

Revista

Ciencias Agropecuarias

ISSN 2422-3484

Volumen 7 No. 2 • 2021



Facultad de Ciencias Agropecuarias



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA



Adriano Muñoz Barrera

RECTOR

Universidad de Cundinamarca

Maria Eulalia Buenahora Ochoa

VICERRECTORA ACADÉMICA

Universidad de Cundinamarca

Vilma Moreno Melo

DECANA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

EDITOR

Prof. Nelson Enrique Arenas Suárez

Universidad de Cundinamarca

COMITÉ EDITORIAL

Prof. Juan Camilo Álvarez Mahecha

Universidad de Cundinamarca

Prof. Edwin Davier Correa Rojas

Universidad de Cundinamarca

Prof. Laura Inés Cuervo Soto

Universidad Antonio Nariño

Prof. Sandra Milena Coronado

Universidad de Cartagena

Dr. Juan Carlos Osma Roza

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Fundación Universitaria Monserrate

Dra Edna Rocío Cabrera Martínez

Universidad del Cauca

Prof. César Augusto Prías Márquez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Prof. Julie Rosseli Suárez Vera

Corporación Universitaria Minuto de Dios CRS

Prof. Diego Zanetti

IFSULDEMINAS - Federal Institute of Education, Science and Technology of the South of Minas Gerais, Brasil

Prof. Ayixon Sánchez Reyes

Instituto de Biotecnología, UNAM, México

Prof. Ramón Alberto Batista García

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Prof. María del Rayo Sánchez Carbente

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Dr. Amador Goodridge

Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología
INDICASAT-AIP, Panamá

Prof. Víctor Hugo Herrera Franco

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Prof. Benjamin Dias Osorio Filho

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil

Dra Daiane Moreira Silva

IFSULDEMINAS - Campus Machado, Brasil

Prof. José Camilo Torres Romero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Dr Víctor Manuel Acero Plazas

Asociación Nacional de Médicos Veterinarios de Colombia (AMEVEC)

IMAGEN DE PORTADA

Fotografía de las instalaciones para la producción de avestruz en la Universidad de Debrecen en Hungría. Créditos a la estudiante de doctorado Lili Dóra Brassó.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Javier Alexander Moreno Jiménez

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Universidad de Cundinamarca

CONTENIDO

El aporte de los biofertilizantes y su potencial en Colombia The biofertilizer's contribution and its potential in Colombia

Gabriel Nicolás Gómez-Rivas¹ , Lourdes Fabiola Cárdenas-Guevara¹ ,
Paula Daniela Riascos-Torres¹ , Nelson Enrique Arenas^{1*} 

¹ Programa de Biotecnología, Facultad de Ciencias. Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia.

* Autor de correspondencia: narenas69@uan.edu.co

Cómo citar este artículo:

Gómez-Rivas G.N., Cárdenas-Guevara L.F., Riascos-Torres P.D., Arenas N.E. (2021). El aporte de los biofertilizantes y su potencial en Colombia. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 7(2): 3-6

Los fertilizantes o abonos son aquellos insumos agrícolas cuyo objetivo principal es mejorar el rendimiento productivo de los cultivos, permitiendo una mayor tasa de crecimiento y ganancia en la cosecha. Estos productos contienen nutrientes y elementos químicos principalmente como el nitrógeno (N), el potasio (K) y el fósforo (P) que, al solubilizarse, favorecen el crecimiento y el desarrollo óptimo de los cultivos. A nivel de producción agrícola, los fertilizantes pueden variar según su disponibilidad, formulación, tipo de cultivo o producción, requerimiento del suelo e insumos químicos utilizados concomitantemente, entre otros [1]. En Colombia, se estima que para 2018 se aplicaron 182,44 kg/ha de fertilizantes a las tierras agrícolas, incluyendo fertilizantes nitrogenados, potásicos y fosfatados (incluido el fosfato de roca molido y excluyendo los abo-

nos animales y vegetales). Las estimaciones de 2017 para Colombia indican que en el ámbito individual se aplicaron 182,5 kg/ha de N, 104 kg/ha de K y 58,36 kg/ha de P. Al revisar las tasas promedio de aplicación de fertilizantes de Colombia con diferentes países en el ámbito continental en el largo plazo, se reportó que la tasa promedio de aplicación de fertilizantes alcanzó un valor de 708,60 kg/ha para el año 2014; lo que supera el consumo per cápita de todos los países americanos (incluso Estados Unidos) incluidos en la comparación (Figura 1).

Un problema de los fertilizantes convencionales es que son importados y el incremento de su precio ha afectado a muchos sectores agrícolas en nuestro país, entre los que destacan el sector de la papa y el maíz [2]. Colombia es un país con una gran acti-

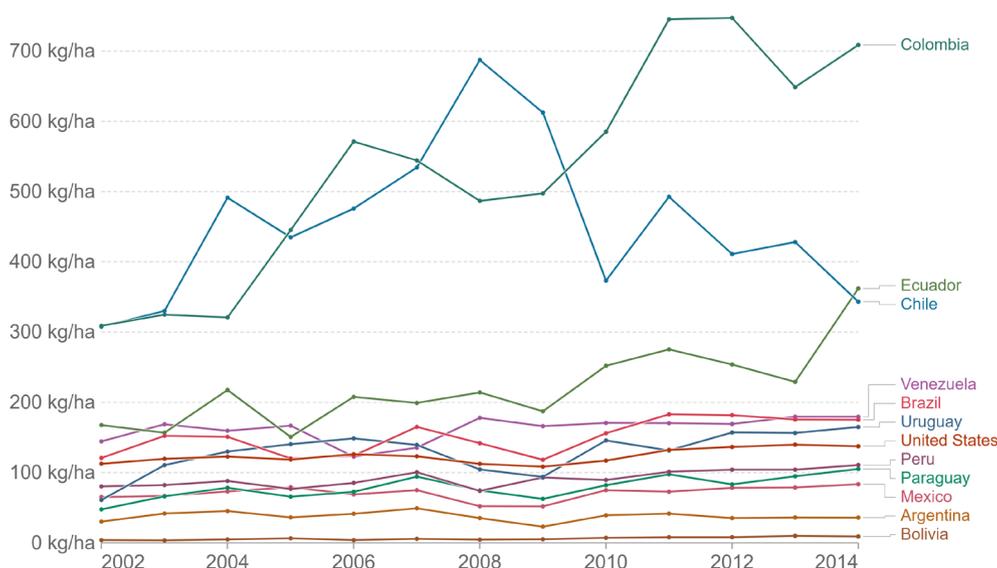


Fig. 1. Tasas de aplicación de fertilizantes a largo plazo, de 2002 a 2014

Nota. Tasas promedio de aplicación de fertilizantes para países seleccionados a largo plazo, medidas en kilogramos de nutrientes por hectárea (kg/ha) de tierra cultivable. Fuente: <https://ourworldindata.org/fertilizers>.

vidad agrícola, el porcentaje de importación de alimentos es aproximadamente del 1 %, teniendo en cuenta que muchos campesinos se plantean sembrar soya o fríjol en lugar de maíz porque la producción es más económica. Así, podemos contemplar dos posibles escenarios frecuentes (incluso futuros), quizás el más evidente es que la baja producción de papa no genera suficiente oferta en el mercado para cubrir la alta demanda que genera la papa y el maíz en Colombia, por lo que, para cubrir esa demanda, es necesario importar estos alimentos, causando un impacto negativo en la economía del país. Por otro lado, al aumentar considerablemente la producción de fríjol, con una mayor producción, hay menos necesidad de importaciones,

y tal vez incluso mayor capacidad de exportación, lo que probablemente amortiguaría el impacto económico causado por la falta de producción de la papa y el maíz. A pesar de lo anterior, no es seguro que la economía pueda sostenerse solo con la exportación de fríjol, por lo que es esencial buscar alguna alternativa en la que los fertilizantes sean más accesibles para tratar de mantener, o incluso mejorar, la economía agrícola del país.

En consonancia con la preocupación por el desabastecimiento en el país, el objetivo principal de estas propuestas es facilitar el acceso de los campesinos a los agroinsumos, fomentar la producción en el país y, en última instancia, nivelar los costos de produc-

ción y venta para que los productos agrícolas sean más asequibles para toda la población [3]. Algunas propuestas a considerar para abordar esta problemática son la regulación de un precio especial de los fertilizantes para los agricultores, el mejor aprovechamiento de los agroinsumos o el desarrollo de nuevas alternativas biotecnológicas nacionales a menor costo.

El contexto colombiano presenta un escenario de búsqueda de alternativas para afrontar esta crisis a raíz de la dependencia por fertilizantes industriales. Una alternativa al uso de estos productos son los biofertilizantes, que incluyen a todos los productos que contienen organismos vivos, como bacterias u hongos, que aumentan la disponibilidad de los nutrientes primarios y estimulan el crecimiento de las plantas. Los biofertilizantes, además de ser más baratos, lo que resulta más rentable para los pequeños y medianos agricultores, son también una fuente renovable de nutrientes, desempeñando un importante papel en el aumento de la fertilidad del suelo [1,4]. Los biofertilizantes son una alternativa cada vez más atractiva en la agricultura, ya que su papel en la misma ha cobrado gran importancia no solo para el rendimiento en general de los cultivos, sino también para reducir los costos y el impacto ambiental de su uso racional. Los microorganismos utilizados en los biofertilizantes son especies como *Lactobacillus*, bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos de Trichoderma y hongos tipo levadura, etc. [5].

Los biofertilizantes presentan retos que limitan su aplicación en el ámbito agrícola, como son: la supervivencia de los microorganismos utilizados en las aplicaciones, su establecimiento, colonización e interacción con la planta y su desempeño en la escala de tiempo. Por ello, se ha propuesto el uso de consorcios bacterianos y biopelículas en biofertilizantes para asegurar su supervivencia y su función inoculante independientemente de los microorganismos nativos, de la composición del suelo y del entorno donde se aplican estos productos [6].

Para garantizar la viabilidad prolongada de los microorganismos promotores del crecimiento durante el almacenamiento y la aplicación, se requiere una formulación adecuada y se han empleado métodos como la encapsulación microbiana con hidrogeles poliméricos o el uso de perlas de alginato [7]. Sin embargo, estos métodos suelen ser costosos y la tecnología escalable no está disponible a nivel industrial, por lo que se requieren estudios para optimizar la efectividad de los biofertilizantes. Desafortunadamente, se sabe que algunos de estos microorganismos eco-amigables podrían revertir sus efectos esperados y convertirse en patógenos o vectores de genes indeseables tanto para las plantas como para los seres humanos [8]. Por ende, se deben emplear técnicas de evaluación y monitoreo de las cepas utilizadas con pruebas de toxicidad y patogenicidad para garantizar su bioseguridad tanto para

el ecosistema como para los productores y consumidores de nuestra sociedad.

Dada la limitada capacidad del país para producir alimentos, el último reporte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en HungerMap LIVE (<https://hungermap.wfp.org/>), prevé una futura crisis alimentaria. Se calcula que 4,2 millones de colombianos padecen hambre crónica o desnutrición y 10,1 millones de personas sufren de insuficiencia alimentaria.

En conclusión, se necesitan medidas urgentes para aliviar el acceso a los fertilizantes y desarrollar nuevas tecnologías como los biofertilizantes en Colombia para el desarrollo del sector agrícola [9] y, paralelamente, combatir el hambre crónica y aguda, mejorar los indicadores de seguridad alimentaria y el acceso a los alimentos de los hogares colombianos.

Referencias

- [1] Escobar N, Arenas NE, Marquez SM. Characterization of microbial populations associated with different organic fertilizers. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 2020; 9(2): 171-82.
- [2] IICA. Efectos del aumento de los precios internacionales de los alimentos y las materias primas sobre los ingresos netos agrícolas y la seguridad alimentaria en Colombia. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Programa Mundial de Alimentos (PMA) de las Naciones Unidas. Bogotá, Colombia. 2010; 72p. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B3237e/B3237e.pdf>
- [3] Blundo Canto G, Giraldo D, Gartner C, Álvarez-Toro P, Pérez L. Mapeo de actores y necesidades de información agroclimática en los cultivos de maíz y frijol en sitios piloto -Colombia. Documento de Trabajo CCAFS no. 88. Cali, Colombia: Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS). 2016; 92p. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/71110>
- [4] Méndez M, Viteri S. Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Boyacá. *Agro-nomía Colombiana* 2007; 25(1):168-75.
- [5] Batista BD, Singh BK. Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. *Microb. Biotechnol.* 2021; 14(4):1258-68.
- [6] Gómez-Godínez LJ, Martínez-Romero E, Banelos J, Arteaga-Garibay RI. Tools and challenges to exploit microbial communities in agriculture. *CRMICR*, 2021; 2:100062.
- [7] Mitter EK, Tosi M, Obregón D, Dunfield KE, Germida JJ. Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: Innovative biofertilizer technologies. *Front Sustain Food Syst.* 2021; 5:606815.
- [8] Tariq M, Jameel F, Ijaz U, Abdullah M, Rashid K. Biofertilizer microorganisms accompanying pathogenic attributes: a potential threat. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 2022; 1-14.
- [9] Hu HW, Chen QL, He JZ. The end of hunger: fertilizers, microbes and plant productivity. *Microb. Biotechnol.* 2022; 15(4):1050-4.

ARTÍCULO ORIGINAL

Estudio preliminar de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca alta del río Magdalena y efectos del tratamiento combinado con filtro de arena y lámpara UV

Preliminary study of the physicochemical and microbiological parameters for the treatment of surface waters of the Magdalena River-Cuenca Alta and effects of the combined treatment of sand filter and UV lamp

John J. Sandoval¹ , Dalia X. Suarez¹ , Diana C. Molina¹ , Hernán D. Fontecha-Tarazona¹ 

María Aldaya^{1,2*} , Daniel F. Campos¹ , Santiago Barreto¹ 

¹ Programa Ingeniería Ambiental, Universidad de Cundinamarca, Colombia.

² Doctorado en Ciencias, UNED, España.

* Autor de correspondencia: maldayar@ucundinamarca.co

Recibido: 18/09/2021

Aceptado: 22/12/2021

Como citar este artículo:

Sandoval J.J., Suarez D.X., Molina D.C., Fontecha-Tarazona H.D., Aldaya M., Campos D.F., Barreto S. (2021). Estudio preliminar de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el tratamiento de aguas superficiales en la cuenca alta del río Magdalena y efectos del tratamiento combinado con filtro de arena y lámpara UV. *Revista Ciencias Agropecuarias* 7(2): 7-21

Resumen

El río Magdalena es considerado una de las fuentes de agua superficial más importantes en Colombia, ya que el recurso es captado para el consumo humano y para las actividades agropecuarias e industriales en toda la cuenca, especialmente en las regiones del centro y norte del país. Este río recibe varios afluentes que aumentan su caudal y modifican sus condiciones de calidad. Por ello, este trabajo evaluó las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Magdalena y su posible tratamiento mediante un dispositivo portátil. Se tomaron

tres muestras de agua superficial (60 L) en tres puntos localizados en la provincia del Alto Magdalena y se sometieron a procesos de filtración y desinfección con luz UV en un dispositivo autosostenible. A continuación, se llevó a cabo la caracterización total de las muestras a tiempos que oscilaban entre 0, 45, 90 y 135 minutos. El tratamiento mostró una reducción de los parámetros físicos como el color, la turbidez y los sólidos totales. No se obtuvieron diferencias significativas en las concentraciones iniciales y finales de elementos como el manganeso, el zinc, el cobre, el cromo total y el níquel a medida que se introducían y recirculaban las muestras en el dispositivo. La desinfección mostró porcentajes de remoción que oscilaban entre el 15 % y el 56 % para CF y el 20 % y el 36 % para CT. Los resultados indicaron que las muestras analizadas tienen un buen potencial de postratamiento y uso en actividades agrícolas y pecuarias. Se requieren estrategias para mitigar la contaminación del agua, conservar el recurso o incluso mejorar el acceso para el consumo humano o agropecuario.

Palabras clave: saneamiento, agua superficial, calidad del agua.

Abstract

The Magdalena River is considered one of the most important sources of continental water in Colombia, since the resource is captured both for human consumption and for agricultural and industrial activities throughout the entire basin, especially in the central and northern regions of the country. This river receives several tributaries that increase its flow and modify its quality conditions. In this work evaluated the physicochemical and microbiological variables of the water from the Magdalena River and its possible treatment from a portable device. Three surface water samples (60 L) were taken at three points located in the province of Alto Magdalena, subjecting them to filtration and disinfection processes with UV light in a self-sustaining device. Then, the total characterization of the samples was carried out at times that ranged from 0, 45, 90 and 135 minutes. The treatment showed a reduction in physical parameters such as colour, turbidity and total solids. No significant difference was obtained in the initial and final concentrations of elements such as manganese, zinc, copper, total chromium and nickel once entered and recirculated in the device. Disinfection showed removal percentages that varied between 15 and 56% for FC and 20 and 36% for TC. Consequently, the results obtained indicated that the analysed samples have a good post-treatment potential and use in agricultural and livestock activities. Strategies for mitigating water contamination, resource conservation or even improve access for human or agricultural consumption.

Keywords: sanitation, surface water, water quality.

Introducción

La cuenca del río Magdalena es la principal arteria fluvial de Colombia, no solo por su extensión, sino por su importancia económica, social y cultural para el país, como “abastecedor de agua para consumo humano, medio de transporte, despensa alimenticia, insumo básico para procesos agroindustriales y energéticos, y como zona de esparcimiento” [1]. Debido a su importancia y al hecho de ser una región densamente poblada con más de 5,6 millones de habitantes a orillas del río Magdalena, el impacto de la actividad humana está afectando negativamente a esta fuente hídrica.

En cuanto a la contaminación, los vertimientos deben considerarse como uno de los principales generadores de la misma. Según el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales (PMAR), para el año 2018 solo el 42,8% de las aguas residuales urbanas fueron tratadas, esto es un reto importante ya que en la región Magdalena-Cauca habita cerca del 81,1% de la población del país, con todas las implicaciones ambientales que conlleva el vertido de aguas no tratadas a un cuerpo de agua superficial, por lo tanto, se requieren alternativas viables para mitigar esta problemática [2].

En este sentido, es necesario entender la alta dependencia entre el funcionamiento del río aguas abajo y los procesos que ocurren aguas arriba, ya que, como proponen Vanno-

te y colaboradores en el llamado *River Continuum Concept (RCC)*, los sistemas fluviales son un continuo [3]. Por lo tanto, hay que suponer que las actividades antropogénicas en la cuenca alta pueden alterar significativamente este equilibrio aguas abajo.

