAAB. Debido a que, aunque existan muchos actores, pocos son los que tienen conocimiento acerca del saneamiento predial de humedales, la muestra se redujo ($n = 14$). Según Bryson, (2004) el desarrollo de las entrevistas debe involucrar solo a los actores más importantes, para entender mejor sus problemáticas y encontrar soluciones. Por esto, para la selección de actores se requirió de la participación en diversos comités de las alcaldías locales, visitas de campo a los

humedales y revisión de los participantes en los planes de manejo ambiental. En la Tabla 1 se identifican los principales actores implicados en la interacción de la dinámica de los humedales. Las entrevistas fueron realizadas en el año 2015 y se requirió de 12 meses para su organización, los entrevistados respondieron las preguntas en forma presencial y por correo electrónico. Se hizo énfasis en la construcción de cartografía social para identificar la Adquisición predial o zonas de recuperación en los humedales de Bogotá. La lista de preguntas se dividió en dos partes: *Datos identificativos y adquisición predial

Tabla 1. Listado y función de las partes interesadas en el saneamiento predial de los humedales de Bogotá.

Partes interesadas	Acrónimo	Grupo	Función
Red intercultural canto al agua	RICA	Privado	Movimiento ambiental y cultural que busca la reflexión en la población
Fundación Banco de semillas	FBS	Privado	Gestión y concientización de la protección de los humedales en la localidad de Kennedy
Empresa de acueducto y alcantarillado	EAA	Público	Presta servicios de acueducto y alcantarillado y gestiona el tratamiento de agua residual de Bogotá.
Fundación Funcoajz	FF	Privado	Grupo de ciudadanos que buscan la gestión ambiental de los humedales de la localidad de Fontibón.
Jardín Botánico	JB	Público	Manejo, gestión e investigación del arbolado de Bogotá.
Mesa ambiental de Fontibón	MAF	Mixto	Grupo de ciudadanos y funcionarios públicos de la alcaldía local que buscan la gestión ambiental de los humedales de la localidad de Fontibón.
Comité ambiental de Suba	CAS	Mixto	Grupo de ciudadanos y funcionarios públicos de la alcaldía local que buscan la gestión ambiental de los humedales de la localidad de Suba.
Comité ambiental de Kennedy	CAK	Mixto	
Comité ambiental de Engativá	CAE	Mixto	Grupo de ciudadanos y funcionarios públicos de la alcaldía local que buscan la gestión ambiental de los humedales de la localidad de Engativá.

Fuente: elaboración propia a partir de las entrevistas semiestructuradas.

El desarrollo metodológico para las preguntas abiertas se realiza mediante un análisis de las narrativas, lo que implica analizar la

descripción gruesa de las descripciones aportadas por el entrevistado (Lejano et al, 2019). En ese sentido se hace una caracterización

general de las contribuciones de las partes interesadas con el fin de identificar la parte gruesa de las narrativas. Por ejemplo, en la siguiente narrativa, la entrevistada habla de dos temas muy importantes, en los que hace alusión a los predios por reasentamiento:

"Considera que es necesario terminar de adquirir predios bajo la firma de reasentamientos [...]"

Después, introduce las temáticas de los empleos que se generan por efectos en la gestión en los humedales:

"[...] en el número de empleados de mantenimiento es la misma persona la que hace disposición final de residuos sólidos, la entrevistada hace la pregunta si ¿los

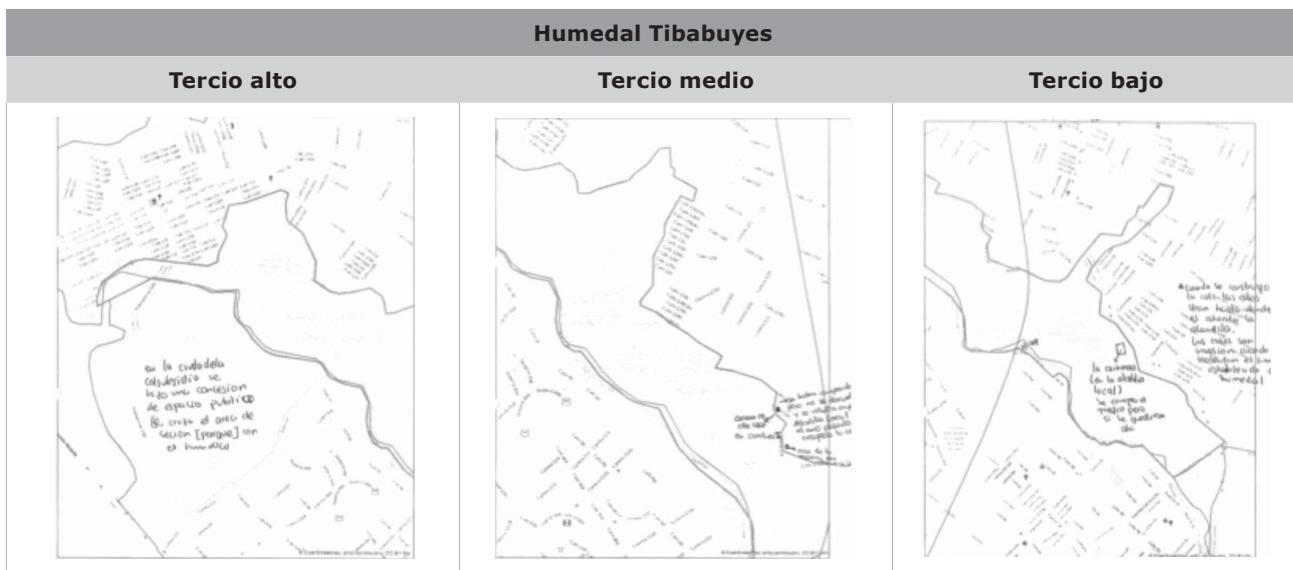
canales cuentan cómo saneamiento? dice que no es necesario un coordinador pedagógico y el biólogo debe estar permanente en el humedal; Manejar pasantes: Biología, Guías ambientales del SENA".