Además, para el municipio de Girardot, es necesario incluir el efecto del tributario río Bogotá, que desemboca antes del casco urbano del municipio, proveniente de una región altamente poblada e industrializada como la ciudad de Bogotá, y que se encuentra altamente contaminado debido al vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, a las malas prácticas agropecuarias y al inadecuado manejo de basuras, alcanzando niveles de degradación considerados como una catástrofe ambiental y ecológica [4].

La reducción de la calidad del agua y la falta de plantas de potabilización en todos los municipios de la cuenca del río Magdalena afectan gravemente al acceso de la población al agua potable. El agua es un recurso fundamental para la vida y los sistemas productivos, por lo que su acceso seguro es una de las claves del desarrollo humano [5], lo que hace que la necesidad de agua limpia y la mejora de “la calidad del agua, reduciendo la contaminación, eliminando los vertimientos y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos” [6], sean objetivos cruciales en la agenda política internacional.

En este sentido, la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua es una herramienta fundamental que permite caracterizar los cuerpos de agua. Rincón-Silva destaca la necesidad de realizar análisis periódicos de la calidad del agua y de los parámetros fisicoquímicos del agua del río y del agua tratada, ya que los valores pueden variar significativamente de una temporada a otra debido a los procesos naturales, así como a la cantidad de cuerpos adicionados al agua por las actividades domésticas e industriales [7]. A su vez, la evaluación de estos parámetros también permite medir la eficacia de los tratamientos aplicados. Por ejemplo, Rossel-Bernedo y colaboradores destacan la importancia de utilizar la radiación UV-C junto con otros métodos de desinfección para obtener un efecto sinérgico que permita la inactivación mediante tratamientos combinados que puedan compararse con los tratamientos individuales y sean más eficaces [8], [9]. Además, estos procesos son la base para definir si son aptos para la destinación en actividades humanas, según lo establecido en el Decreto 1076 de 2015 respecto a los criterios de calidad admisibles para cada destinación del recurso.

Por ello, este trabajo pretende realizar un estudio preliminar de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de interés en el agua tratada y no tratada del río Magdalena en el tramo final de la cuenca alta, y determinar si el tratamiento combinado del filtro de

arena y la lámpara UV produce algún efecto sobre estos parámetros en las muestras de agua obtenidas.

Materiales y Métodos

Toma de muestra

Con el objetivo de establecer las condiciones fisicoquímicas del recurso hídrico en el río Magdalena y su variación una vez tratado en un dispositivo portátil, se tomaron tres muestras de agua superficial con un volumen de 60 litros cada una entre los municipios de Girardot y Guataquí, en los puntos denominados: el embarcadero (EMB), vereda Zumbamicos (ZUM) y vereda Barrialosa (BAR) (Figura 1). Los procedimientos de muestreo de campo se realizaron en base a la metodología de muestreo de agua propuesta por APHA-AWWA-WEF (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation), en el Standard Methods 23rd Edition, 2017 (SM 1060-A).

Tratamiento

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de aguas de la Universidad de Cundinamarca Seccional Girardot y sometidas a tratamiento en un dispositivo portátil. Cada muestra se colocó en un colector principal y se sometió a un proceso de filtración (arena) y desinfección con una lámpara de luz UV a intervalos de 0, 45, 90 y 135 minutos.

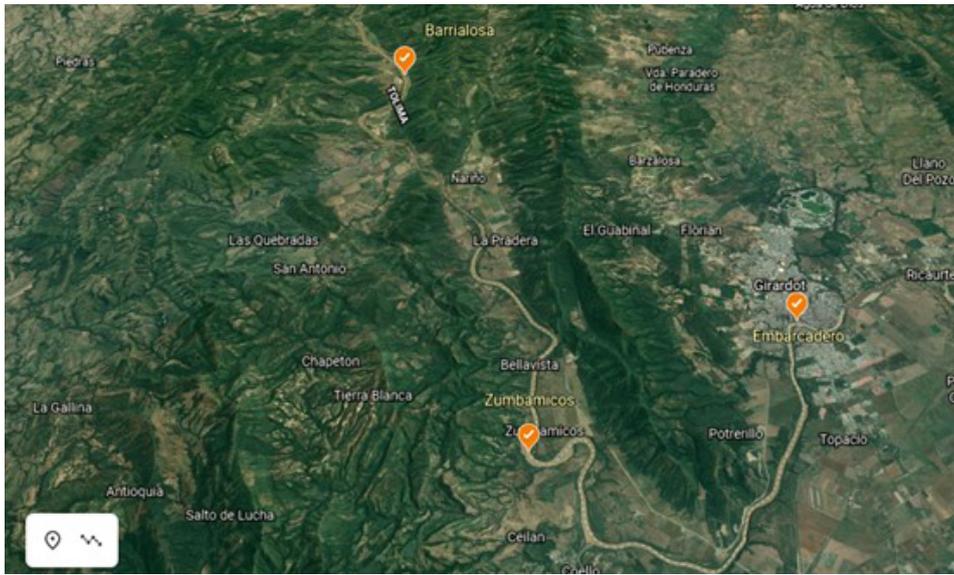


Fig. 1. Puntos de muestreo del presente estudio en el río Magdalena
Fuente: Propia.

Una vez tratadas, las muestras fueron enviadas al laboratorio de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S. A. S. acreditado por el IDEAM bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005, según la Resolución N.º 0775 del 14 de septiembre de 2020 para los correspondientes análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Para interpretar los resultados, se utilizó la estadística descriptiva para contrastar las variables cuantitativas dependientes (parámetros fisicoquímicos) a los 0 y 135 minutos de tratamiento. La información se organizó mediante tablas de distribución y gráficos. De igual forma, se tomó como referencia para el análisis el Decreto 1076 de 2015, que establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso en actividades agrícolas, pecuarias y de consumo.

Resultados

Parámetros físicos

Se observó una variación en la concentración de las Unidades de Platino-Cobalto (UPC), que disminuyó progresivamente en los tres puntos de muestreo. En el punto EMB se encontraron valores de 25, 24,5 y 24,4 UPC para los tiempos de tratamiento (45, 90 y 135 minutos respectivamente), y para los puntos ZUM y BAR se obtuvieron valores de 44,5, 42,6 y 37; 35,3, 27,3 y 25 UPC para los mismos tiempos (Figura 2).

En cuanto a las variaciones de turbiedad en los diferentes puntos de muestreo (Figura 3), se evidenció una disminución significativa de NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) desde

el primer tratamiento (45 min). Para el punto EMB, la determinación de turbiedad inicial fue de 661 NTU, seguida de 146, 82,7 y 76,3 NTU para los diferentes tratamientos (45, 90 y 135 min), respectivamente. Del mismo modo, para el punto ZUM, la determinación inicial fue <1000 NTU, seguida de 788, 546 y 493 NTU en los mismos tiempos. Y finalmente para el punto BAR, la determinación inicial fue <1000 NTU, seguida de 693, 482 y 358 NTU.

En cuanto a los sólidos totales (Figura 4), las cantidades iniciales aumentan en los diferentes puntos de muestreo EMB 557 mg/L, ZUM 1,051 mg/L y BAR 1,579 mg/L. Respecto a la eficacia del tratamiento, para los tres puntos se aprecia una tendencia a la reducción de los sólidos totales a medida que aumenta el tiempo de tratamiento. Sin embargo, el porcentaje de reducción difiere entre los tres puntos de muestreo como sigue: EMB 82,5 %, ZUM 67,8 % y BAR 63,5 %.

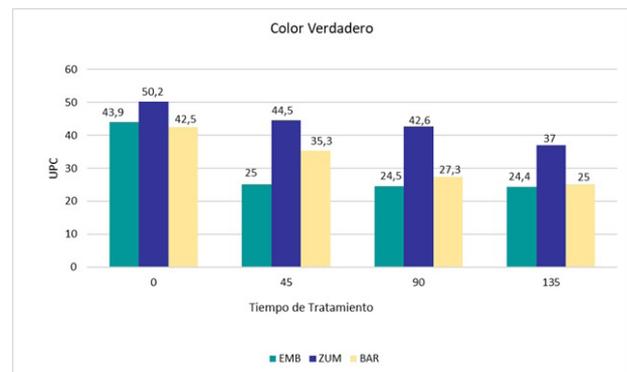


Fig. 2. Frecuencia de las UPC en diferentes tiempos después del tratamiento
Fuente: Propia.

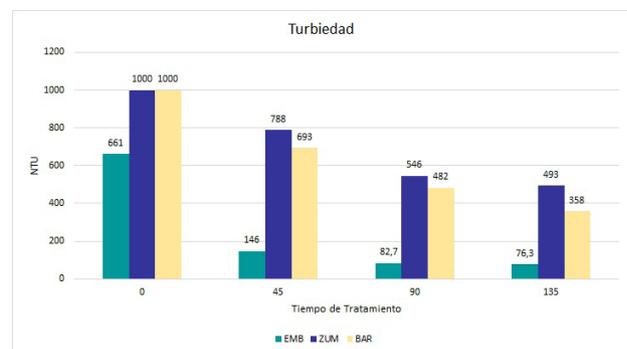


Fig. 3. Cambios en la turbiedad en diferentes tiempos después del tratamiento
Fuente: Propia.

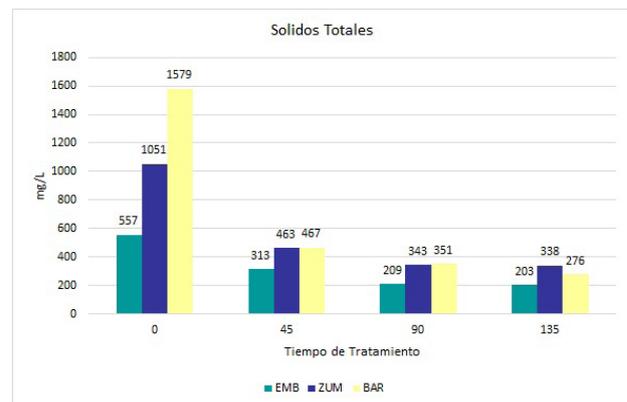


Fig. 4. Valores de sólidos totales determinados en la escala de tiempo después del tratamiento
Fuente: Propia.

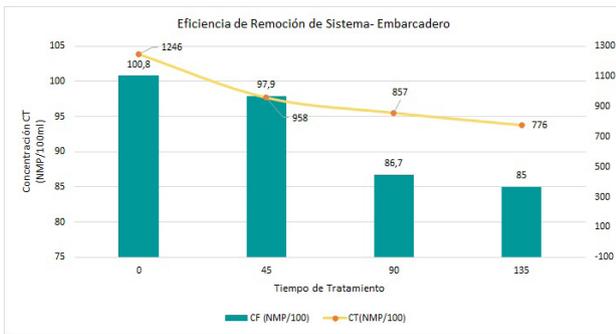


Fig. 5. Eficiencia de la remoción de CT y CF en el punto embarcadero
Fuente: Propia.

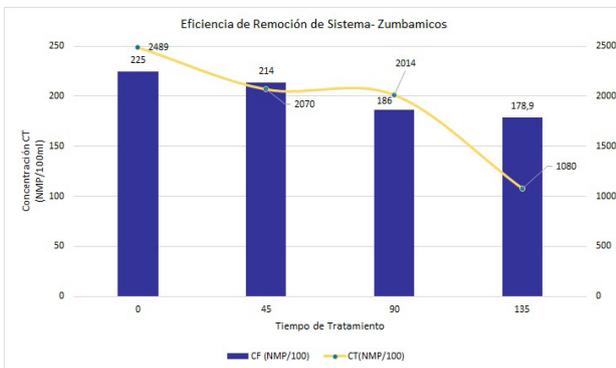


Fig. 6. Eficiencia de remoción CT y CF en el punto Zumbamicos
Fuente: Propia.

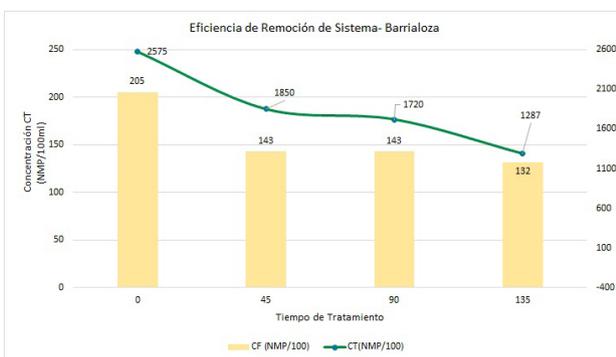


Fig. 7. Eficiencia de remoción CT y CF en el punto Barrialosa
Fuente: Propia.

Parámetros microbiológicos

La Figura 5 muestra el comportamiento de la concentración de coliformes totales y fecales una vez que la muestra fue sometida a tratamiento. Para la muestra del embarcadero, la concentración inicial de CF se redujo en un 15,6 % en el minuto 135 y la de CT en un 37,7 %.

En el caso de la muestra obtenida del punto Zumbamicos (Figura 6), la reducción del CT fue del 20,8 % y la del CF del 56,6 %. Por último, la muestra de Barrialosa (Figura 7) presentó el mayor porcentaje de remoción de CT con un 35,6 % y CF de 50,02 %.

Parámetros químicos

Cloruros y sulfatos

En cuanto a los cloruros y los sulfatos, se observaron concentraciones en aumento en las tres muestras analizadas en función del tiempo de tratamiento, encontrándose las variaciones más significativas en el punto EMB para los cloruros (24,1, 29,9 y 30,7 mg/L) y en el punto BAR para los sulfatos (5,67, 12,9 y 14,3 mg/L) (Figuras 8 y 9).

Hierro y manganeso

En relación con los análisis de hierro y manganeso, hubo un porcentaje significativo de remoción después del tra-

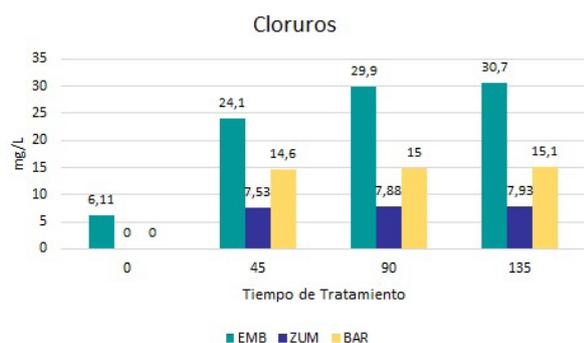


Fig. 8. Cambios en la concentración de cloruros después del tratamiento
Fuente: Propia.

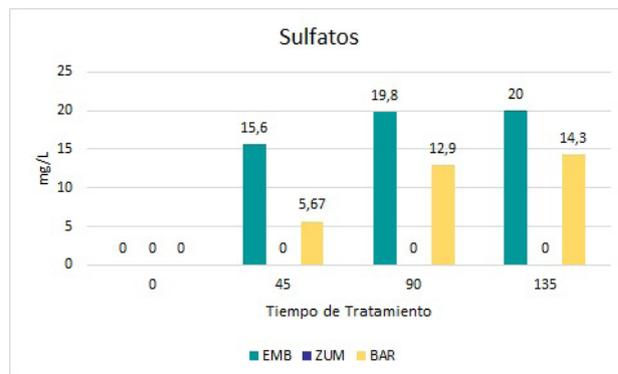


Fig. 9. Frecuencia en la concentración de sulfatos posterior al tratamiento
Fuente: Propia.

Tabla 1.

Concentración de hierro y manganeso y porcentaje de remoción

Hierro (Fe) mg/L				
Punto de muestreo	Caudal	Afluente	Efluente	% Remoción
BAR	0.5 m3/h	29,0	4,11	85,82
ZUM	0.5 m3/h	16,0	8,75	45,31
Manganeso (Mn) mg/L				
Punto de muestreo	Caudal	Afluente	Efluente	% Remoción
BAR	0.5 m3/h	0,54	0,12	77,77
ZUM	0.5 m3/h	0,29	0,20	31,03

Fuente: Propia.

tamiento, pasando de 29 a 4,11 mg/L de hierro y de 16 a 8,75 mg/L para los puntos de muestreo BAR y ZUM, respectivamente. De igual manera, se presenta una disminución de las concentraciones de manganeso con una tasa de remoción del 77,77 % tras el tratamiento para el punto BAR y una tasa de remoción del 31 % para el punto ZUM (Tabla 1).

Metales

Las 3 muestras sometidas a tratamiento presentaban concentraciones iniciales inferiores a 0,15 mg/L de elementos como el manganeso, el zinc, el cobre, el cromo total y el níquel, que no variaban una vez que entraban y recirculaban en el dispositivo. El cadmio, el plomo y el mercurio presentaron concentraciones iniciales menores a 0,01, 0,05, 0,001, respectivamente, las cuales no superan los límites máximos permisibles

para la destinación del recurso para las diferentes actividades de consumo, agrícolas o pecuarias, según el Decreto 1076 de 2015, y no experimentaron ninguna variación una vez sometidos a tratamiento.

Discusión

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el Decreto 1076 de 2015 establece los criterios de calidad del agua superficial para los diferentes usos e incluye los límites máximos permisibles para los parámetros físicos, químicos y biológicos entre los cuales se evalúan las sustancias tóxicas o irritantes y los agentes biológicos cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produce reacciones adversas a la salud humana o altera el estado de conservación de la flora y la fauna.

Parámetros físicos

De acuerdo con los resultados obtenidos, la variación en el comportamiento del color está en concordancia con lo descrito por Aguirre y colaboradores [10], que afirman que los diferentes procesos de tratamiento de aguas naturales permiten una reducción de la turbidez y del color directamente relacionada con la carga de partículas y materia orgánica que se encuentra en el río. Esto se reflejó en los tres puntos analizados en los que se produjo una disminución de las Unidades de Platino-Cobalto (UPC) durante los diferentes tiempos de tratamiento, con máximos en el punto ZUM (promedio

de 43,6) y mínimos en el punto EMB (29,5 UPC). Sin embargo, el análisis de este parámetro no cumple con los criterios de calidad del agua admisibles en el tratamiento convencional según el Decreto 1076 de 2015 (color real 20 UPC).

En cuanto a los sólidos en el agua, se sabe que la litología es un elemento clave que condiciona su presencia. En el caso de la cuenca Magdalena-Cauca, las unidades litológicas de mayor extensión están conformadas principalmente por depósitos no consolidados o formaciones superficiales del Cuaternario, siendo predominantes las de origen aluvial [11]. No es raro, por tanto, que debido a la acción erosiva del agua, los sólidos no disueltos aumenten con el flujo de agua y con ello los sólidos totales.

Respecto a la reducción por tratamiento de filtración, cabe señalar que los sólidos suspendidos quedan retenidos en la arena del filtro, lo que da lugar a una reducción de los sólidos totales.