Por esto, la tarea analítica permite construir narrativas para cada una de las opciones

Cartografía social y trabajo de campo

La cartografía social se alimenta de las preguntas abiertas, como es el caso de la pregunta ¿Qué predios habría que adquirir en su opinión? En esta fase, los entrevistados hacen algunas aportaciones como por ejemplo en el humedal Tibabuyes comprar terrenos del tercio medio y bajo, luego el entrevistado localiza las zonas en la cartografía. Tal y como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Cartografía social y zonas reseñadas para recuperación de predios.



Fuente: elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas.

A continuación, se procesó la geo especialización mediante el software ArcGis, considerando que los datos geoespaciales son un determinante, para identificar la superficie de las áreas en conflicto en el año 2004, primero del periodo estudiado, se ha continuado el

siguiente procedimiento:

*Buscar en la página web del IDECA (<http://www.ideca.gov.co/es/servicios/mapa-de-referencia>) mapas y cartografía de urbanización, vías, ciclovías y corrientes de agua.

*Cargar los datos georreferenciados en un Sistema de Información Geográfica.

*Realizar un intersepto con los mapas de urbanización y los humedales para identificar las zonas en conflicto del año 2004.

* Validar la información geoespacial con la ortofoto del año 2004.

Después, en el año 2015 se realizó el mismo procedimiento. Sin embargo, la información se complementó con trabajo de campo, el cual consistía en la georreferenciación de los límites del humedal y las zonas de conflicto con la ayuda de un *GPS Garmin etrex-30x*. Posteriormente la información se sistematiza por medio de la herramienta *Arc toolbox_Conversion tools _ From GPS* (Franco, 2011). Seguidamente, para la identificación de áreas recuperadas o saneamiento predial y zonas en conflicto en los humedales, se integran los actores sociales. Según Velez et al (2012), la identificación de zonas en conflicto en el recurso hídrico es una técnica propicia para conocer la situación real del área de estudio. De igual manera Aparacio et al (2018) identifican las zonas en conflicto interactuando con la comunidad para la identificación de conflicto de usos del suelo en los humedales Meandro del Say y Santa María del Lago de Bogotá. Así pues, la construcción de la cartografía social

juega un papel importante en esta investigación para identificar el saneamiento predial y sus conflictos entorno a la red de humedales de Bogotá. Como ejemplo de la cartografía social aplicada en los humedales se aporta los mapas de los humedales Burro, Techo y Capellanía del año 2004 y 2015.

En las Figuras 2 y 3 se identifican los predios privados, asentamientos humanos y zonas de parqueadero que existían a finales del año 2004 en el humedal el Burro. Después, para la construcción cartográfica del año 2015 se representa el saneamiento predial con la ayuda de la comunidad; entre ellos se identifican el Comité Ambiental local de Kennedy (CAK) y la Fundación Banco de Semillas (FBS), quienes identificaron los predios Ortero San Francisco y Senderos de Castilla como áreas recuperadas por efectos del saneamiento predial.

Además, en el trabajo de campo se observó un cambio en los usos de los suelos, puesto que desaparecieron algunos asentamientos ilegales y, en cambio, surgieron edificaciones al sur del humedal. Aunque son muchas las gestiones adelantadas en el humedal el Burro, las instituciones ambientales deben buscar estrategias para mitigar los efectos que causa la fragmentación vial ocasionada por la Avenida Ciudad de Cali. Asimismo, se debe promover la adquisición de predios privados, puesto que

estas zonas pueden llegar representar riesgos severos en la superficie del humedal.