La reducción de los sólidos totales a lo largo del tiempo registrada en las tres muestras se debe a que las impurezas presentes en el agua, al pasar por el lecho filtrante, son retenidas, lo que hace que los poros del medio filtrante sean cada vez más pequeños, reteniendo así partículas cada vez más pequeñas [12].

Parámetros microbiológicos

La variación en la concentración de coliformes fecales y coliformes totales se atribuye principalmente a los vertidos domésticos (directos o indirectos) de los municipios de Gigante, Palermo, Neiva, Natagaima, Purificación y Girardot, que se ubican aguas arriba de los puntos de muestreo. Sin embargo, según el ENA (2018) el Índice de Calidad del Agua (ICA) solo adquiere una categoría de *malo* cuando el río Bogotá desemboca en el río Magdalena. Por el contrario, aguas arriba el ICA se mantiene en categoría de regular y aceptable [13].

Al observar el potencial de desinfección del sistema en la muestra del EMB, se observó una reducción del 37,7 % de coliformes totales y del 15,6 % de coliformes fecales tras 135 minutos de tratamiento y recirculación del agua en el equipo. En el caso de la muestra obtenida del punto Zumbamicos, la reducción del CT fue del 20,8 % y del CF del 56,6 %. Finalmente, la muestra de Barrialosa arrojó el mayor porcentaje de remoción de CT con un 35,6 % y de CF con un 50,02 %. Los porcentajes de remoción se producen principalmente por el efecto del sistema de filtración (arena) que a través de mecanismos como el cribado, la interceptación, la absorción y la adsorción reducen los sólidos en suspensión y, por tanto, los microorganismos asociados a estas partículas, lo que podría contribuir a la disminución de los dos grupos [14]. Además, la inactivación de los

microorganismos fue complementada por irradiación y la absorción de radiación ultravioleta (UV), que provoca reacciones fotoquímicas de los componentes fundamentales de las células, perturbando su normal funcionamiento por el daño a la membrana celular y afectar directamente al material genético [15].

En el caso de esta investigación, donde el método de desinfección fue la radiación UV, se puede inferir que los polisacáridos generados por otros grupos bacterianos oportunistas como ***Pseudomonas sp.*** podrían distorsionar el efecto de la radiación sobre la membrana celular y el material genético de las bacterias, sin afectar sus funciones fisiológicas y reproductivas, impidiendo un mayor porcentaje de reducción.

Se ha demostrado que estas bacterias colonizan las superficies interiores de las tuberías de agua y los tanques de almacenamiento en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y largos periodos de almacenamiento [16]. En el caso de este estudio, la concentración de materia orgánica, nitrógeno y fósforo presente en el agua del río Magdalena podría haber favorecido el desarrollo de estas células en las mangueras de conexión entre cada una de las unidades operativas. De igual forma, la temperatura ambiente en la que se realizaron los ensayos (de 28 a 32 °C) y los largos periodos de retención (135

minutos) en el sistema pudieron beneficiar la proliferación de microorganismos.

Parámetros químicos

Cloruros y sulfatos

En lo que respecta a la variación de la concentración de cloruros, se obtuvieron resultados en las muestras en el rango de <4,00 a 30,7 mg/L, con valores mayores en el punto EMB (promedio de 22,7 mg/L) y más bajos en el punto ZUM (6,83 mg/L). Estos valores se consideran bajos con respecto a los reportados por Ospina y colaboradores, que sugieren un aumento considerable en las concentraciones de nitratos, nitritos, cloruros, hierro y fosfatos en el río Magdalena durante la primera mitad de la duración del fenómeno de El Niño, disminuyendo progresivamente hasta su finalización [17]. En este sentido, se espera un comportamiento particular debido al aporte que realizan las aguas domésticas procedentes de los barrios aledaños al río y que están cerca del punto EMB. Este indicador se ve generalmente modificado por el uso de sustancias ablandadoras; sin embargo, su presencia se establece como un parámetro admisible, ya que no supera los límites permitidos para el tratamiento convencional de las aguas naturales (valor máximo 250 mg Cl⁻/L).

Las concentraciones de sulfato oscilaron entre <5,00 y 20 mg/L en los tres puntos analizados, con un promedio mínimo de <5,00

mg/L en el punto BAR y una máxima de 15,1 mg/L en el punto EMB. Estos valores se consideran altos según Pava y colaboradores, que reportaron concentraciones en promedio de 2,0 mg/L y 4,0 mg/L, respectivamente, en cursos de agua de alta montaña y ciénagas del bajo Magdalena [18]. Por su parte, la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2240 de 2020, indica que el contenido de sulfatos en las arenas de río debe ser menor al 1,2 % [19]. En este sentido, la oscilación en la concentración de sulfatos observada en los puntos de muestreo de la EMB y la BAR podría atribuirse a la presencia de sedimentos provenientes de agregados de hormigón que se encuentran en el río Magdalena, los cuales no pueden ser filtrados por el lecho [20], [21]. Sin embargo, esta concentración no ejerce una influencia significativa en la evaluación de estos parámetros, por ejemplo, en el tratamiento convencional y los criterios de calidad para el consumo humano y doméstico (límite máximo: 400 mg SO₄²⁻/L).

Hierro y manganeso

Las aguas superficiales de los principales ríos del país sufren algunas alteraciones en su calidad, debido a los diferentes tipos de vertimientos generados por las poblaciones aledañas, ya sean industriales o agropecuarias, y por las escorrentías contaminantes de las diferentes actividades de la población y los residuos generados y arrojados a las fuentes hídricas. Estas alteraciones limitan significativamente el uso potencial del recurso.

Según Cruz y colaboradores, para el caso especial del uso agrícola y pecuario de las fuentes hídricas superficiales, la presencia de hierro y manganeso son parámetros críticos que requieren su remoción a través de diferentes tipos de tratamiento, incluyendo procesos de filtración y oxidación [22]. La reducción de estos dos elementos en el sistema de tratamiento puede atribuirse principalmente a la combinación de la aireación generada por la recirculación del agua al tanque y el sistema de filtración de arena. La aireación proporciona el oxígeno disuelto necesario para la conversión de las formas solubles de hierro y manganeso (Fe^{+2} y Mn^{+2}) en el agua cruda en óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3} y Mn^{+4}) de estos elementos [23].

Metales

En el caso de los metales, según el IDEAM, los cambios en la composición química de los suelos del río Magdalena indican que la contaminación por la aplicación de insumos agrícolas o el mal manejo de los metales pesados residuales constituyen una amenaza para la estabilidad química de los suelos [24]. En este sentido, Ortiz-Romero y colaboradores [25] encontraron que las determinaciones de metales como Cd, Cr, Pb y Hg sugieren una función de señalización de la contaminación según los sedimentos presentes en el río. Por este motivo, y debido a la época en la que se obtuvieron los resultados, no se observa una concentración

considerable en términos de contaminación en los tres puntos analizados, según la normatividad establecida para la potabilización del recurso (valores máximos permitidos en el Decreto 1076/2015: Cd: 0,01; Cr: 1,0; Cr: 0,05; Hg: 0,002; Pb: 0,05 mg/L).

Conclusiones

Los sólidos, el color y la turbidez son parámetros estrechamente relacionados que en el caso del río Magdalena tienen valores entre medio y fuerte, pero que con tratamientos de bajo costo como los filtros de arena se pueden reducir, mejorando las características físicas del agua.

El proceso de desinfección del dispositivo a través de la luz UV ha demostrado su eficacia en la eliminación de coliformes fecales y totales, sin embargo, es necesario asegurar que las condiciones de operación, como el tiempo de retención y la recirculación del recurso, no afecten su eficiencia.

En cuanto a la composición química, los parámetros estudiados no presentan valores fuera de los establecidos por la normatividad colombiana para los diferentes usos, pero es necesario el monitoreo en diferentes épocas del año para determinar el comportamiento en épocas de mayor o menor caudal del río Magdalena.

Finalmente, la acelerada contaminación de las fuentes hídricas en nuestro país ha des-

encadenado diferentes acciones que buscan mitigar el impacto sobre el recurso. En el caso del río Magdalena, por ser la principal arteria fluvial de Colombia, es fundamental generar estrategias de investigación que permitan estudiar las dinámicas y variaciones que se desarrollan continuamente. Por lo tanto, el compromiso de la academia, especialmente en la provincia del Alto Magdalena, es fortalecer estos procesos de tal manera que se conviertan en un punto de partida para el estudio del agua en esta región y sus posibles tratamientos, de tal forma que beneficien directamente a las comunidades que habitan la zona.

Agradecimientos

A la Agencia Nacional de Infraestructura Concesión Alto Magdalena S. A. S., en calidad de financiador del proyecto de seguimiento de la calidad de las aguas superficiales y la evaluación de la eficiencia de un dispositivo portátil para el mejoramiento de la calidad del agua en fuentes superficiales: caso de la cuenca alta del río Magdalena, localizado en jurisdicción de los municipios de Girardot y Guataquí, en el departamento de Cundinamarca.

Referencias

- [1] Mancera-Rodríguez N, Rodríguez-Sánchez L. Río Grande de la Magdalena: Recurso estratégico para el desarrollo Colombiano. *Revista Economía Colombiana y Coyuntura Política* [Internet]. 2002 [Citado 2021 Agosto 26]; 292: 83-91. Disponible en: <https://cutt.ly/Pg7ypYs>
- [2] Camacho-López A. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales [Internet]. Bogotá D.C.: Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico; 2019 [Citado 2022 enero 20]. Disponible en: <https://bit.ly/3tIDu4j>
- [3] Gómez Cerezo R. Modelos conceptuales de funcionamiento de ríos y arroyos [Internet]. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <https://cutt.ly/IWhIJ6C>
- [4] Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua. Sentencia del Río Bogotá [Internet]. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/ocga/sentencia>
- [5] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 4 Escasez de agua, riesgo y vulnerabilidad [Internet]. En: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Barcelona: Mundi-Prensa; 2006. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <https://cutt.ly/LWWhKqe>
- [6] Naciones Unidas. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos [Internet]. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <https://cutt.ly/3WIOW56>
- [7] Rincón-Silva N. Evaluación de parámetros físico-químicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque. *Revista Tecnogestión: una mirada al ambiente*, 2016 [Internet]. [Citado 2022 enero 20]. Disponible en: <https://bit.ly/3KtIGju>
- [8] Rossel-Bernedo, L. J., Rossel-Bernedo, L. A., Mayhua, F., Ferro, A., Zapana-Quispe, R. Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana

(coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 2020 [Internet]. [Citado 2022 enero 20]. Disponible en: <https://bit.ly/3lrFdiJ>

[9] Koivunen, J., Heinonen-Tanski, H. Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. *Water Research*, 2005 [Internet]. [Citado 2021 Agosto 26]. Disponible en: <https://cutt.ly/3WIOW56>

[10] Aguirre S, Piraneque N, Cruz R. Sustancias naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Revista Información Tecnológica*. Vol. 29, No 3, 2018. [Internet]. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>

[11] Corporación Autónoma Regional de Río Grande de la Magdalena, CORMAGDALENA. Estudio ambiental de la cuenca Magdalena - Cauca y elementos para su ordenamiento territorial: resumen ejecutivo. Barrancabermeja: CORMAGDALENA: IDEAM, 2002.

[12]. Universidad de los Andes y Corporación Universitaria Minuto de Dios. Manual de materiales, instalación y uso de filtro lento [Internet]. Bogotá; 2008 [Citado 2021 agosto 26]. Disponible en: https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/manual_instalacion_v1.pdf

[13]. IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá, D. C: Panamericana Formas e Impresos S.A, 2019. p 452. ISBN: 978-958-5489-12-7.

[14]. Romero, Jairo. Purificación del Agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Segunda Edición. 2006. 218p.

[15]. Guimaraes, José Roberto, et al. Desinfección de agua. En: *Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea*. Red Cydted VIII, Buenos Aires, 2001. p. 388.

[16]. Vásquez G, Castro G, González I, Pérez R, Castro T. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contacto [Revista en Internet]* 2006 [Citado 2021 Septiembre 07]; (60): 41-8

[17] Ospina, O., Ochoa, A., Vélez, M. Efecto del fenómeno del niño 2015-2016 en la calidad del agua del río Magdalena, municipio de purificación - Tolima. *Revista Producción + Limpia*. Vol. 13, No 1, 2018. [Internet]. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v13n1/1909-0455-pml-13-01-65.pdf>

[18] Pava, E., Carrasquilla, J., López, W. Caracterización de la comunidad fitoplanctónica de un plano de inundación del río Sogamoso en la cuenca media del Río Magdalena (ciénaga San Silvestre Colombia). *Intrópica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 3(1). 2006. [Internet]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4866567>

[19] ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 2240:2020. Agregado de mortero para mampostería. [Internet]. <https://docplayer.es/82328640-Norma-tecnica-colombiana-2240.html>

[20] Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Especificaciones Técnicas para construcción de viviendas. [Internet]. [Consultado 2021 Julio 10]. Disponible en: <https://bit.ly/3laYCff>

[21] Bernaj, J., Mahmoud, S., Reyes, E., Moragues, A. Estudio de la influencia de los medios con presencia de sulfatos en hormigones con cementos sulforesistentes y adiciones minerales. Parte 1: Hormigones expuestos a sulfato sódico (Na_2SO_4). *Revista de la construcción*. Vol. 12, No 2, 2013. [Internet]. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000200002>

[22] Cruz, C., Barba, L.E., Duque, A., Patiño P., Holguín J. (2004). Propuesta Metodológica Para La Identificación De Parámetros Críticos De Ca-

lidad De Agua En Corrientes Superficiales Caso De Estudio Rio Cauca. Universidad Del Valle. CVC- EIDENAR. Cali - Colombia <http://revista-eidenar.univalle.edu.co/revista.htm>

[23] Díaz-Delgado, C. Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público. Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. México D.F: RIPDA-CYTED; 2003. p. 37-54. [Internet]. [Consultado 2021 Julio 10]. Disponible en: <https://bit.ly/3KovLyh>

[24] IDEAM. Estudio ambiental de la cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial, Resumen ejecutivo. 2001. [Internet]. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000051/EstudioAmbientaLMagdalena-Cauca.pdf>

[25] Ortiz-Romero, L., Delgado-Tascón, J., Pardo-Rodríguez, D., Murillo-Perea, E., Guio, J. Determinación de metales pesados e índices de calidad de aguas y sedimentos del río Magdalena - tramo Tolima, Colombia. Revista Tumbaga. Vol. 2, No 10. 2015. [Internet]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5710210>

Diagnóstico del manejo de vertimientos de aguas residuales en la población urbana circundante a la quebrada Espinal

Diagnosis of the management of wastewater discharges in the urban population surrounding the Espinal stream

Luisa Campos¹  ; José Luis Lugo¹  ; Elkin Lugo²  Sandra Bibiana Vargas¹ 

¹ Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cundinamarca. Cundinamarca, Colombia.

² Corporación Universitaria Minuto de Dios. Girardot, Cundinamarca, Colombia.

* Autor de correspondencia: jlugo@ucundinamarca.edu.co

Recibido: 12/11/2021

Aceptado: 22/12/2021

Como citar este artículo:

Campos L., Lugo J.L., Lugo E., Vargas S.B. (2021). Diagnóstico del manejo de vertimientos de aguas residuales en la población urbana circundante a la quebrada Espinal. *Revista Ciencias Agropecuarias* 7(2): 23-44

Resumen

El propósito de esta investigación fue realizar un diagnóstico del manejo de vertimientos de aguas residuales en la población urbana circundante a la quebrada Espinal, determinando el censo poblacional de las viviendas ubicadas alrededor de este cuerpo de agua, que no cuentan con el servicio de alcantarillado y descargan sus aguas residuales en el mismo. En este estudio se utilizaron métodos y teorías de evaluación de la gestión de vertimientos de aguas residuales para establecer programas de mejoramiento de acuerdo con los decretos de la legislación colombiana: 3930 de 2010 y 2667 de 2012, concernientes al programa de monitoreo y seguimiento de las fuentes hídricas y proyectos de inversión en descontaminación de aguas, que se realizaron de acuerdo con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) liderado por la empresa EAAA de El Espinal E. S. P. Se formularon cinco programas de gestión ambiental para mitigar los efectos ambientales negativos en el cuerpo de agua en estudio: 1) programa de educación ambiental, 2) programa de conexión a la red de alcantarillado, 3) programa de gestión y manejo de vertimientos, 4) programa de embellecimiento de la microcuenca quebrada Espinal y 5) programa de monitoreo y seguimiento. Este estudio

concluye la necesidad y prioridad percibida por la comunidad de implementar acciones oportunas para mejorar sus condiciones sanitarias actuales en conjunto con actividades de monitoreo y seguimiento por parte de entidades comprometidas con el cuidado y preservación del medioambiente.

Palabras claves: quebrada Espinal, gestión del recurso hídrico, plan de saneamiento y manejo de vertimientos.

Abstract

The research purpose of this paper was to diagnose the management of wastewater discharges in the urban population, surrounding the “Espinal” stream; by determining the population census of the dwellings located around the stream water body which do not have the sewerage service and dispose their wastewater without any treatment to the stream. In this study, methods and theories of evaluation of wastewater discharge management were used, in order to establish improvement programs in compliance with the decrees of Colombian legislation: 3930 of 2010 and 2667 of 2012, concerning the monitoring program and monitoring of water sources and investment projects in water decontamination, which were carried out in compliance with the Sanitation and Waste Management Plan led by the company EAAA del Espinal ESP. Five proposed environmental management programs were formulated to mitigate the negative environmental effects on the study water body: 1) Environmental education program, 2) Connection to the sewerage network program, 3) Management and waste water discharge management program, 4) Beautification program for the Quebrada Espinal and 5) Monitoring and follow-up program. This study concludes the need and priority perceived by the community to execute timely actions to improve their current sanitary conditions in conjunction with monitoring and follow-up activities by entities committed to the care and preservation of the environment.

Keywords: Espinal stream, integrated management of water resources, sanitation and waste management plan.

Introducción

El agua es el principal componente de los seres vivos, indispensable para el desarrollo de

las funciones vitales, especialmente, para los seres humanos. En particular, las fuentes de agua superficiales son de gran importancia en la actualidad debido a los diferentes ser-

vicios que presta, entre ellos el transporte de nutrientes para la conservación de la vida acuática y los diferentes usos que le da el ser humano.

Las comunidades se abastecen de agua para desarrollar diferentes actividades socioeconómicas en los asentamientos poblacionales, tales como: producción industrial (por ejemplo, textil, minería, alimentos y bebidas), turismo, sector institucional, entre otros. Sin embargo, muchas de estas actividades provocan la contaminación, la alteración y el deterioro de las fuentes naturales de agua [1], lo que hace que la gestión ambiental de las aguas residuales sea relevante.

No obstante, en Colombia, cerca del 70 % de las aguas residuales no son tratadas con Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) adecuadas que permitan la eliminación de los contaminantes que son vertidos principalmente a los cuerpos de agua superficiales [2], lo que hace que los cuerpos de agua del país se deterioren significativamente afectando la economía de la nación, situación que debe ser mitigada con estrategias de prevención y control de la contaminación del agua.

La quebrada Espinal no es ajena a esta problemática. Nace en el municipio de El Espinal, tiene aproximadamente 20 km de cauce y es una microcuenca de connotación rural-urbana, en la que convergen alrededor de

9 barrios y 4 veredas [3]. Desde hace décadas, este sistema hídrico es fuente receptora de vertidos incontrolados de residuos sólidos y descargas de líquidos por parte de la comunidad ribereña circundante, que no es consciente de las repercusiones ambientales que esto tiene en los ecosistemas, principalmente por dos razones: 1) falta de recursos económicos (condiciones de vida precarias), y 2) bajo nivel de conocimientos sobre temas ambientales. Además, es importante destacar la falta de control y regulación por parte de las entidades gubernamentales en cuanto a la planificación de la gestión ambiental de la cuenca hidrográfica en estudio, ya que una planificación adecuada es importante para el desarrollo sostenible [4].

Por otro lado, la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo (EAAA) de El Espinal E. S. P., como prestadora de servicios públicos debe garantizar el cuidado del agua, la conservación de las cuencas hidrográficas y demás obligaciones establecidas en el Decreto 3930 de 2010, Decreto 2667 de 2012 y Decreto 1076 de 2015, en relación con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV). Sin embargo, este organismo no cuenta actualmente con un diagnóstico del manejo de los vertimientos de aguas residuales en la población urbana aledaña a la quebrada Espinal, como base para establecer proyectos de inversión en el manejo y gestión de la contaminación del agua de acuerdo con las condiciones actuales, programas

de monitoreo y seguimiento para mejorar el manejo de los vertimientos.

Lo anterior evidencia el incumplimiento de esta organización de servicios públicos con respecto a la normativa mencionada relacionada con la gestión y el manejo de vertimientos. Además, carece de un censo o base de datos para identificar a la población que no está conectada al servicio de alcantarillado que ofrece la empresa. La principal razón de la falta de alcantarillado es la construcción de viviendas y establecimientos (en muchos casos ilegales) sin articulación con la planificación del municipio lo cual es preocupante, ya que el vertido sin tratamiento y la disposición inadecuada de residuos sólidos provoca daños ambientales que afectan a los ecosistemas acuáticos y a la salud de las personas [5].

En general, esta contaminación está relacionada con los vertimientos de origen doméstico, debido a que es habitual que las comunidades de los países subdesarrollados descarguen aguas residuales sin tratamiento en las fuentes de agua circundantes con una mínima consideración de sus efectos ambientales negativos. Principalmente por la falta de recursos económicos, así como por la falta de conocimientos [3], incumpliendo así lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, que establece que “se prohíbe verter, sin tratamiento, residuos sólidos, líquidos o gaseosos, que puedan contaminar o eutrofi-

zar las aguas, causar daño o poner en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna, o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos”.

Es por ello que, en Colombia, para evitar el agotamiento del recurso hídrico, se han creado normas como la Ley 9 de 1979, el Decreto 3930 de 2010, la Resolución 151 de la CRA, el Decreto 1594 de 1984 y otros instrumentos que permiten la veeduría de los recursos naturales. Uno de estos instrumentos es el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), que permite la vigilancia y control de todos los procesos que se realizan con las aguas residuales [6].

El municipio de El Espinal no es ajeno a esta problemática, se identificó a través del análisis geoespacial de las capas de uso del suelo proporcionadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) utilizando el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ARCGIS, que actualmente el área urbana cuenta con viviendas aledañas a la quebrada Espinal que infringen esta normativa.

La disposición de aguas residuales en una corriente superficial sin tratamiento previo tiene un impacto considerable en la flora y la fauna acuáticas. Las aguas residuales deben recibir un tratamiento adecuado antes de ser vertidas en los cuerpos de agua, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas en concentraciones tales

que no afecten negativamente a los sistemas naturales ni a la salud humana, para evitar que su vertido cause daños ambientales [7], [8]. La Tabla 1 resume la composición típica de las aguas residuales domésticas y su efecto en la calidad del agua.

En Colombia, hay estudios de caso que pueden consultarse en los que se reporta una significativa contaminación por vertidos de aguas residuales a las fuentes hídricas, que puede estar asociada a la falta de planeación y gestión ambiental, así como a la falta de recursos para invertir en plantas de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos de lo anterior se pueden investigar en los siguientes trabajos publicados relacionados con su respectiva área de estudio: Caño Banderas en el municipio de Puerto López (Meta) [14], ciénaga grande de Santa Marta [15], [16],

cuenca baja del río Manzanares (Santa Marta) [17], quebrada Jui del río Sinú [18].

Estas problemáticas ambientales requieren de la gestión o participación de las empresas de servicios públicos en cumplimiento de sus obligaciones legales en el área de influencia donde estas organizaciones operan, las cuales deben trabajar en conjunto con las comunidades, entidades gubernamentales y no gubernamentales enfocadas en la gestión de los recursos hídricos y el medioambiente en general.

Al no realizarse en el área de estudio, debido al incumplimiento de la empresa prestadora del servicio en cuanto a la gestión integral del recurso hídrico y a la falta de cultura ambiental de la comunidad aledaña a la quebrada Espinal, aunado a la falta de control por

Tabla 1.

Composición típica de un agua residual doméstica

Parámetro	Concentración	Efecto sobre la calidad del agua
Sólidos suspendidos	220 mg/L	Problemas estéticos, depósitos de lodo, adsorción de contaminantes tóxicos y protección de organismos patógenos [10].
DBO	220 mg/L	Consumo de oxígeno disuelto del agua, mortalidad de peces y condiciones sépticas que producen malos olores [10], [11].
DQO	500 mg/L	
Nitrógeno total	40 mg/L-N	Eutrofización, toxicidad para peces, enfermedades en recién nacidos (nitratos) y contaminación del agua subterránea [10], [12], [13].
Fósforo total	8 mg/L-P	
Cloruros	50 mg/L-Cl	Riesgo de dañar las plantas acuáticas y ciertos cultivos [10].
Grasas	100 mg/L	Ocasionan películas que reducen la transferencia de oxígeno atmosférico a los cuerpos de agua, disminuye la calidad estética de la fuente hídrica [10].

Fuente: Modificado de [9].

parte de las entidades gubernamentales, la pertinencia de este proyecto es relevante, pues se realizó un diagnóstico del manejo de las descargas de aguas residuales en la población aledaña a la quebrada Espinal, determinando el censo poblacional para establecer programas de mejoramiento ambiental.

Con estas acciones de gestión se esperan obtener importantes beneficios socioambientales, tales como: reducción de las cargas contaminantes vertidas en la quebrada en estudio, recuperación del entorno paisajístico del cuerpo de agua, mejoramiento de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente hídrica, aumento de la cobertura del servicio de alcantarillado y, por ende, de la calidad de vida de la comunidad en estudio, incluyendo la salud y, por otro lado, el cumplimiento de las normas ambientales y las actividades del PSMV de la EAAA de El Espinal.

Metodología

A continuación, se describen los aspectos o instrumentos metodológicos empleados en este trabajo de investigación:

Métodos y técnicas de evaluación: se realizó una investigación de tipo mixta (cuantitativo-cualitativo) de carácter descriptiva, enfocada a obtener información de la población circundante a la quebrada Espinal, acerca del manejo, disposición de aguas re-

siduales y conservación del recurso hídrico. Esto con el fin de diagnosticar el manejo de vertimientos de esta población, utilizando como fuente las principales herramientas: recorrido o visitas de identificación, encuesta y observación directa, que constituyeron la base fundamental para el desarrollo de las 3 etapas propuestas en la metodología de este proyecto.

Recorridos o visitas de identificación: tuvo como finalidad identificar las viviendas circundantes a la quebrada Espinal. Se llevó a cabo de acuerdo con la cartografía urbana del municipio de El Espinal y las visitas de campo en el área de estudio para validar la información, ya que algunas viviendas se encontraron en asentamiento irregular o invasión.

Encuesta: tuvo como propósito recolectar información de los habitantes sobre la disposición y manejo actual de aguas residuales, las actividades de cuidado del recurso hídrico y, además, información sociodemográfica y acciones realizadas en cada vivienda analizada.

Observación directa: su principal propósito fue apoyar la recolección de información relacionada con las condiciones de infraestructura de las viviendas y los principales impactos o problemáticas presentes en el tramo o trayecto de la quebrada en estudio en la que las viviendas inspeccionadas reali-

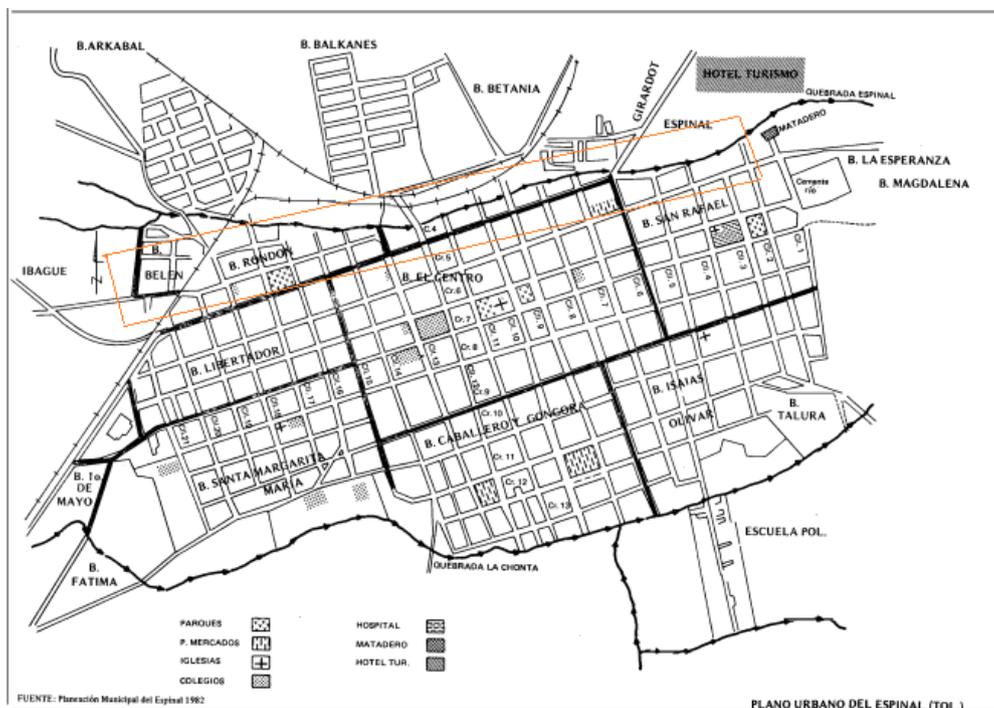


Fig. 1. Plano urbano Espinal-Tolima. Área de influencia quebrada Espinal

Fuente: Planeación municipal y modificada por el autor.

zan el vertimiento. Para ello, se elaboró una lista de chequeo que tuvo en cuenta básicamente los servicios de aseo, manejo de vertimientos y los materiales de construcción de las viviendas.

Población y muestra: el estudio se llevó a cabo en el municipio de El Espinal, Tolima. Este cuenta con una microcuenca que nace en las coordenadas $4^{\circ} 9' 21.818''$ N y $74^{\circ} 54' 50.051''$ E de connotación rural-urbana, sobre la cual convergen alrededor de 9 barrios y 4 veredas [19], siendo la población de estudio aquellas viviendas que se encuentran circundantes a la quebrada Espinal en el área urbana (Figura 1).

De acuerdo con la cartografía del municipio de El Espinal y la posterior validación de la información a través de visitas de campo, se identificaron 201 viviendas alrededor de la quebrada Espinal distribuidas en 9 barrios (Tabla 2), de las cuales se encontraron 6 viviendas deshabitadas, 84 viviendas no tienen sistema de alcantarillado y no tienen sistema alternativo de manejo de aguas residuales, y 111 viviendas cuentan con el servicio de alcantarillado de la EAAA de El Espinal E. S. P.

Sobre la base del número total de viviendas identificadas en las inmediaciones de la quebrada Espinal, se calculó el tamaño de la muestra utilizando la fórmula del tamaño de muestra para poblaciones conocidas con ta-

maño finito para un total de 201 viviendas con un margen de error del 8 %, un nivel de confianza del 95 % y una probabilidad de éxito y fracaso del 50 %.

Tabla 2.

Números de viviendas por barrios

Barrio	Número de viviendas
Belén	11
Betania	16
Centro	10
Entre ríos	50
Vía Girardot	2
Esperanza	67
Palmeras	5
Rondón	12
San Rafael	28
Total de viviendas	201

Fuente: elaboración propia.

El tamaño de la muestra fue de 86 casas. Con base en ello, se seleccionaron aleatoriamente las viviendas, se aplicó una encuesta y se realizó una observación directa para diagnosticar el manejo de vertimientos de la población estudiada con el fin de establecer proyectos de mejoramiento para su gestión integrada. Este estudio se desarrolló en tres etapas: 1) recolección de información, 2) análisis y evaluación, y 3) formulación de programas, con el fin de diagnosticar el manejo de vertimientos de la población urbana circundante a la quebrada Espinal y así proponer programas de mejoramiento para la protección de esta fuente hídrica.

Diseño metodológico. La investigación se llevó a cabo en tres etapas:

Etapas 1: Identificación de la población de estudio. En esta etapa se identificaron las viviendas (población de estudio) circundantes a la quebrada, a partir de la información cartográfica de planeación municipal. Posteriormente, se realizaron visitas de campo para validar la información encontrada. En base a lo anterior, se determinaron las viviendas con y sin cobertura de alcantarillado y, por consiguiente, responsables de los vertimientos directos a la quebrada Espinal. Cada vivienda inspeccionada se georreferenció mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que sirvió como una de las entidades espaciales útiles para la preparación de salidas gráficas (mapa) en el *Software* del Sistema de Información Geográfica (SIG) ARCGIS. Por último, se calculó el tamaño de la muestra, utilizando la fórmula del tamaño de la muestra para poblaciones conocidas con tamaño finito, según la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

Donde: n: muestra, z: constante que depende del nivel de error, e: error muestral, a: nivel de confianza, p: probabilidad de éxito, q: probabilidad de fracaso, N: tamaño de la población.

Se realizó en cada una de las viviendas visitadas: 1) una encuesta, con el objetivo de obtener información básica sobre la persona visitada, las actividades realizadas en la vi-

vienda, el manejo y disposición de los vertimientos, entre otros aspectos (Figura S1); y 2) un registro de observación directa, que es un documento de apoyo que permitió tomar información relacionada con las condiciones de infraestructura de la vivienda y los principales impactos, problemas en el tramo o trayecto de la quebrada en el que la vivienda inspeccionada realiza el vertimiento (Figura S2). Cabe señalar que la encuesta fue formulada por un equipo de cinco profesionales especializados en el ámbito de la gestión integral de los recursos hídricos.

Etapas 2: Análisis y evaluación. En esta etapa se realizó un análisis de los datos recolectados, que permitió evaluar el manejo y la gestión de las aguas residuales de cada una de las viviendas inspeccionadas, así como los impactos y problemáticas ambientales ocasionadas a la quebrada Espinal por el vertimiento de las aguas residuales en la comunidad estudiada. A partir de esta información, se realizó un análisis estadístico-descriptivo para obtener los resultados de los datos, asociándolos a la problemática actual que presenta la EAAA de El Espinal.

Etapas 3: Formulación de programas de mejoramiento. Tras la identificación de las principales problemáticas encontradas durante las encuestas y la observación directa, se elaboró una matriz de priorización de los problemas ambientales para atender los de mayor relevancia y realizar una gestión oportuna

mediante la formulación de proyectos de mejoramiento. Estos proyectos se realizaron con base en los requerimientos de los Decretos 3930 de 2010, 2667 de 2012 y 1076 de 2015 y en concordancia con el PSMV de la EAAA de El Espinal E. S. P., con el fin de garantizar, luego de su implementación y puesta en marcha, la mejora en la gestión y el manejo adecuado de los vertimientos por parte de la comunidad de estudio y la EAAA de El Espinal y, en consecuencia, generar beneficios sociales, ambientales y económicos para el municipio de El Espinal.

Resultados

Los resultados de la investigación se presentan en tres etapas y se describen a continuación:

Etapas 1: identificación de las viviendas. La Figura 2 muestra las 201 viviendas en total, donde las viviendas rojas son las circundantes a la quebrada Espinal. Los puntos verdes representan las 86 viviendas seleccionadas aleatoriamente para el muestreo: 1) encuesta y 2) observación directa.

De acuerdo con los datos recolectados en el censo, se identificaron las viviendas que vierten sus aguas residuales a la quebrada Espinal y tras un análisis de la cobertura del alcantarillado se encontró que: 62 viviendas pueden solicitar la conexión a la red de alcantarillado, 53 viviendas que por su ubica-

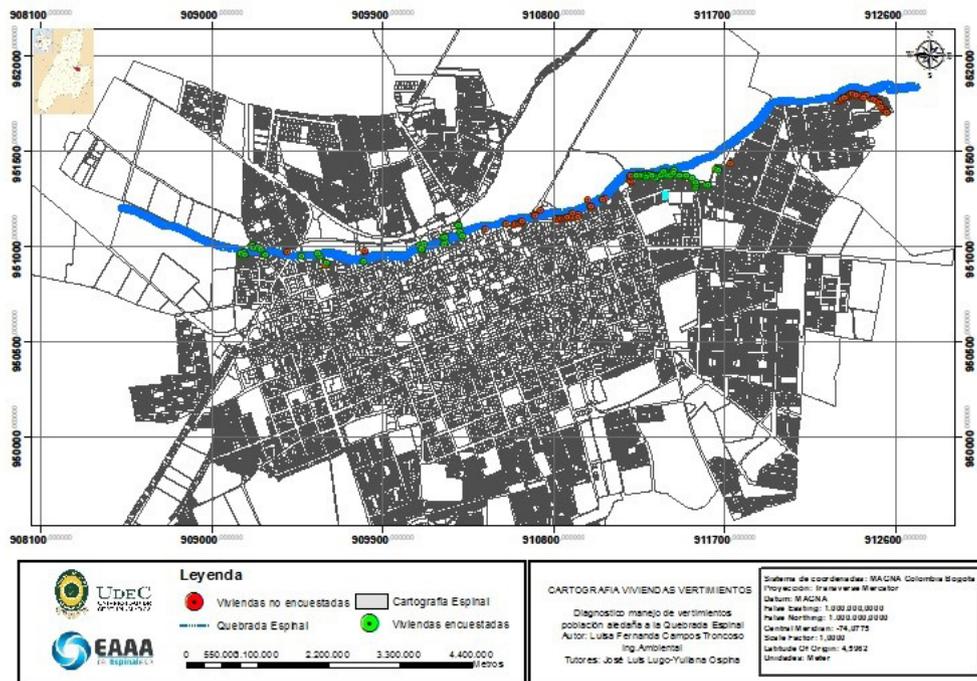


Fig. 2. Mapa de identificación de viviendas

Fuente: Elaboración propia.

ción (< 5 metros de la quebrada) deben ser reubicadas según lo establecido en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) de El Espinal, ya que su ubicación les puede ocasionar riesgos naturales y que por su especial connotación y condición de invasión o asentamiento irregular, la EAAA no puede prestar el servicio de alcantarillado y, por lo tanto, estas viviendas deben presentar una alternativa sostenible para el tratamiento y manejo de las aguas residuales.