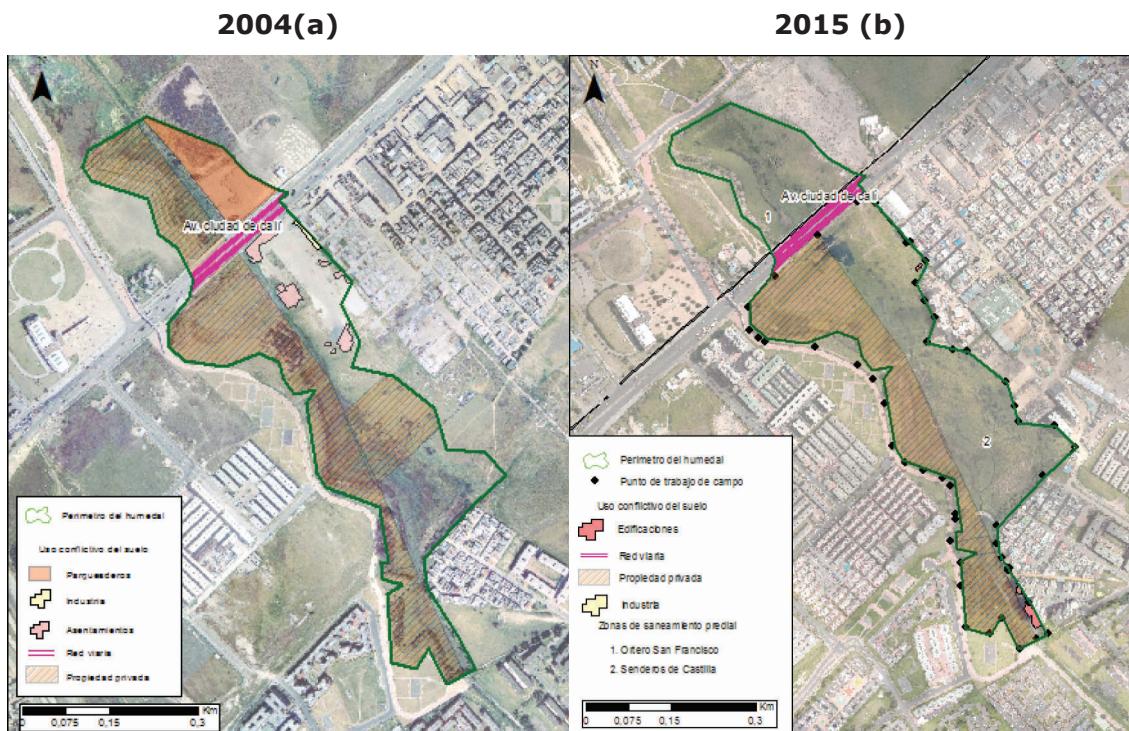


Figura 2. Delimitación de áreas en conflicto y la gestión del saneamiento predial humedal el Burro en 2004 (a)-2015(b).

Fuente: Elaboración propia a partir del trabajo de campo y las entrevistas semiestructuradas.

En cambio, la recuperación de la superficie del humedal de Techo se ha visto truncada por efectos del crecimiento urbano del barrio Lagos de Castilla, que invade el 35,85% de la superficie del humedal (González Angarita, 2018). La comparación entre los mapas de la figura 3 muestra una clara invasión debido a la malla vial y a los asentamientos ilegales que fueron reemplazados por edificaciones fortificadas.

Continuando con las comparaciones del humedal Capellanía, en la Figura 4 se identifica una clara reducción del área en conflicto

con la recuperación de los predios de la urbanización Baleares III sector, Urbanización Tierra Firme y Cofradía III sector (Calderón, 2016). No obstante, los impactos sobre dicho humedal serán reiterativos por las directrices de Secretaría Distrital de Planeación (SDP) y el Instituto de Desarrollo Urbano, que tienen planeada la construcción de la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO) (IDU, 2017). Si bien esta vía puede llegar afectar el 27,04% de la superficie del humedal Capellanía, puesto que la pérdida de área disminuye las zonas verdes, zonas de preservación del humedal y su espejo de agua.

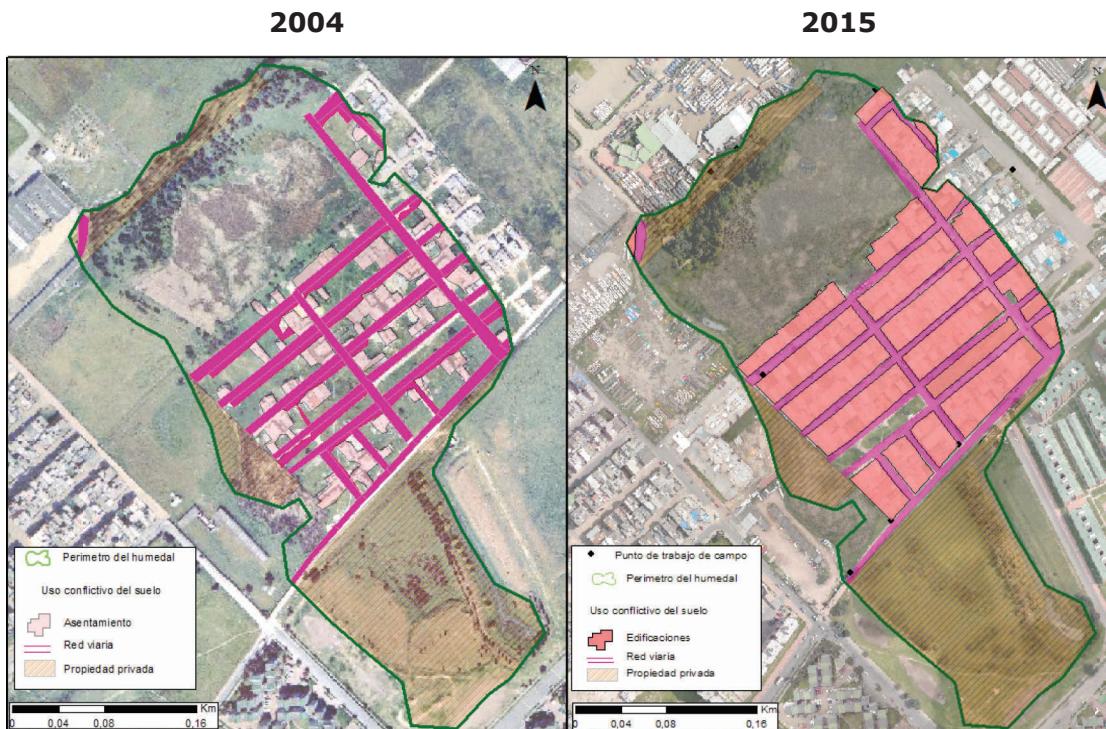


Figura 3. Delimitación de áreas en conflicto y la gestión del saneamiento predial humedal de Techo en 2004 (a)-2015(b). Fuente: Elaboración propia a partir del trabajo de campo y las entrevistas semiestructuradas.

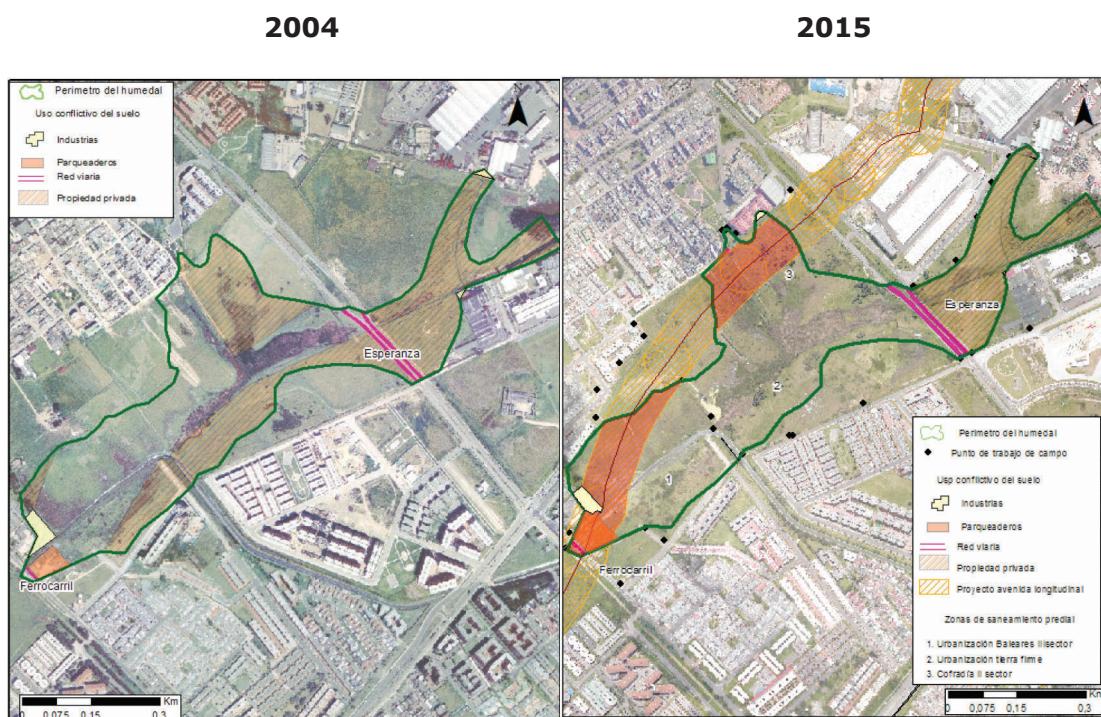


Figura 4. Delimitación de áreas en conflicto y la gestión del saneamiento predial del humedal Capellánía (2004 (a)-2015(b). Fuente: Elaboración propia a partir del trabajo de campo y las entrevistas semiestructuradas.

RESULTADOS

De acuerdo con el desarrollo de las entrevistas realizadas, se encontró que los actores involucrados están directamente relacionados con las zonas de estudio. En ese sentido, el 22%

de las entrevistas corresponde a las localidades Engativá y Usaquén; el 21 %, a la localidad de Fontibón; el 14% a las localidades de Bosa y Kennedy; y el 7% a la localidad de Suba.

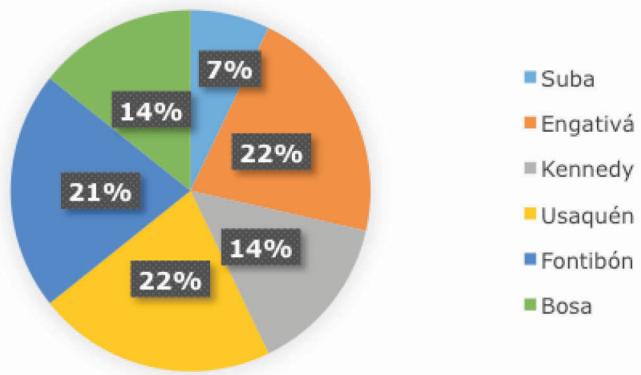


Figura 5. Desarrollo de entrevistas por localidad.