Etapas 2: recolección, análisis y evaluación de la información. Los resultados evidenciados tras la aplicación de las encuestas se presentan a continuación.

Información relacionada con la vivienda.

Se recopilaban datos sobre la vivienda y las personas que la habitan, y se preguntó lo siguientes: tenencia de la vivienda, tiempo (años) que lleva habitada la vivienda, número de familias y personas que viven en ella, cabeza de hogar y ocupación. El tamaño de la muestra fue de 86 encuestados, de los cuales 49 eran mujeres y 37 hombres.

En esta investigación se evidenció que la mayoría de las residencias encuestadas corresponden a viviendas propias (59,3 %), seguidas por la tenencia en calidad de arrendatario (19,8 %), familiar (17,4 %) y, finalmente, en condiciones subnormales de invasión o asentamiento irregular (3,5 %). Además, se

ha comprobado que el 66,3 % de los encuestados llevan más de 10 años viviendo en la vivienda, lo que demuestra que conocen de primera mano la problemática estudiada.

En la población encuestada, el 83,7 % de las casas están formadas por una familia, el 11,6 % por dos familias y el 4,7 % por más de tres familias. Así mismo, se verificó que el 44,2 % de los hogares está compuesto por 4 a 6 personas, seguido por el 41,2 % de 1 a 3 personas, y finalmente el 14 % de los hogares tiene más de 6 personas habitando la vivienda, con casas de baja infraestructura y en condiciones subnormales de invasión en las que viven hasta 14 personas, provocando problemas de hacinamiento.

Por otra parte, se encontró que en el 60 % de las viviendas encuestadas, el cabeza de hogar es hombre y el 40 % restante es mujer, en los cuales las ocupaciones predominantes son amo(a) de casa e independiente con un 29 % (25 viviendas de 86 muestreadas) respectivamente, seguido de empleado con un 23,3 %, trabajador informal con un 8,1 %, desempleado con un 5,8 % y, finalmente, jubilado con un 4,7 %. De acuerdo con lo anterior, es importante destacar que el 29,1 % de las ocupaciones son amo(a) de casa e independiente, por lo que se puede determinar que los ingresos o recursos de los que dispone la población estudiada tienden a ser medios o bajos.

Información relacionada con el vertimiento. La principal actividad que se realiza en las viviendas es la doméstica con un 85 %, seguida de la comercial con un 15 %, en la que se encontraron establecimientos comerciales como: taller mecánico-automotor, restaurante, montallantas, taller de motos, cancha sintética, centro de diagnóstico automotriz, ferretería, carpintería, entre otros. Cabe destacar que en la población de estudio no hay actividades agrícolas ni industriales, lo que determina que los vertidos de la zona de estudio no corresponden en su totalidad a aguas residuales domésticas, sino a aguas residuales procedentes de actividades comerciales con una composición fisicoquímica y microbiológica variada.

Tabla 3.
Conexión a la red de alcantarillado

¿Su vivienda se encuentra conectada a la red de alcantarillado?		
	N.º viviendas	Porcentaje
Si	35	40,7
No	40	46,5
No sabe	11	12,8
TOTAL	86	100,0

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3 se observa que el 40,7 % de las viviendas encuestadas cuentan con el servicio de alcantarillado de la EAAA de El Espinal E. S. P., mientras que el 46,2 % de las viviendas no están conectadas a la red de alcantarillado y el 12,8 % no saben si cuentan con el servicio. De acuerdo con lo anterior, es evidente el poco interés de la población por la

gestión de las aguas residuales, por ejemplo: el lugar donde se disponen las aguas residuales resultantes de sus actividades cotidianas y el efecto que podrían tener sobre ellas, al ser vertidas sin ningún tratamiento en cuerpos de agua como la quebrada Espinal.

Así mismo, el 40,7 % de la población conectada a la red califica el servicio de alcantarillado prestado por la EAAA de El Espinal: como bueno 29,1 %, excelente 7 %, regular 5,8 % y, finalmente, el 1,2 % califica el servicio como aceptable y malo, respectivamente. Atribuyen esta calificación al hecho de que hay constantes problemas en la red de alcantarillado tanto en verano como en invierno, donde indican que hay principalmente malos olores (53 %), vectores (20 %), desbordamientos en los pozos durante la temporada de lluvias (18 %) y otros problemas como inundaciones y falta de limpieza de los pozos de inspección (9 %).

También se encontró que el 56 % de la población encuestada tiene como destino final de sus aguas servidas o residuales de su vi-

vienda la quebrada Espinal, y el 44 % restante lleva sus aguas residuales a la red de alcantarillado. Cabe destacar que 9 viviendas vierten sus aguas residuales tanto a la quebrada Espinal como a la red de alcantarillado, manifestando que no disponen de recursos para realizar las adaptaciones internas que les permitan evacuar todas las aguas residuales generadas a la red de alcantarillado. Además, se encontró que el 100 % de las empresas que generan aguas residuales producto de actividades comerciales no cuentan con permisos de disposición de aguas residuales otorgados por la autoridad ambiental de su jurisdicción, es decir, no cumplen con la normatividad legal vigente relacionada con los permisos de vertimientos a cuerpos de agua.

De acuerdo a la Figura 3, se determinó que la principal causa o razón por la que se vierten las aguas residuales a la quebrada Espinal según la población es la falta de cobertura y acceso al servicio de alcantarillado con un 33,3 %, indicando los propietarios de las viviendas que la EAAA no tiene cobertura en estas zonas y no ha realizado adecuaciones para

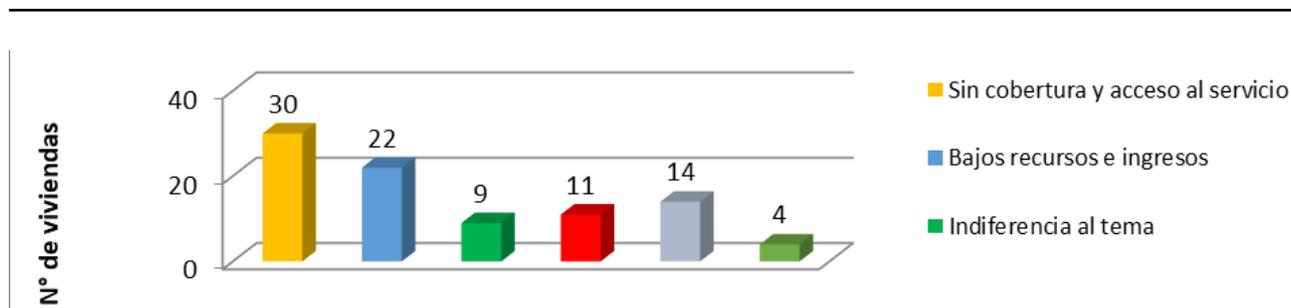


Fig. 3. Causas por las que se vierten aguas residuales a la quebrada Espinal

Fuente: Elaboración propia.

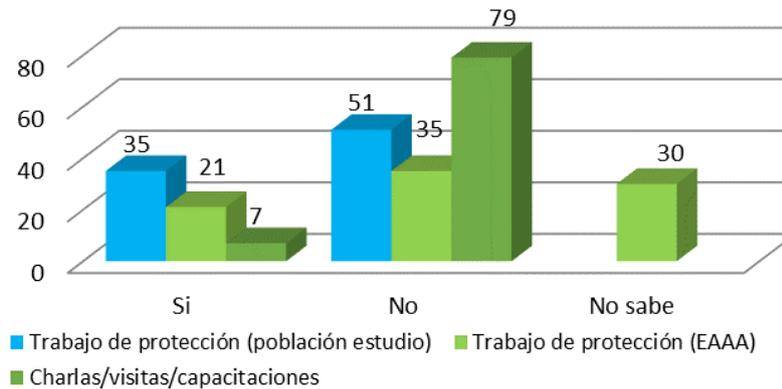


Fig. 4. Acciones de conservación recurso hídrico

Fuente: Elaboración propia.

prestar este servicio, seguido de los bajos recursos e ingresos (24,4 %), ya que afirman no tener recursos económicos para realizar las respectivas adecuaciones internas en sus hogares, seguido de la falta de conocimiento (15,6 %), el continuo taponamiento de la red (12,2 %), la indiferencia ante el tema (10 %) y, finalmente, otros como la falta de conciencia ambiental con un 4,4 %.

No obstante, el 70,9 % de la población estudiada considera que vivir cerca de las orillas del arroyo espinal no le ha causado ningún tipo de problema sanitario o de salud ni ningún riesgo natural, a diferencia del 29,1 % que afirma haber contraído problemas de salud, generalmente gripes y toses constantes por la presencia de malos olores y vectores en la zona. Además, la población manifestó que la mayor fuente de contaminación de la quebrada Espinal es el vertido sin tratamiento de las aguas residuales de las viviendas con un 35 %, seguido del vertido de las empresas con un 22 %, el vertido de la EAAA

con un 22 % y, por último, un 18 % de la población considera que el vertido de las aguas residuales de los cultivos es el responsable de esta contaminación.

Por otra parte, se encontró que 51 (69,3 %) hogares no realizan ningún tipo de trabajo para proteger y conservar la quebrada Espinal, seguido de 35 (40,7 %) hogares que afirman realizar trabajos de protección, tales como: jornadas de aseo y limpieza del cuerpo de agua y reforestación en la ronda hídrica. Así mismo, se encontró que los habitantes de 21 (24,4 %) hogares consideran que, durante los últimos años, la EAAA de El Espinal ha realizado esfuerzos para mejorar su gestión en el cuidado y conservación de la quebrada Espinal, mientras que 35 (40,7 %) hogares consideran que la EAAA no realiza ni se compromete a mejorar su gestión y, por último, 30 (34,9 %) hogares desconocen si se están realizando dichas acciones (ver Figura 4).

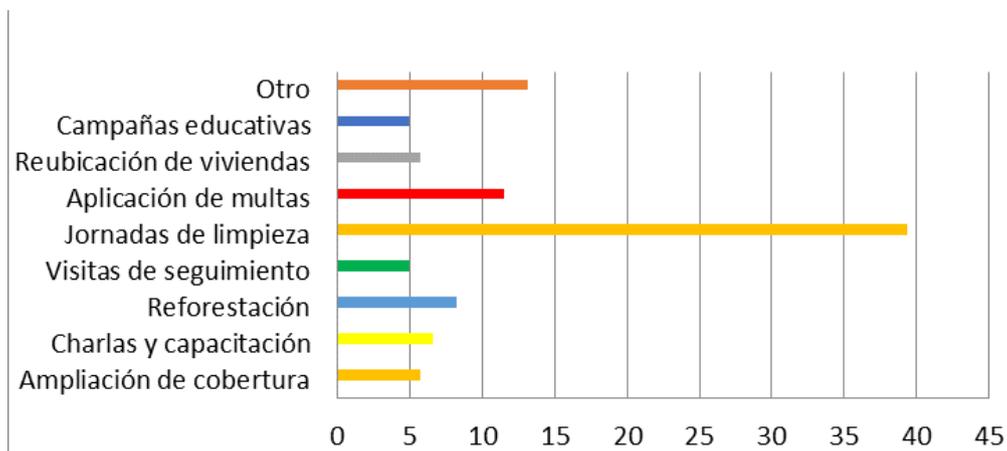


Fig. 5. Acciones de mejora

Fuente: Elaboración propia.

También se encontró que el 91,9 % correspondiente a 79 hogares encuestados no ha recibido ninguna visita, conversación o capacitación sobre el cuidado, protección y conservación del recurso hídrico por parte de alguna entidad, mientras que el 8,1 % afirma haber recibido capacitación en 2018 por parte de entidades como la policía ambiental y el Instituto Tolimense de Formación Técnica Profesional (ITFIT). De acuerdo con lo anterior, se evidencia la falta de programas de educación ambiental por parte del EAAA de El Espinal para la comunidad aledaña a la quebrada Espinal.

Finalmente, la Figura 5 muestra que el 39 % de la población de estudio considera que se deben realizar jornadas de limpieza para mejorar las condiciones actuales de la quebrada Espinal y, por lo tanto, la comunidad está consciente de la necesidad de un programa o comité de gestión liderado por la EAAA para

realizar actividades de cuidado de la quebrada; un 13 % que considera que se deben realizar otro tipo de acciones como la canalización de la quebrada Espinal y la construcción de un colector de aguas residuales; un 11 % cree que deberían aplicarse multas a quienes arrojan residuos o aguas residuales a la quebrada; un 8% dice que deberían realizarse campañas de reforestación a lo largo de la ronda hídrica con especies autóctonas de la zona; y un 7 % cree que deberían realizarse charlas y capacitaciones, reiterando la necesidad de un programa de educación ambiental. Por otra parte, el 6 % cree que hay que reubicar las viviendas y ampliar la cobertura de la red de alcantarillado y, por último, el 5 % opina que hay que realizar visitas de seguimiento y campañas educativas, respectivamente.

Infraestructura de las viviendas. En total, se encontraron 173 viviendas con excelentes

condiciones de infraestructura y 167 con buenas infraestructuras. Cabe destacar que en la ronda hídrica de la quebrada Espinal había casas con una infraestructura deficiente, construidas con materiales de baja calidad. Por este motivo, las viviendas se consideraron de riesgo en caso de inundación o desbordamiento de la quebrada Espinal.

Dado que la observación directa se considera un instrumento subjetivo basado en el punto de vista del observador, los principales aspectos que se tuvieron en cuenta en esta evaluación fueron: los materiales de construcción utilizados en la vivienda, aspectos como el color y el acabado. No obstante, durante las visitas se evidenció que en cada una de las viviendas encuestadas el manejo de los residuos sólidos es bueno y, aunque los residuos resultantes de sus actividades diarias no son segregados en la fuente por colores según su composición y origen, son efectivamente dispuestos en bolsas plásticas en el carro recolector de la empresa Ser Ambiental S.A. E.S.P.

Problemas e impactos de la quebrada. Después de la evaluación de los principales problemas e impactos en la quebrada, se encontró que, aunque la mayor parte del tiempo no hay presencia de escombros, desechos de construcción, madera (entre otros materiales) en el cuerpo de agua, hay una presencia constante de malos olores y vectores (ver Tabla 4) producto de la descomposición de algunos residuos que son desechados indiscriminadamente en tramos de la quebrada por la población que no considera importante la conservación del recurso hídrico, como es el caso la quebrada Espinal.

Etapa 3. Formulación de programas de mejora. A partir de las problemáticas encontradas en la observación directa y de los resultados de las encuestas, se establecieron proyectos socioambientales para mejorar la gestión de los vertidos de aguas residuales según las carencias y necesidades, atendiendo a las deficiencias actuales que se vienen produciendo en la EAAA de El Espinal E.S.P., de acuerdo con los requerimientos del

Tabla 4.

Evaluación observación directa problema e impactos en la quebrada

Aspecto evaluado	SI	NO	Total
Presencia de vectores, plagas y roedores	53	33	86
Contaminación por presencia de malos olores	49	37	86
Contaminación del cuerpo de agua o tramo (color, olor)	30	56	86
Presencia de escombros, residuos de construcción, madera, etc., en el cuerpo de agua	28	58	86
Total	160	184	344

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.**Matriz priorización de problemas**

	PROBLEMA Hasta 30	Magnitud	Gravedad	Capacidad	Beneficio	TOTAL
		Hasta 20	Hasta 20	Hasta 30	Hasta 100	
1	Falta de charlas, visitas y capacitaciones para la población.	24	10	20	20	74
2	Baja cobertura y acceso al servicio de alcantarillado en la zona de estudio.	30	20	10	10	70
3	Carencia de acciones de gestión por parte de la EAAA de El Espinal en actividades para la conservación y protección de la quebrada Espinal.	25	15	10	20	70
4	Presencia de escombros, residuos de construcción, madera, arboles, etc., en el cuerpo de agua.	20	15	12	18	65
5	Escases de jornadas de limpieza y reforestación en la ronda hídrica de la quebrada Espinal.	20	10	12	15	57
6	Presencia de vectores, plagas o roedores en la zona de estudio y en el cuerpo de agua.	15	8	20	15	58

Fuente: elaboración propia.

PSMV. Estos problemas y requisitos fueron los siguientes:

- Falta de charlas, visitas y capacitaciones para la población.
- Baja cobertura y acceso a los servicios de alcantarillado en la zona de estudio.
- Carencia de acciones de gestión por parte de la EAAA de El Espinal en actividades para la conservación y protección de la quebrada Espinal.
- Presencia de escombros, residuos de construcción, madera, arboles (entre otros) en el cuerpo de agua estudiado.
- Escases de jornadas de limpieza y reforestación en la ronda hídrica de la quebrada Espinal.
- Presencia de vectores, plagas o roedores en la zona de estudio y, en general, en el cuerpo de agua.

De acuerdo con las problemáticas encontradas, se estableció una matriz de priorización de problemas en la Tabla 5 para clasificarlos, seleccionando los más relevantes de acuerdo con su urgencia o importancia para la comunidad y la EAAA de El Espinal E. S. P. Los aspectos evaluados en la matriz de prioriza-

Tabla 6.
Resultados matriz priorización de problemas

Color	Valor	Problemas
	Critico	Falta de charlas, visitas y capacitaciones para la población
	Muy urgente	Baja cobertura y acceso al servicio de alcantarillado en la zona de estudio Carencia de acciones de gestión por parte de la EAAA de El Espinal en actividades para la conservación y protección de la quebrada Espinal
	Urgente	Presencia de escombros, residuos de construcción, madera, arboles, etc. en el cuerpo de agua
	Poco urgente	Presencia de vectores, plagas o roedores en la zona de estudio y en el cuerpo de agua
	No urgente	Escases de jornadas de limpieza y reforestación en la ronda hídrica de la quebrada Espinal

Fuente: elaboración propia.

ción de problemas se clasificaron de acuerdo con: 1) magnitud: cuántos miembros se ven afectados por el problema, 2) gravedad: este aspecto determina cuánto daño puede y va a causar a la comunidad de estudio, 3) capacidad: se refiere a la posibilidad de dar solución al problema, y finalmente 4) beneficio: consiste en evaluar cuántos pueden beneficiarse de dar una solución correcta.