Fuente: *Elaboración propia*.

Con respecto a los datos recogidos en las entrevistas, que se representan en la Tabla 2, se ilustra la reducción de la superficie del área de estudio. Esto significa que, de las 674,06 hectáreas de la superficie de los humedales,

tan solo el 16% corresponde a zonas recuperadas por las gestiones adelantadas desde el saneamiento predial. En cambio, las zonas en conflicto representan el 30% de su extensión.

Tabla 2. Localización extensión y área recuperada en los humedales.

Humedal	Localidad	Extensión (hectáreas)	Área recuperada (hectáreas)	Área en conflicto (hectáreas)
Capellanía	Fontibón	27,01	10,16	11,148
Torca-Guaymaral	Usaquén	30,24	0	18,99
Tibabuyes	Suba	222,58	46,55	36,63
Jaboque	Engativá	147,88	15,79	63,06
Córdoba	Suba	40,48	22,71	13,33
Conejera	Suba	58,84	1,47	23,63
Techo	Kennedy	11,66	0	11,23
Vaca	Kennedy	7,96	4,17	1,53
El Burro	Kennedy	18,82	4,05	7,06
Meandro del Say	Fontibón	27,37	0	14,718
Santa María del Lago	Engativá	10,85	0	1,061
Tibanicá	Bosa	70,37	4,07	2,89
Total		674,06	108,97	205,277

Fuente: *Elaboración propia*.

De acuerdo con los registros obtenidos en las entrevistas, se identificó que el saneamiento predial ejecutado en los humedales tiene mayor adquisición predial en los siguientes ecosistemas: Córdoba (21,8%), Jaboque (14.3%), Capellánía (9,56%), Vaca (4,17 %). Además, los humedales que tuvieron una adquisición de predios mediana fueron entre el 1,33% y el 3,8 % y entre ellos se

identificó Tibabuyes (3,8 %), Burro (3,7%), Tibanica (3,68 %) y Conejera (1,33%). Por último, el registro de los humedales que no tienen adquisición predial son los humedales de Techo, Meandro del Say, Torca-Guaymaral y Santa maría del Lago. En la Figura 5 se ilustra la clasificación de los humedales desde su mayor adquisición predial de predios privados hasta su menor adquisición.

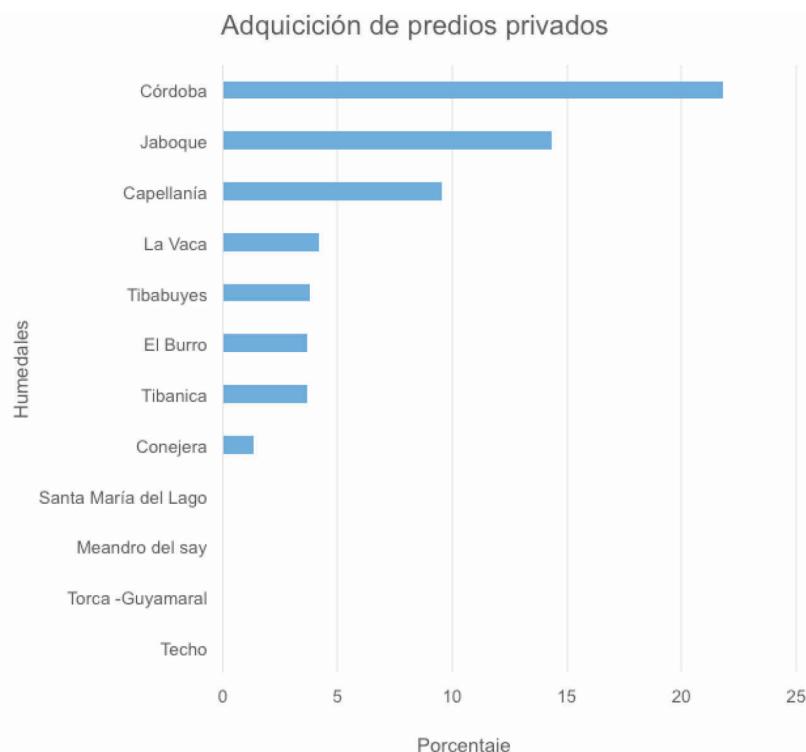


Figura 5. Resultados obtenidos en las entrevistas sobre la adquisición de predios privados y su clasificación por humedales.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación, se encontraron ciertos ámbitos por considerar. El primero indica que no es suficiente enfrentar los conflictos socio ambientales y desafíos de la gestión de humedales a partir de enfoques técnicos(Ricart & Claramont, 2016), puesto que los resultados indican que involucrar las partes interesadas, es decir los actores y expertos locales es un elemento clave para identificar las gestiones adelantadas

desde el saneamiento predial en los humedales de Bogotá, puesto que el acceso a la información en las instituciones gubernamentales es impreciso debido a la falta de indicadores geoespaciales que permitan hacer un seguimiento continuo en las gestiones adelantadas en la adquisición de terrenos en materia de humedales. Además, se debe garantizar la divulgación de los terrenos adquiridos en diferentes canales para que exista una retroalimentación entre las

partes interesadas y así mejorar la protección de dichos ecosistemas.