Como resultado de la calificación de la matriz de priorización se elaboró la Tabla 6, en la cual se identificó que el problema más crítico encontrado es la falta de charlas, visitas y capacitaciones para la población de estudio, seguido de los problemas de interés urgente, como la baja cobertura y el acceso a los servicios de alcantarillado en la zona y la falta de acciones de gestión por parte del EAAA de El Espinal para la conservación y protección de la quebrada Espinal. Así mismo, la urgente remoción de escombros, residuos de construcción, madera, árboles y otros

desechos en el cuerpo de agua; así como la presencia de vectores, plagas o roedores en el área de estudio fue destacada como poco urgente y, finalmente, la falta de jornadas de limpieza y reforestación en la ronda de agua de la quebrada Espinal fue considerada como poco urgente, como se muestra en la Tabla 6, en orden de priorización para solucionar estas problemáticas.

A partir de los resultados anteriores, se plantearon los siguientes programas de acuerdo con su prioridad:

- Programa de educación ambiental.
- Programa conexión a la red de alcantarillado.
- Programa de gestión y manejo de vertimientos.
- Programa de embellecimiento de la microcuenca quebrada Espinal.
- Programa de monitoreo y seguimiento.

Cada programa cuenta con una ficha técnica, así como con una matriz de planificación adaptada de la guía metodológica para la elaboración del PSMV, en la que se establecen las metas, indicadores, actividades, responsables y aliados para desarrollar cada programa y un cronograma de actividades, con el fin de realizar un monitoreo y seguimiento continuo, así como una correcta ejecución.

Conclusiones

A través de la realización de este estudio, se evidenció la poca conciencia ambiental de los habitantes que viven en las cercanías la quebrada Espinal, ya que la mayoría de ellos desechan en esta fuente de agua sus aguas residuales domésticas y comerciales sin tratamiento, producto de sus actividades cotidianas, sin mostrar preocupación por los efectos que las aguas residuales pueden tener en los cuerpos de agua. Esta problemática se atribuye principalmente a los escasos recursos e ingresos de estas comunidades y a su desconocimiento de las cuestiones medioambientales e incluso a su indiferencia hacia la conservación y preservación de las fuentes hídricas.

Por otra parte, se encontraron deficiencias relacionadas con la operación de la EAAA de El Espinal E. S. P., las cuales fueron: malos olores, vectores y desbordamientos en los pozos de inspección por la baja cobertura del servicio de alcantarillado. Por otro lado,

es importante destacar la ausencia de programas de gestión institucional por parte de las autoridades locales, como la educación ambiental para informar a la población sobre la situación actual que se está produciendo tras la contaminación de la quebrada.

Finalmente, se concluyó a través de este estudio que gran parte de la comunidad reconoce la necesidad y prioridad de realizar acciones oportunas para la gestión integrada de la quebrada Espinal, tales como: programas de mejoramiento encaminados a realizar jornadas de limpieza, reforestación e incluso aplicación de multas para mejorar el aspecto paisajístico de la quebrada Espinal y, en consecuencia, sus condiciones actuales, junto con actividades de monitoreo y seguimiento por parte de entidades comprometidas con el cuidado y preservación del medioambiente.

Referencias

- [1] Torres P, Hernan C, Patiño P. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Rev Ing Univ Medellín. 2009;2018-Janua(13): 79-93.
- [2] Vargas AKN, Calderón J, Velásquez D, Castro M, Núñez DA. Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. Ingeniare Revista chilena de ingeniería. 2020 Jun; 28(2): 315-22.
- [3] Orjuela ER. Promoción de prácticas de uso y manejo sostenible de la quebrada espinal con la comunidad de la ronda poblada mediante un

plan de educación ambiental en el municipio de el espinal (Tolima). Vol. 1. Universidad del Tolima; 2018.

[4] Rosete Vergés FA, Fuentes Junco J de J. Aportes de la planeación territorial en Hispanoamérica. Estudios de caso desde diferentes perspectivas. [Internet]. www.librosoa.unam.mx. Universidad Nacional Autónoma de México; 2018 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/2288>

[5] Chalarca Rodríguez D, Mejía Ruiz R, Aguirre Ramírez N. Approach to the determination of the impact of the wastewater unloads of the municipality of Ayapel, on the wetland waterquality. *Rev Fac Ing Univ Antioquia*. 2007;(40):41–58.

[6] Pacheco A. Seguimiento a las metas individuales del plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) de Pailitas, Cesar. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; 2012.

[7] Campo Vera Y, et al. Evaluación preliminar del efecto del quitosano y cascara de naranja en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Rev UDCA Actual Divulg Científica*. 2018; 21(2): 565–72.

[8] Dourojeanni A. La gestión del agua y las cuencas en América Latina. *Rev la CEPAL*. 1994; 1994(53): 111–27.

[9] Romero A. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Colombia: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito; 2004.

[10] Alberto C. Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Medellín, Colombia: Universidad De Medellín; 2011.

[11] Andrade AB, Cuenca-Nevárez GJ. Application of Cocoa Mucilage (*Theobroma Cacao*) In the Treatment of Wastewater from the Production of Cassava Starch (*Manihot Esculenta*).

Annals of the Romanian Society for Cell Biology [Internet]. 2021 Oct 30 [cited 2022 Jan 19]; 25(7): 1220–35. Available from: <https://www.annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/10376>

[12] Maleh Mutter G. Utilization of rice husk in the sorption of eutrophication nitrogen and producing a useful organic fertilizer for plant production. *Journal of Engineering and Sustainable Development* [Internet]. 2018 Jan 1 [cited 2021 Mar 30]; 2018(01): 65–76. Available from: http://www.jeasd.org/images/2018edition/issue_1/6.pdf

[13] Oliveira M, Machado AV, Nogueira R. Phosphorus Removal from Eutrophic Waters with an Aluminium Hybrid Nanocomposite. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2012 Jun 27; 223(8): 4831–40.

[14] Castro Garzón H, Torres Flórez D, Gallardo Lichaa NJ. Análisis de la intervención antrópica en cuerpos de agua: caso caño Banderas, en el municipio Puerto López (Meta, Colombia). *Tecnura*. 2020 Jul 1; 24(65): 77–84.

[15] Evaluation of low-cost alternatives for water purification in the stilt house villages of Santa Marta's Ciénaga Grande. *Heliyon* [Internet]. 2020 Jan 1 [cited 2021 Jan 30]; 6(1): e03062. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019367210>

[16] Narvárez S, Gómez M, Acosta J. Coliformes Termotolerantes En Aguas De Las Poblaciones Costeras Y Palafíticas De La Ciénaga Grande De Santa Marta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* [Internet]. 2008 [cited 2022 Jan 20]; 13(3): 113–21. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028004009>

[17] Plata ÁM, Vega DI. Percepción local del estado ambiental en la cuenca baja del río Manzanares. *Revista Luna Azul (On Line)* [Internet]. 2016 Feb 9 [cited 2022 Jan 20]; (42): 235–55.

Available from: <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1617>

[18] Hernandez-Alvarez U, Pinedo-Hernandez J, Paternina-Uribe R, Marrugo-Negrete JL. Evaluación de calidad del agua en la Quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 2021 Feb 17; 24(1).

[19] Arias Espana VA, Rodriguez Pinilla AR, Bardos P, Naidu R. Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. *Sci Total Environ* [Internet]. 2018 Mar; 618: 199–209. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.245>

Figura S1. Encuesta



ENCUESTA

Diagnóstico del manejo de vertimientos de aguas residuales de la población urbana circundante a la Quebrada Espinal



Fecha:

Nombre suscriptor y/o usuario:

Código:

Dirección:

A. INFORMACIÓN RELACIONADA CON LA VIVIENDA

❖ Tenencia de la vivienda

<input type="checkbox"/> Propia	<input type="checkbox"/> Arrendada	<input type="checkbox"/> Familiar
<input type="checkbox"/> Invasión	<input type="checkbox"/> Otro	¿Cuál?

❖ Número de familias por vivienda

<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> >3	¿Cuántas?
----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------

❖ Actividad económica del cabeza de hogar

<input type="checkbox"/> Empleado	<input type="checkbox"/> Desempleado	<input type="checkbox"/> Ama de casa	<input type="checkbox"/> Trabajador informal	<input type="checkbox"/> Independiente	<input type="checkbox"/> Pensionado
-----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--	--	-------------------------------------

❖ Hace cuanto vive en la ribera de la Quebrada Espinal

<input type="checkbox"/> 1 a 2 años	<input type="checkbox"/> 3 a 6 años	<input type="checkbox"/> 7 a 9 años	<input type="checkbox"/> > 10 años
-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

❖ Número de personas por vivienda

<input type="checkbox"/> 1 a 3	<input type="checkbox"/> 4 a 6	<input type="checkbox"/> >6
--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------

❖ Responsable de cabeza de hogar

<input type="checkbox"/> Hombre	<input type="checkbox"/> Mujer
---------------------------------	--------------------------------

B. INFORMACIÓN RELACIONADA CON EL VERTIMIENTO

1. Tipo de actividad que se realiza en la vivienda

<input type="checkbox"/> Domestica	<input type="checkbox"/> Agrícola	<input type="checkbox"/> Industrial
<input type="checkbox"/> Comercial	<input type="checkbox"/> Otro	Cual:

2. ¿Su vivienda se encuentra conectada a la red de alcantarillado?

<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> No sabe
-----------------------------	-----------------------------	----------------------------------

3. ¿Cómo califica el servicio de alcantarillado que presta la EAAA del Espinal E.S.P?

<input type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> Bueno	<input type="checkbox"/> Regular
<input type="checkbox"/> Aceptable	<input type="checkbox"/> Malo	<input type="checkbox"/> No aplica

4. ¿Cuál de los siguientes inconvenientes ha identificado en la red de alcantarillado?

<input type="checkbox"/> Malos olores	<input type="checkbox"/> Vectores	<input type="checkbox"/> Rebose en los pozos
<input type="checkbox"/> Otro	Cual:	

5. ¿Qué destino tienen las aguas servidas o residuales de su hogar?

<input type="checkbox"/> Alcantarillado	<input type="checkbox"/> Pozo séptico	<input type="checkbox"/> Letrina
<input type="checkbox"/> Quebrada	<input type="checkbox"/> Otro	Cual:

6. ¿Cuenta usted con permiso de vertimientos de aguas residuales?

<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
-----------------------------	-----------------------------

7. ¿Cuál es el motivo por el cual usted cree que se vierten las aguas residuales a la Quebrada Espinal?

<input type="checkbox"/> Sin cobertura y acceso al servicio	<input type="checkbox"/> Bajos recursos e ingresos	<input type="checkbox"/> Taponamiento continuo de la red
<input type="checkbox"/> Indiferencia al tema	<input type="checkbox"/> Desconocimiento	<input type="checkbox"/> Otro
¿Cuál?		

8. ¿Considera usted que le ha traído problemas de: salud, sanitarios, riesgos naturales, etc. por la ubicación de su vivienda sobre la ribera de la Quebrada Espinal?

<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	Cual:
-----------------------------	-----------------------------	-------

9. ¿Cuál de las siguientes fuentes usted ha percibido que contamine y afecte a la Quebrada?

<input type="checkbox"/> Descarga casas	<input type="checkbox"/> Descarga EAAA	<input type="checkbox"/> Descarga Empresas
<input type="checkbox"/> Descarga cultivos	<input type="checkbox"/> Otro	Cual:

10. ¿Ha realizado usted algún tipo de trabajo para la protección de la quebrada o ha sido testigo de alguno?

<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	Cual:
-----------------------------	-----------------------------	-------

11. ¿Considera usted que durante los últimos años, la EAAA del Espinal ha hecho esfuerzos para mejorar su gestión en el cuidado y conservación de la Quebrada Espinal?

<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> No sabe
-----------------------------	-----------------------------	----------------------------------

12. ¿Ha recibido usted alguna charla/visita/capacitación sobre el cuidado, protección y conservación del Recurso hídrico?

<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	Entidad: Año:
-----------------------------	-----------------------------	------------------

13. ¿Qué acciones considera usted que se deben implementar para mejorar las condiciones actuales de la Quebrada Espinal?

<input type="checkbox"/> Ampliación de cobertura	<input type="checkbox"/> Charlas y capacitación	<input type="checkbox"/> Aplicación de multas
<input type="checkbox"/> Reforestación	<input type="checkbox"/> Visitas de seguimiento	<input type="checkbox"/> Jornadas de limpieza
<input type="checkbox"/> Reubicación de viviendas	<input type="checkbox"/> Campañas educativas	<input type="checkbox"/> Otro
¿Cuál?		

Figura S2. Formato registro observación directa



FORMATO REGISTRO OBSERVACIÓN DIRECTA
Diagnóstico del manejo de vertimientos de aguas residuales de la población urbana circundante a la Quebrada Espinal



1. INFORMACIÓN GENERAL

Fecha:

Nombre suscriptor y/o usuario:

Código:

Dirección:

Este formato tiene como finalidad servir de apoyo para tomar información relacionada a las condiciones de infraestructura de la vivienda y principales impactos o problemáticas presentes en el tramo o trayecto de la quebrada al cual la vivienda inspeccionada realiza el vertimiento.

2. OBSERVACIÓN DIRECTA

De acuerdo a las observaciones se califica la percepción directa de la vivienda y de los principales impactos o problemas encontrados en la quebrada, relacionada a las siguientes condiciones:

EVALUACIÓN DE ASPECTOS: Siendo 4 (Excelente), 3(Buena), 2(Regular), 1(Malo)

ASPECTO A EVALUAR	(4)	(3)	(2)	(1)	TOTAL
Infraestructura de la vivienda					
Material de las paredes					
Material del techo					
Material del piso					
Servicios básicos					
Energía					
Acueducto					
Alcantarillado					
Aseo					
Gas					
Internet, Tv cable					
Saneamiento básico					
Manejo de residuos sólidos					
TOTAL					

PRINCIPALES IMPACTOS Y/O PROBLEMAS	SI	NO
Presencia de vectores, plagas y/o roedores		
Contaminación por presencia de malos olores		
Contaminación del cuerpo de agua y/o tramo (Aspectos: Color, olor)		
Presencia de escombros, residuos construcción, madera, etc. en el cuerpo de agua		

OTROS IMPACTOS O PROBLEMAS OBSERVADOS

ARTÍCULO ORIGINAL

Efecto del producto biofertmex (*Glomus sp*) en el desarrollo y producción de un cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea*) en Zipaquirá, Cundinamarca

Effect of the biofertmex product (*Glomus sp*) on the development and production of a spinach crop (*Spinacia oleracea*) in Zipaquirá, Cundinamarca

Deisy Katherine Fonseca¹  Carlos Alberto Calderón Ricardo¹ 

¹ Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias agropecuarias. Universidad de Cundinamarca, sede Facatativá.

Recibido: 04/09/2021

Aceptado: 22/12/2021

Como citar este artículo:

Fonseca D.K., Calderón-Ricardo C. A. (2021). Efecto del producto biofertmex (*Glomus sp*) en el desarrollo y producción de un cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea*) en Zipaquirá, Cundinamarca. Revista Ciencias Agropecuarias 7(2): 45-58

Resumen

La espinaca (*Spinacia oleracea*) es un cultivo con un ciclo aproximado de 55 a 75 días, forma un sistema aéreo (hojas y tallo), que es utilizado dentro de la cadena de comercialización para diferentes usos. Sin embargo, en algunos casos esta producción disminuye debido a factores como el tipo de suelo, programas de fertilización mal planificados, ataques de plagas y enfermedades, problemas hídricos, principalmente deficiencia o mala calidad del agua, debido a parámetros como el pH y la dureza, entre otros.

Por ello, es importante generar en la planta una estimulación que le permita principalmente una elongación en el sistema radicular y pueda absorber más nutrientes y así mejorar el área foliar, lo que conlleva un mayor número de hojas y, por tanto, un aumento del peso del producto final. En este sentido, el objetivo del artículo es presentar los resultados de la evaluación de la aplicación del hongo micorrizógeno en presentación comercial (Biofertmex), tomando como variables el desarrollo vegetativo (número, longitud de hojas y raíz), y los rendimientos

en la producción. Se establecieron tres tratamientos: testigo con 0,0 metros de micelio, 3 Lt/Ha: 9.900 metros de micelio (*Glomus sp*), 4 Lt/Ha con 13.200 metros de hongo. La aplicación de 4 Lt/Ha mostró los mejores resultados y aumentó el rendimiento de las plantas tratadas.

Palabras clave: desarrollo, hortaliza, peso, producción, producto.

Abstract

Spinach (*Spinacia oleracea*) is a crop with a cycle of approximately 55 to 75 days, it forms an aerial system (leaves and stem), which is used within the commercialization chain for different uses; however, in some cases this production decreases due to factors such as soil type, poorly planned fertilization programs, pest and disease attacks, water problems, among others. For this reason, it is important to stimulate the plant to elongate the root system so that it can take in more nutrients and thus improve the leaf area, which leads to a greater number of leaves and therefore an increase in the weight of the final product.

In this sense, the purpose of the article is to present the results of the evaluation of the application of mycorrhizal fungus in commercial presentation (Biofertmex), having as variables the vegetative development (number, length of leaves, and root), production yields. Three treatments were established: control with 0.0 meters of mycelium, 3Lt/Ha: 9900 meters of mycelium of (*Glomus sp*), 4Lt/Ha with 13200 meters of fungus. The application of 4Lt/Ha showed the best results and increased the yield of the treated plants.

Keywords: development, vegetable, weight, production, product.

Introducción

El cultivo de la espinaca (*Spinacia oleracea*) aporta beneficios al sector primario de la economía colombiana, generando ingresos principalmente para los pequeños y medianos productores; además, se ha convertido en una de las alternativas de empleo para los habitantes de las zonas donde se realiza este cultivo.

En Colombia, los departamentos productores son: Antioquia, Norte de Santander y Cundinamarca principalmente, que para el año 2013, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, este último departamento contaba con 330 hectáreas sembradas y una producción de 7.074 toneladas, por lo que es importante implementar técnicas que permitan aumentar las cifras mencionadas y fomentar el establecimiento de cultivos de alto rendimiento.