Una segunda contribución de este estudio fue el análisis del conflicto de usos del suelo en las zonas limítrofes a los humedales. De acuerdo con (Aparacio et al, 2018) el conflicto de usos de los suelos es evidente en los humedales Meandro del Say y Santamaría del Lago por efectos de la expansión urbana e industrial. En tanto esta situación se ratifica con los resultados obtenidos en la presente investigación, puesto que dichos ecosistemas demandan mayor atención en los procesos de saneamiento predial. Si bien en los resultados obtenidos se identifica que los humedales de Techo y Torca- Guaymaral, requieren también la recuperación de terrenos para disminuir los conflictos de usos de los suelos y ampliar sus rondas hidráulicas. En efecto el deterioro o desaparición de dichos humedales puede aumentar los riesgos por inundación para las localidades Kennedy, Engativá, Fontibón y Usaquén en la ciudad de Bogotá. Así pues, esta investigación contribuye en el campo de la gestión del saneamiento predial en la red de humedales de Bogotá, puesto que su validación en campo y el desarrollo de entrevista semiestructuradas ayuda a esclarecer cuáles son los predios que deben ser adquiridos por el gobierno para evitar su pérdida de área.

Por tanto, las futuras investigaciones deberán dirigirse al análisis cronológico de las zonas de inundación para planificar las zonas de expansión de la ciudad de Bogotá, sin tener que afectar las zonas de manejo y preservación ambiental en humedales. De igual manera, es necesario concienciar a las instituciones gubernamentales de la ciudad de Bogotá acerca de la funcionalidad que cumplen los humedales para el control de inundaciones. Otra línea de investigación futura que contribuya en la disminución del conflicto de usos del suelo se fundamenta con la implementación de Infraestructura verde

en el contorno de los humedales, con el fin de ampliar las áreas naturales de los humedales.

En términos generales, el crecimiento del área urbana es una de las causas principales de la pérdida de zonas de manejo y preservación ambiental en los humedales, puesto que las dinámicas de la urbanización de Bogotá inician con procesos que impermeabilizan los suelos y aumentan la pérdida de superficie de los humedales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al centro de investigaciones de la Universidad libre por la financiación del proyecto de investigación "Evaluación de comparativa de los humedales de Bogotá" N°11030136, puesto que facilitó el trabajo de campo con los estudiantes del programa de ingeniería ambiental. Asimismo, los reconocimientos se extienden a la doctora Ana Escalona de la universidad de Zaragoza, quien hizo aportes importantes en el desarrollo de la presente investigación. Finalmente agradecemos a la beca de doctorado del Banco Santander de la Universidad de Zaragoza y a la beca de la Alianza del Pacífico.

LITERATURA CITADA

- Aparacio Rodríguez, V., Avendaño Herrera, L., González Angarita, G., & Peña Angulo, D. (2018). *Ánálisis geoespacial de la dinámica de los humedales Meandro del Say y Santa María del Lago: Conflictos de usos del suelo y su pérdida de área*. Avances, 131-149. doi:0.18041/1794-4953/avances.1.1374AVANCES: INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ISSN impreso: 1794-4953 ISSN online: 2619-6581 Vol. 15 (1) DOI: [https://doi.org/10.18041/avances.v15i1. pp 131-149 \(2018\)](https://doi.org/10.18041/avances.v15i1. pp 131-149 (2018))
- Bryson, J. (2004). What to do when stakeholders matter: stakeholder identification and analysis techniques. *Public management review*, 6(1), 21-53.
- Calderón, M. (5 de mayo de 2016). Efectos de la dinámica urbana en los humedales de la ciudad de Bogotá: Diagnóstico y propuestas de mejora en el marco del crecimiento verde. (Y. Cardozo, Entrevistador).