Esta hortaliza requiere suelos con buen drenaje, aireación, porosidad y retención de humedad, ya que estos factores garantizan a la planta un óptimo desarrollo y crecimiento dentro del tiempo de producción, logrando los rendimientos establecidos para el cultivo [1]. Por otra parte, los suelos con texturas arcillosas impiden que las raíces tengan una elongación óptima, provocando una disminución longitudinal y limitando la captura de elementos inmóviles en el suelo, como el fósforo, que interviene en los procesos metabólicos de la planta para que pueda realizar todas sus funciones [1].

Lo anterior permite brindar apoyo a los productores en las diferentes zonas donde se siembra este producto, reduciendo así las importaciones y desarrollando estrategias para aumentar la producción.

Por otra parte, Biofertmex es un bioinsumo de uso agrícola tipo inoculante biológico a base de hongos micorrizogenos con el ingrediente activo micelio externo de MVA (*Glomus sp*) 3.300 metros/Lt y los ingredientes aditivos agua y arcilla; aumenta el sistema radicular y lo protege contra algunas enfermedades fúngicas. Su acción aumenta el rendimiento de los cultivos. También reduce el costo de adición de fertilizantes de síntesis química. Finalmente, aumenta la absorción de agua por el sistema radicular y mejora la absorción de nutrientes en el suelo como K, P, N, Cu, Zn, B, entre otros [13].

En este sentido, el objetivo de este artículo es documentar la evaluación de la aplicación del hongo micorriza (*Glomus sp*) en el desarrollo y producción de un cultivo de espinaca, ubicado en el municipio de Zipaquirá, departamento de Cundinamarca.

Materiales y Métodos

Diseño experimental

El cultivo de espinacas cuenta con 16.200 plantas, con un día de trasplante (plantas con 2 hojas verdaderas), sembradas a una distancia de 30 cm entre plantas, hongo micorrizógeno, biofertmex comercial, venturi y bomba de riego estacionaria.

Preparación de mezclas: T1: 10.8 CC, T2 14.4 CC de biofertmex en 10 litros de agua. El T0 no conto con aplicación de hongo micorrizógeno.

Las respectivas mezclas se aplicaron en riego directo al suelo (*drench*) utilizando un venturi y asegurando la aplicación en la base de la plántula trasplantada.

Se establecieron dos tratamientos y el testigo, dispuestos en la siguiente distribución y número de plantas: **T0** tratamiento control o testigo con 5.400 plantas, **T1** tratamiento de 3 Lt/Ha de hongo micorrizógeno biofertmex en una concentración de 9.900 metros de micelio de (*Glomus sp*) con 5.400 plantas y **T2** tratamiento de 4 Lt/Ha a una concentra-

ción de 13.200 metros de hongo micorrizógeno biofertmex con 5.400 plantas, para un total de 16.200 plantas de espinaca.

VARIABLES Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se establecieron seis parámetros para la recolección de datos. Para los parámetros 1: longitud radicular, 2: número de hojas y 3: longitud foliar, se muestrearon 30 plantas por tratamiento a los 17 días del ciclo; para el parámetro 4: longitud foliar, se tomaron 30 plantas por cada uno de los tratamientos en el momento de la cosecha; para el parámetro 5: peso fresco (muestreo destructivo), se tomaron 4 plantas por cada tratamiento y se pesaron la raíz, el tallo y las hojas por separado; y, por último, el parámetro 6: peso fresco en cosecha, se pesaron 30 plantas por tratamiento en el momento de la cosecha para pesar toda la planta. El tratamiento de los datos obtenidos en los parámetros 1, 2,

3, 4 y 5 se realizó mediante estadística descriptiva. El parámetro 6 se analizó mediante la prueba ANOVA de una línea y se correlacionó con las pruebas TUKEY y DUNNETT, con el programa minitab software statistics.

Resultados

Desarrollo radicular

Con el muestreo realizado a los 17 días después de la siembra de las plantas de espinaca (*Spinacia oleracea*), se identificó el crecimiento radicular en las plantas que comprenden los tres tratamientos establecidos (ver Figura 1); obteniendo que el tratamiento testigo (T0) presentó un promedio de 4,4 cm, seguido del tratamiento (T1) de 3 Lt/ha de biofertmex con 5,8 cm y, finalmente, el mayor crecimiento radicular se observó en las plantas del tratamiento (T2) de 4 Lt/ha de biofertmex con 6,8 cm.

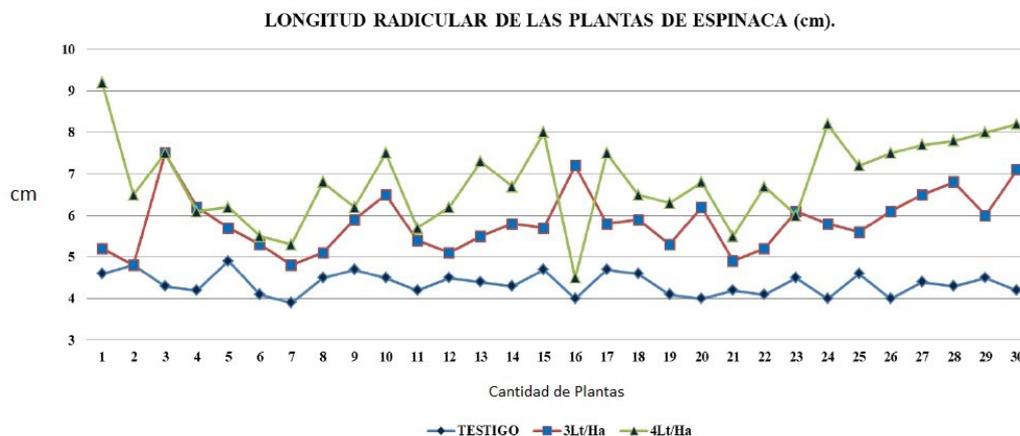


Fig. 1. Desarrollo radicular en plantas de espinaca tratadas con diferentes concentraciones de biofertmex

Fuente: Autores

Número y longitud de hojas

El número de hojas presentes en las plantas de espinaca (*Spinacia oleracea*), que conforman los tres tratamientos, se identificó con el muestreo realizado a los 17 días después de la siembra de las plantas (ver Figura 2). En este se encontró que el promedio de hojas para el tratamiento testigo (T0) es de 14, seguido del tratamiento (T1) de 3 Lt/Ha de biofertmex con 12 hojas y, finalmente, el tratamiento (T2) de 4 Lt/Ha donde las plantas desarrollaron la menor cantidad de hojas con un promedio de 10.

En el muestreo realizado al momento de la cosecha, la variable (número de hojas) presentó diferencias en sus promedios a los 17 días, debido a que la planta de espinaca en su fase fenológica realiza el desarrollo de la cantidad definitiva de hojas en los primeros 7 y 15 días, para luego hacer elongación de estas y generar la altura esperada entre los 40 y 55 días [2].

En los datos obtenidos para la variable longitud foliar durante el primer muestreo (17 días después de sembrar las plantas), se obtuvo que el tratamiento que presentó mayor longitud fue el de 4 Lt/Ha con un promedio de 15,2 cm, seguido por el de 3 Lt/Ha con 14,4 cm y finalizando con el tratamiento testigo con 14 cm. Esto permite sugerir que la dosis de 4 Lt/Ha permitió a las plantas una mayor elongación foliar en comparación con

las que no presentaron la aplicación del micelio del hongo (ver Figura 3).

De igual forma, en el muestreo realizado en la cosecha, se obtuvo un comportamiento similar de los datos, en el que el tratamiento 4 Lt/Ha obtuvo la mayor longitud con 30,6 cm, seguido del tratamiento 3 Lt/Ha con un promedio de 28,1 cm y finalizando con el tratamiento testigo en el que las plantas presentaron una altura de 27 cm (ver Figuras 4 y 5).

Aunque las diferencias encontradas no son significativas, hay que tener en cuenta que se trataba de la primera aplicación del producto y, sin embargo, se encontraron resultados positivos en el crecimiento de las plantas y en el desarrollo foliar en los tratamientos con biofertmex.

Peso fresco al momento de cosechar

El muestreo destructivo en el momento de la cosecha de las plantas tuvo en cuenta las dos presentaciones de comercialización.

Presentación tierna

Los datos obtenidos muestran que los mayores pesos correspondieron al tratamiento 4 Lt/Ha; sin embargo, es importante destacar el aumento de peso en comparación con las plantas no tratadas (3 g), lo que confirma que las micorrizas tuvieron realmente un efecto sobre el desarrollo y el crecimiento de las plantas (ver Figura 6 y Tabla 1).

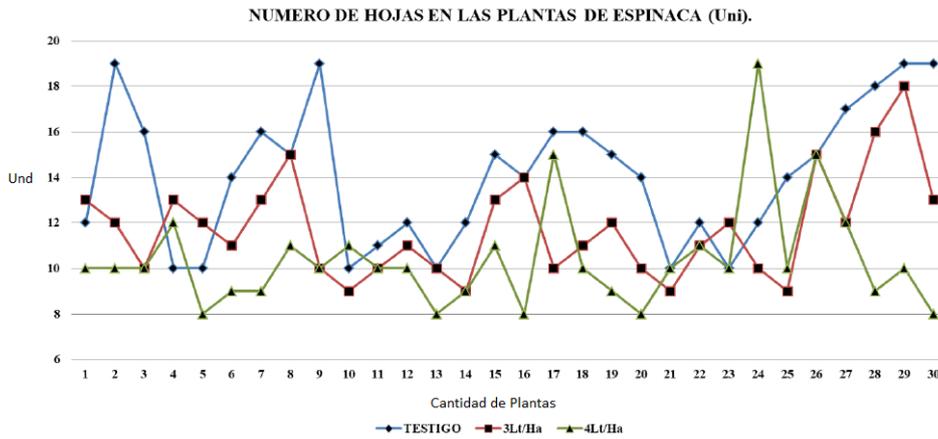


Fig. 2. Número de hojas en las plantas de espinaca con diferentes concentraciones de biofertmex
Fuente: Autores

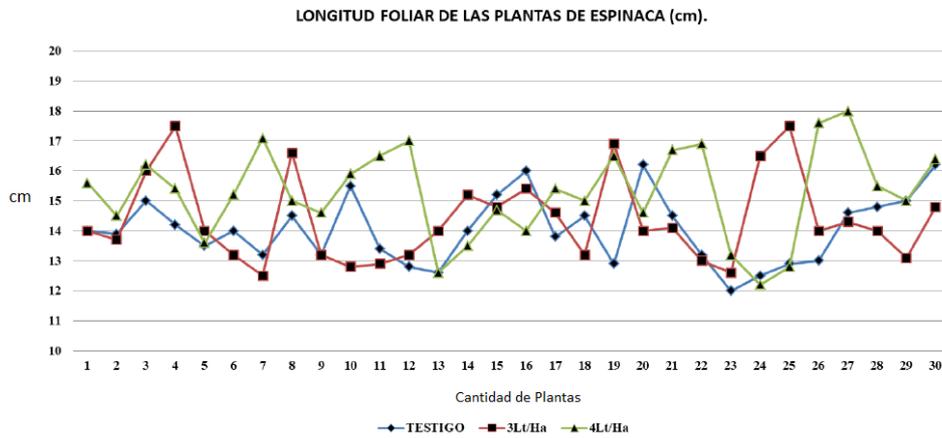


Fig. 3. Longitud foliar de las plantas de espinaca a los 17 días de sembradas con diferentes concentraciones de biofertmex
Fuente: Autores

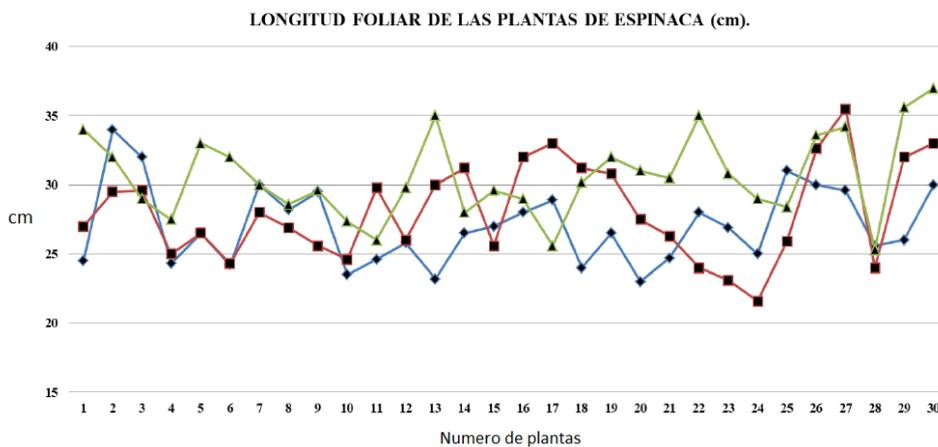


Fig. 4. Longitud foliar de las plantas de espinaca al momento de la cosecha con diferentes concentraciones de biofertmex
Fuente: Autores

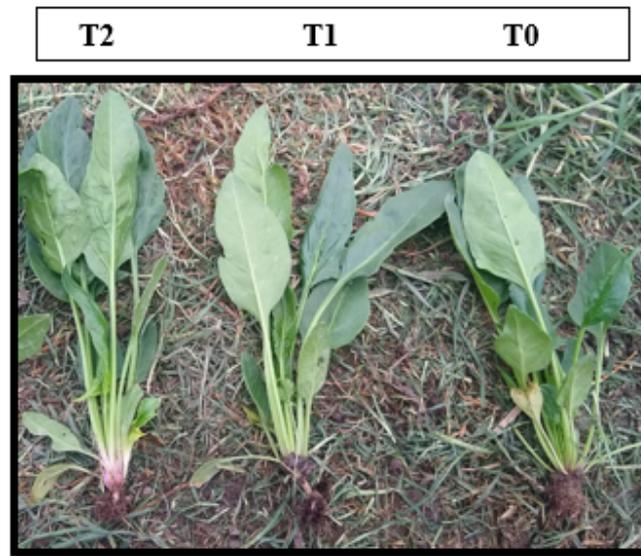


Fig. 5. Diferencias en longitud foliar en las plantas de los tratamientos
Fuente: Autores

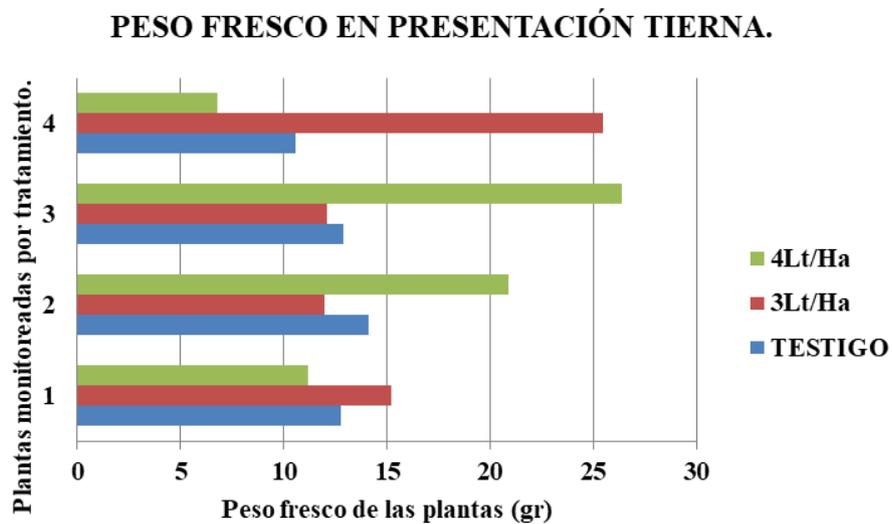


Fig. 6. Peso plantas muestreadas en presentación de comercialización tierna
Fuente: Autores

Tabla 1.

Pesos frescos en presentación tierna

Tratamiento	Peso fresco en presentación tierna (gr).				Promedio
TESTIGO (T0)	12,8	14,1	12,9	10,6	12,6
3Lt/Ha (T1)	15,2	12	12,1	25,5	16,2
4Lt/Ha (T2)	11,2	20,9	26,4	6,8	16,3

Fuente: Autores

Presentación bogotana

Las mismas cuatro plantas muestreadas anteriormente fueron utilizadas para tomar el peso fresco en la presentación bogotana; en

la que se encontraron diferencias de 7 g en el aumento de peso en el tratamiento 4 Lt/ Ha frente al tratamiento testigo (Ver Figura 7 y Tabla 2).

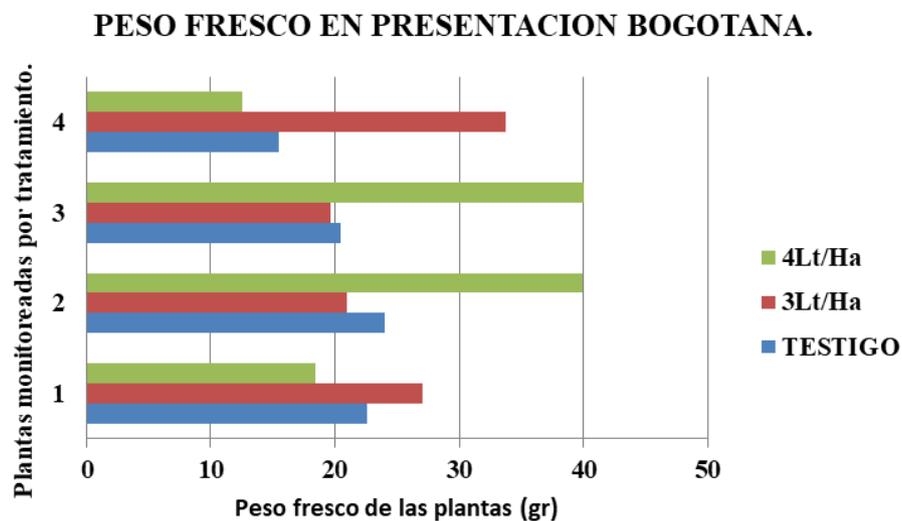


Fig. 7. Peso plantas muestreadas en presentación bogotana

Fuente: Autores

Tabla 2.

Pesos frescos en presentación bogotana

Tratamiento	Peso fresco en presentación bogotana (g)				Promedio
TESTIGO (T0)	22,6	24	20,5	15,5	20,7
3 Lt/Ha (T1)	27,1	21	19,6	33,8	25,4
4 Lt/Ha (T2)	18,4	39,9	40	12,5	27,7

Fuente: Autores

Tabla 3.

Prueba ANOVA con los datos del peso fresco en presentación bogotana.