- Cerema. (2015). *Milieux humides et aménagement urbain Dix expériences innovantes*. Lyon: Recuperado de: <http://es.calameo.com/read/00009367920dcd9669f68>.
- EAAB. (2013). *Ficha de inversión de Conservación y manejo ambiental*. Bogotá: Recuperado de <http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/empresa/PeI/Macro7341-06172013.pdf>.
- EAAB. (29 de Enero de 2017). *Empresa de Acueducto, agua, alcantarillado y aseo de Bogotá*. Obtenido de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá: http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal/%21ut/p/c5/hY5NDIwEIXPwgHMDIw2s-KyKbQ3QaAMWNoSFMSQCLoznF-JGTZR5y-9DNQwaWgf3aW9d-PQXsFBzZrIt5nliqDhZIta-JEnEgvCoEj7xijUbKVTIU0RDSkSSU3vAwgao-g4X0ad57c0i6i1EbGqcmkz4iffF__TPHHyfwq__jg_1aMMjV2J-hWFipYnAMbr3DTq-kEJ
- Escalona, A., & González, G. (2016). *Ensayo de modelización de la dinámica de los humedales de Bogotá como apoyo a su gestión ambiental en el marco del crecimiento verde*. II congreso internacional; La ingeniería ambiental en el siglo XXI. Bogotá.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (1996). *Desarrollo de Sistemas Agrícolas y Conservación del Suelo*. Roma.
- Franco, R. (2011). Tutorial arcgis. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=O0Zc7pJyigM&list=PLAEhDYHUarGs3h5oQbWrXSbbb6yLVfhsv>
- ECOBARRIO LAGOS DE CASTILLA-González Angarita, G. (31. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=fkPuoIwcCRA&t=3s> de Enero de 2018). Ecobarrio Lagos de Castilla. (H. González, Entrevistador)
- Grimble, R., & Wellard, K. (1997). *Stakeholder methodologies in natural resource management: a review of principles, contexts, experiences and opportunities*. Agricultural Systems 55(2), 173-193.
- Instituto de Desarrollo Urbano-IDU. (2017). *Inventario de vías de la ciudad de Bogotá*. Bogotá. Recuperado de <https://www.idu.gov.co/>.
- Inostroza, L., Baur, R., & Csaplovics, E. (2013). *Urban sprawl and fragmentation in Latin America: A dynamic quantification and characterization of spatial patterns*. Journal of environmental management, 115, 87-97.
- Lejano, R., Newbery, N., Ciolino, M., & Newbery, D. (2019). *Sustainability and incommensurability: Narrative policy analysis with application to urban ecology*. Ecological economics. doi:10.1016/j.ecolecon.2019.06.003
- Ricart, S., & Clarimont, S. (2016). *Modelling the links between irrigation, ecosystem services and rural development in pursuit of social legitimacy: Results from a territorial analysis of the Neste System (Hautes-Pyrénées, France)*. Journal of Rural Studies 43, 1-12.
- Shlomo, A., Blei, A., Lamson-Hall, P., Galarza, N., Kumar, S., & Shingade, S. (2018). *Atlas de expansión urbana en Colombia*. Bogotá. Obtenido de <http://atlasexpansionurbanocolombia.org/ciudades>: NYU: Informe mundial sobre los asentamientos humanos.
- Velez, I., Rátiva, S., & Varela, D. (2012). Cartografía social como metodología participativa y colaborativa de investigación en el territorio. *Cuadernos de geografía-Revista Colombiana de Geografía*, 59-73.
- Vásquez, A. (2016). *Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile*. Revista de Geografía Norte Grande(63), 63-86.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

CÓMO CITAR

Volumen 11 (1) año 2020

ÁREA AGRÍCOLA

Zapata Arango, P.C. y Andrade Castañeda, H.J. (2020). DESEMPEÑO ECOFISIOLÓGICO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) cv. CASTILLO A LA SOMBRA EN SAN JUAN DE RIOSECO, COLOMBIA. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2915>

Vaca-Vaca, J.C, Rivera-Toro, D.M, Morales-Euse, J., Jara-Tejada, F. y López-López, K. (2020). NUEVAS ARVENSES HOSPEDERAS DE BEGOMOVIRUS COLECTADAS EN CULTIVOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN CUNDINAMARCA. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3019>

Guerrero Guio, J.C, Cabezas Gutiérrez, M. y Galvis Quintero, J.H. (2020). EFECTO DE DOS SISTEMAS DE RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL CULTIVO DE PAPA VARIEDAD DIACOL CAPIRO. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3080>

Toro Chacón, L.C., Robles Valderrama, N. R., Trigos Aguilera, D.F., Trujillo González, J.M. y Torres Mora, M.A. (2020). USO DE LOS RECURSOS DE LA BIODIVERSIDAD: ESTUDIO DE CASO DE LA OLEORRESINA DE COPAIBA (*Copaifera Spp.*) EN LA MEDICINA TRADICIONAL EN EL DEPARTAMENTO DEL META – COLOMBIA. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3091>

Castro-Arguello G.S., Cruz-Fernández J. y Ortiz-Moreno M.L. FLORA VASCULAR Y VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN VILLAVICENCIO: CONFLICTOS CON LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2718>

ÁREA AMBIENTAL

Trujillo Romero, O.E., Trujillo Varilla, O.E., Quintero Tovar, A. y Vega Suarez. J. (2020). TRATABILIDAD DE LOS LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LOS CORAZONES DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR MEDIANTE EL USO DE CARBÓN ACTIVADO. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2750>

Higuera Infante, L.J. y Rojas Vergara, W. (2020). PRONÓSTICO DEL CAUDAL DEL RÍO CRAVO SUR, SECTOR DEL MORRO – PUENTE LA CABUYA, DEPARTAMENTO DE CASANARE, COLOMBIA. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2840>

Barreto Pardo, S., Vargas Moncada, D.K., Ruiz Martínez, L. y Gómez Ayala, S.L. (2020). EVALUACIÓN DE COAGULANTES NATURALES EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3081>

Doria Herrera, G.M., Peñuela Meza, G. y Valencia, G.C. (2020). 4-NONILFENOL: EFECTOS, CUANTIFICACIÓN Y MÉTODOS DE REMOCIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES Y POTABLES. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3235>

González Angarita, G. P., Toro Casas, V. y Dorado Castillo, E.O. (2020). EL SANEAMIENTO PREDIAL Y SU VALIDACIÓN DESDE LA ACTUACIÓN DE DIVERSOS ACTORES IMPLICADOS EN LA DINÁMICA TERRITORIAL DE LOS HUMEDALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ-COLOMBIA. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.3114>

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, estudios de casos 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).

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 De Los Hallazgos
- 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.

Artículo de reflexión: es un texto donde el autor presenta resultados de una investigación con una perspectiva analítica, interpretativa y crítica, basado en observaciones o fuentes originales.

Estructura:

- Introducción
- Planteamiento de la temática
- Desarrollo
- Conclusiones
- Agradecimientos
- Literatura citada

Remisión del manuscrito

Como parte del proceso de envío, los autores están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

La Revista de Investigación Agraria y Ambiental se acoge a la cultura de la originalidad para el desarrollo de la producción intelectual de la institución y por esta razón todos los artículos postulados serán sometidos a verificación con la herramienta **Turnitin**. En caso que el informe arroje un % de similitud superior al 30% y no derivarse de un trabajo de grado o tesis de postgrado, el equipo editorial tendrá la autonomía de retirar el artículo del proceso editorial.

Lista de comprobación inicial:

1. El manuscrito es inédito, no se ha publicado previamente, ni está siendo postulado simultáneamente a otra publicación.
2. Cumple con los lineamientos establecidos en las Instrucciones para Autores.

3. Se emplea la plantilla diseñada para la presentación de manuscritos.
4. Se han registrado todos los autores en el envío. Este paso es indispensable para evitar retrasos posteriores en el proceso, edición y publicación del artículo.
5. En el apartado “Comentarios para el editor” tendrá la opción de sugerir 3 posibles evaluadores, con su respectivo nombre, afiliación institucional y correo electrónico.
6. Citas y referencias redactadas según estilo APA.
7. Emplea tesauros para la construcción de palabras clave.

Formato general del documento

- Documento en formato Word
- Tamaño de papel carta (21.5 x 27.9 cm) y márgenes 3 cm superior, 2.5 cm izquierda, 3 cm inferior y 2 cm derecha, a una sola columna.
- Tipo de letra Verdana, tamaño 10.
- Espacio interlineal de 1.15 cm.
- Se recomienda que la extensión de los manuscritos postulados para publicación no exceda las 4000 palabras (incluyendo tablas, figuras y literatura citada), y hasta 6000 palabras para los artículos de revisión (incluyendo tablas, figuras y literatura citada).
- Si tiene figuras que ocupen una página completa (dos cuartillas), le recomendamos que lo coloque como anexo al documento. Esta figura quedará enlazada en el espacio web donde se alojará su artículo y en el caso de la versión impresa se maneja con código QR.

Título y autores

El título no debe exceder 15 palabras. Debe describir el contenido del artículo de manera clara y concisa, evitando el uso de palabras ambiguas, abreviaturas y signos de interrogación y exclamación.

Para cada uno de los autores que aparecen en el encabezado se debe proporcionar: nombre completo, último título académico obtenido o estudios actuales, filiación institucional, ciudad y país, correo electrónico. Omita cargos, grados docentes, nombres de grupo de investigación, reconocimientos, etc.

Resumen

El resumen identifica el objetivo y expone de manera breve la metodología, los resultados y las conclusiones del estudio. No deberá exceder las 250 palabras, tampoco incluir citas bibliográficas o abreviaturas, excepto aquellas que sean ampliamente conocidas. Según sea el idioma original del manuscrito deberá incluirlo en un segundo idioma (inglés y español).

Palabras clave

Se sugiere emplear una lista de cuatro a siete palabras, presentadas en orden alfabético y separadas por punto y coma (;).

No repita palabras que se encuentren en el título. Evite el uso de palabras en plural y frases. Idealmente emplee palabras normalizadas o descriptores del 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 1024pixels). Un ejemplo de figura:

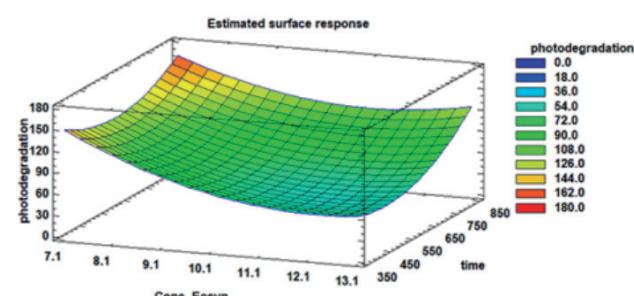


Figura 1. Título de la figura. Leyenda de la figura, el tipo de letra verdana tamaño 9. Fuente de: xx

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 desarrolle en el editor de ecuaciones de *Microsoft Word* o a través de la aplicación de *Mathtype*.

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 el referenciamiento 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.

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 case of working papers, only one evaluating pair and the concept of one of the members of the scientific committee are required, since they are NOT part of the official articles 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 res-

pect 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, it 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.

4. All authors have been registered in the shipment. This step is essential to avoid further delays in the process, editing and 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
- Reflexion articles
- working paper

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.

Then the **Reflexion's article** is a text where the author presents results of a research with an analytical, interpretative and critical perspective, based on observations or original sources. Structure: Introduction, Approach of the theme, Development, 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: xxxxx

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.