ANOVA PESO Vs TRATAMIENTOS			
Variable	CM *	F**	p***
Tratamientos	806,60	13,37	0,0003

*Cuadrados Medios

**Valor F

***Diferencia significativa (p<0,05).

Fuente: Autores

Tabla 4.

Resultados prueba de Tukey y Dunnett

Tratamientos	Medias Tukey	Medias Dunnett
T0 (Testigo o control)	18.60 b**	18.60 A***
T1 (3Lt/Ha de biofertmex)	24,91 a*	24,91
T2 (4Lt/Ha de biofertmex)	28,89 a*	28,89

*Agrupación a de las medias

**Agrupación b de las medias

***Agrupación

Fuente: Autores

Sin embargo, para identificar que efectivamente hay diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó una prueba ANOVA con los datos de peso fresco de los tres tratamientos en presentación bogotana (ver Tabla 3).

Los resultados muestran que existe una diferencia entre los tres tratamientos establecidos ($p < 0,0003^*$), por lo que se realizan dos pruebas estadísticas *post test* (prueba de Tukey y Dunnett) (ver Tabla 4).

Discusión

Desarrollo radicular

El tratamiento (**T3**) de 4 Lt/Ha de biofertmex favoreció el aumento longitudinal de las raíces de la planta, es decir, a mayor dosis, mejores resultados en el crecimiento y desarrollo de este órgano; también es notable la diferencia que se presentó en relación al tratamiento testigo, lo que permite destacar la actividad desarrollada por las micorrizas en la elongación de este sistema radicular.

Además [3] afirma que cuando las plantas alcanzan un crecimiento y desarrollo ideal de las raíces, se lleva a cabo el transporte y la producción de hormonas vegetales como las citoquininas, responsables de favorecer la división, la diferenciación celular y el crecimiento de las raíces y los brotes, y el ácido abscísico, que permite a la planta adaptarse a las condiciones de escasez de agua (ver Figura 8).



Fig. 8. Crecimiento y desarrollo de las raíces de los tres tratamientos establecidos

Fuente: Autores

Este comportamiento se debe a la asociación simbiótica que se produce entre el hongo (*Glomus sp*) y la raíz de la planta, en la que este microorganismo es el que ayuda al organismo huésped a captar los nutrientes que se encuentran en el suelo. Por ejemplo, el fósforo (P), uno de los elementos esenciales en la nutrición vegetal, es captado por las raíces de la planta y también puede ser absorbido a través de las micorrizas. Cuando este elemento es absorbido por la planta, es transportado y participa en procesos en los que se necesita energía, como la fotosíntesis, uno de los procesos vitales que permite al organismo formar fotoasimilados para obtener finalmente la producción esperada [4].

En un estudio realizado por Faggioli, Freytes y Galarza en 2009 [5], se afirma que las plantas con presencia de micorrizas absorben y acumulan más fósforo que aquellas plantas que no lo tienen, esto se debe a la inmovilidad de este elemento en el suelo y son estas raíces las que son más eficientes en el acceso, absorción y uso por parte de la planta.

Por otra parte, Valdés en 2013 [6], en su estudio sobre los aspectos ecofisiológicos de las micorrizas, explica que, en suelos intensamente cultivados, la colonización por parte de las micorrizas es mínima; asimismo, existen plantas como la cebolla y la yuca que se benefician de esta simbiosis independientemente del contenido de fósforo presente en el suelo. También es importante entender

que la respuesta a las micorrizas varía entre las diferentes plantas; sin embargo, la mayoría de ellas tienen la capacidad de formar esta asociación con los diferentes hongos y se observan mejores resultados cuando el organismo tiene raíces ramificadas en comparación con las que tienen raíces gruesas y pelos absorbentes escasos [6].

Otro de los beneficios que proporcionan las micorrizas, según Garzón en 2015 [7], es el aporte que brindan en la regeneración de aquellos microorganismos benéficos del suelo que han sido eliminados por la presión de los cultivos comerciales y el uso intensivo que se hace al suelo con las aplicaciones de plaguicidas utilizados en el manejo de los diferentes cultivos; es por ello que se adopta el uso de las micorrizas como una herramienta, buscando evitar aquellos mecanismos que afectan al suelo y al medioambiente.

En el mismo estudio [7], se evidencia la importancia de las micorrizas en el uso sostenible de los suelos amazónicos, donde se han convertido en un elemento primordial para el crecimiento de las poblaciones vegetales tanto en los agroecosistemas como en los sistemas naturales, lo que ha permitido aumentar la producción y mantener el equilibrio del ecosistema. Así mismo, para el control de fitopatógenos y la estimulación del crecimiento vegetal, puede producirse una asociación mutualista entre los diferentes hongos micorrícicos y otras especies de

hongos y bacterias, lo que genera aportes en el aumento de microorganismos del suelo con propiedades benéficas para las plantas y la implementación de una agricultura orgánica con beneficios para el medioambiente y la salud.

En estudios realizados en diferentes especies de pastos tropicales, también se obtuvieron resultados positivos en la evaluación del crecimiento, variando los resultados según la especie, el pH, la temperatura y la humedad del suelo, concluyendo que las especies *Glomus manihotis* y *Entrophospora* son las más efectivas en los pastos para la formación de esta simbiosis. Esto presenta mejores resultados cuando hay una combinación de aplicaciones de fósforo frente a aquellos suelos que tienen bajo contenido de P por la dependencia que se genera para las micorrizas [8].

Otro estudio realizado con cebolla (*Allium cepa*), en el que se establecieron 6 tratamientos (T1 micorrizas, T2 humus de lombriz, T3 micorrizas más humus de lombriz, T4 micorrizas más gallinazas, T5 micorrizas más humus de lombriz más gallinaza y T6 testigo), mostró que las micorrizas muestran efectos positivos cuando se mezclan con abonos orgánicos. Por ejemplo, en términos de crecimiento radical, los tratamientos T1, T4 y T5 mostraron los mejores resultados (11,2 cm, 11 y 12 cm, respectivamente) en comparación con el testigo que alcanzó una

longitud de 6,7 cm, igualmente, en relación con el grosor del tallo, los valores más bajos se obtuvieron en T6 (1,24 cm) respecto a T5 (2,01 cm) [9].

Número y longitud de hojas

Las micorrizas favorecen el crecimiento y el desarrollo foliar, ayudando a la toma de nutrientes, a la absorción de agua y a la fijación de nitrógeno cuando se realiza una asociación con hongos, como el *Rhizobium*, teniendo en cuenta que altas dosis de nitrógeno pueden afectar a la formación de micorrizas [6].

Otro de los efectos favorables de la relación simbiótica es la reducción de patógenos fúngicos y nematodos, permitiendo que la planta sea menos atacada por estos microorganismos que, al causar daños, pueden afectar los niveles de producción esperados [6].

En otro artículo, Pimienta, Zañudo y López, en 2009 [10], reportaron los resultados de un estudio con la especie *Agave tequilana*, realizando inoculaciones con dos cepas de hongos micorrícicos *Glomus fasciculatum* (Gf) y *Glomus intraradices* (Gi), en comparación con un tratamiento testigo. Se obtuvieron resultados positivos en las plantas tratadas con la cepa del hongo Gi, ya que, debido al aumento de la fotosíntesis, se produjo un mayor grosor en las hojas, una mayor asimilación neta de , pero no hubo diferencias en el crecimiento entre las plantas tratadas y las que no lo fueron.

Finalmente en este aspecto, en el estudio realizado por Rojas y Ortuño en el año 2006 [9] en cebolla (*Allium cepa*), donde se establecieron 6 tratamientos, otra de las variables a evaluar fue la cantidad de hojas donde la menor cantidad fue en el tratamiento T6 (testigo) con un promedio de 6 hojas por planta en comparación con el tratamiento T1 (micorrizas) donde las plantas alcanzaron un promedio de 9,5 hojas por planta; corroborando que es otro factor que se ve favorecido al utilizar estos hongos micorrízicos dentro del manejo de los cultivos.

Peso fresco al momento de cosechar

La prueba de Tukey mostró que entre T1 y T2 no hay diferencias significativas (plantas tratadas con biofertiMex) mientras que estas dos, comparadas con T0, muestran una diferencia, es decir, la aplicación de los fragmentos de micelio del hongo *Glomus sp* generó un aumento en el crecimiento y desarrollo de las plantas y, por ende, se obtuvo un aumento en el peso de estas.

Así mismo, la prueba Dunnett muestra que existen diferencias entre el tratamiento control o testigo y el resto de los tratamientos establecidos. Como se ha mencionado anteriormente, el peso alcanzado por las plantas se debe a los efectos positivos causados por las micorrizas dentro del ciclo de un determinado cultivo.

En las investigaciones realizadas con estos hongos en mezcla de abonos orgánicos, también se obtuvieron resultados favorables. Por ejemplo, en el estudio realizado por Rojas y Ortuño, en 2006 [9], en cebolla (*Allium cepa*), se evaluó la calidad de los bulbos (ancho del bulbo en cm), obteniendo que el mejor tratamiento fue el T5 (micorrizas, más humus de lombriz, más gallinaza) con 4,7 cm, frente al tratamiento testigo de 3,6 cm. Así mismo, los mayores rendimientos en el momento de la cosecha se obtuvieron con este mismo tratamiento (102 ton/Ha), T1 (micorrizas) un rendimiento de 69,9 ton/Ha y finalmente el testigo 53,9 ton/Ha.

Un estudio realizado en hortalizas (perejil, cilantro y pimiento) mostró resultados positivos, en este se realizaron inoculaciones con hongos del género *Glomus sp*. En algunas plantas la colonización fue más rápida que en otras; por ejemplo, en el perejil fue más temprana que en el cilantro. Los resultados mostraron que en los tres cultivares, el rendimiento aumentó en las plantas tratadas con estos hongos en comparación con el testigo; las plantas de pimiento también se beneficiaron en el momento del trasplante, es decir, no hubo estrés debido a la longitud radicular y a la fácil adaptación que estas plantas pudieron hacer al nuevo medio [11].

Otro estudio relacionado con la investigación realizada fue desarrollado por Díaz, Alvarado, Ortiz y Grageda en 2013 [12], en el

que se evaluó la calidad de los frutos obtenidos de plantas de pimiento en el invernadero con la aplicación de micorrizas, lo que permitió un incremento de 8 mm de longitud, 8,9 mm de diámetro y 40 g de peso del fruto en comparación con el testigo. Las plantas inoculadas alcanzaron el grado 1, mientras que las no inoculadas alcanzaron el grado 2, esto se debe a la mejora de las condiciones nutricionales creadas por la propia simbiosis, mejorando la absorción de elementos como nitrógeno, fósforo, hierro, etc.

Por lo anterior, se afirma el beneficio óptimo que ofrece el uso de los hongos micorrízicos dentro del plan de manejo de un cultivo en particular (para este caso la espinaca). Así mismo, los rápidos resultados que se obtienen en los rendimientos por ser el único insumo agrícola en suspensión líquida que existe, además, el costo monetario en el mercado, permite adquirirlo fácilmente considerando que la dosis mínima recomendada es de 1 Lt/Ha [13].

Conclusiones

Se identificó un aumento en la longitud radicular de las plantas de espinaca (*Spinacia oleracea*) (2 cm comparando el tratamiento T0 con el tratamiento T2). Esto nos permite concluir la importancia de la simbiosis generada entre el hongo *Glomus sp* y la raíz de la planta, permitiendo a estas una mayor elongación para la absorción de nutrientes que la planta individual no puede absorber eficientemente, además de favorecer procesos como la resistencia a patógenos presentes en el suelo y, finalmente, la importancia de crear una relación con otros microorganismos que permitan el control biológico, la fijación de nitrógeno, etc.

El número de hojas resultó ser una variable con resultados poco significativos, mientras que el tamaño del área foliar mostró una mayor altura en las plantas T2, lo que permite conocer la importancia de suministrar a la planta estimulantes que mejoren su capacidad fotosintética, lo que conlleva un aumento de la masa de este órgano y a una mayor concentración de fotoasimilados, que finalmente se evidencia en el momento de la cosecha.

Con el diseño estadístico implementado, se conocieron las diferencias de peso de las plantas tratadas con biofertmex, en comparación con las que no lo fueron; afirmando la eficiencia de esta aplicación dentro del crecimiento y desarrollo del cultivo, ya que se obtuvo una ganancia de peso de 10 g. Por lo tanto, se garantiza el logro de resultados positivos de este producto agrícola dentro del cultivo de espinaca; además, la importancia de comenzar a utilizar productos agrícolas orgánicos para evitar principalmente impactos ambientales, tomando en cuenta que existe la posibilidad de incrementar el rendimiento de las plantas sin el uso de insumos químicos.

Referencias

- [1] Melgarejo Choque CA. Efecto del nivel de salinidad del agua de riego en el crecimiento del cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) en suelo arenoso [Internet]. [Perú]: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2018. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3609/melgarejo-choque-carolay-an-tuanett.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] Cámara de Comercio Bogotá. Manuel Espinaca [Internet]. Bogotá; 2015. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11520/14310>
- [3] INTAGRI. Fosforo y calcio en el crecimiento de la raíz. Artículos Técnicos de INTAGRI [Internet]. 2017;104. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/fosforo-y-calcio-en-el-crecimiento-de-la-raiz>
- [4] Potash & Phosphate Institute. Funciones del fosforo en las plantas. Inf Agron N° 36. 1999;
- [5] Faggioli V, Freytes G, Galarza C. Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo. INTA Estac Exp Agropecu Marcos Juárez. 2009; 7.
- [6] Valdes M. Aspectos ecofisiológicos de las micorrizas. Bot Sci. 10 de abril de 2017; (49): 19.
- [7] Garzón LP. Importancia de las micorrizas arbusculares (ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. Luna Azul. 14 de diciembre de 2015; (42): 217-34.
- [8] Noda Y. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. Pastos Forrajes [Internet]. 2009; 32(2). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000200001
- [9] Rojas Rodríguez K, Ortuño N. Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. Acta Nova [Internet]. 2007; 3(4). Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892007000200005
- [10] Pimienta Barrios E, Zañudo Hernández J, López Alcocer E. Efecto de las micorrizas arbusculares en el crecimiento, fotosíntesis y anatomía foliar de plantas jóvenes de Agave tequilana. Acta Botánica Mex [Internet]. 2009; (89). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512009000400005&lng=es&nr-m=iso
- [11] Rubio R, Cepeda M, Borie F, Contreras A. Efecto de hongos micorrizogenos arbusculares sobre el crecimiento de algunas hortalizas en almácigo y posterior transplante. Agric Téc. 1997; 57(3): 161-8.
- [12] Díaz A, Alvarado M, Ortiz F, Grageda O. Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. Rev Mex Cienc Agríc [Internet]. 2013; 4(2). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000200011&script=sci_arttext
- [13] Minerales Exclusivos. Biofert-mex en suspensión. Bogotá 2021. Disponible en <https://mineralesexclusivos.com/biofert-mex-suspension>

ARTÍCULO ORIGINAL

Análisis bibliométrico de la Revista de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca en el periodo 2020-2021

Bibliometric analysis of the Journal of Agricultural Sciences from University of Cundinamarca for the period 2020-2021

Jonathan Carvajal Veloza¹ 

¹ Programa de Bioquímica, Facultad de Ciencias. Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia.

* Autor de correspondencia: jcarvajal81@uan.edu.co

Recibido: 04/11/2021

Aceptado: 04/12/2021

Como citar este artículo:

Carvajal-Veloza J. (2021). Análisis bibliométrico de la Revista de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca en el periodo 2020-2021. *Revista Ciencias Agropecuarias* 7(2): 59-64

Resumen

La bibliometría es un método ampliamente utilizado para explorar el impacto de la producción científica en un campo de investigación determinado. En este caso, para la Revista Ciencias Agropecuarias (RCA) se ha realizado un estudio bibliométrico para el periodo 2020-2021 utilizando los metadatos proporcionados por Google Scholar, los registros de la base de datos de la RCA y un análisis estadístico básico. En conclusión, se observó un gran crecimiento tanto en el número de publicaciones como en las citaciones, lo que demuestra la importancia del campo de la investigación agropecuario y el impacto de la revista a través de sus citaciones.

Palabras clave: ciencias agropecuarias, publicaciones, artículos científicos, citaciones.

Abstract

Bibliometrics is a widely used method to explore the impact of scientific production in a given field of research. In this case, a bibliometric study was conducted for the Journal of

Agricultural Sciences (JAS) for the period 2020-2021 using the metadata provided by Google Scholar, the records in the JAS database, and basic statistical analysis. In conclusion, a broad growth in both the number of publications and citations was observed, evidencing the importance of the agricultural research field and the journal impact through its citations.

Keywords: agricultural sciences, publications, scientific articles, citations.

Introducción

Colombia es un país con una ubicación geográfica privilegiada y unas condiciones naturales óptimas para la producción de diversos productos agrícolas. Sin embargo, de los aproximadamente 40 millones de hectáreas de frontera agrícola que tenemos, solo se están explotando 8 millones de hectáreas, además de otros problemas relacionados con el desarrollo tecnológico, la seguridad alimentaria en las zonas rurales, entre otros [1]. Esto no solo evidencia una carencia en nuestras políticas de desarrollo agrario, sino también una oportunidad para continuar investigando el potencial agropecuario por el que nuestro país es reconocido mundialmente, con perspectivas de crecimiento en nuevos campos de investigación y avances en áreas en las que venimos trabajando, tales como: fitomejoramiento (2,3), suelos (4,5), economía y desarrollo rural (6,7), interacciones planta-patógeno (8,9), por mencionar solo algunas tendencias.

Por ello, el enfoque de la Revista Ciencias Agropecuarias (RCA), perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Uni-

versidad de Cundinamarca de Colombia, promueve la investigación hacia los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): hambre cero [2], salud y bienestar [3], agua limpia y saneamiento [6], energía asequible y no contaminante [7], acción por el clima [13] y vida de ecosistemas terrestres [15]. Estos ODS representan retos en el sector agropecuario colombiano, por lo que la RCA ha logrado un impacto nacional, abarcando temas de gran relevancia científica nacional, como los problemas ambientales [10], la contaminación del agua [11], las enfermedades relacionadas con los productos agrícolas [12], entre otros.

La bibliometría ha sido una herramienta importante en la academia para caracterizar la producción científica y su impacto en la comunidad, utilizando un conjunto de pasos sistematizados para analizar un conjunto de grandes volúmenes de metadatos relacionados con determinadas publicaciones científicas, con el fin de contribuir al conocimiento e impactar la innovación tecnológica en el ámbito colombiano [13]. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis bibliométrico de la RCA de la Universidad de Cundinamar-

ca para el periodo 2020-2021, a partir de los metadatos asociados de sus publicaciones.

Materiales y Métodos

El análisis bibliométrico se realizó a partir de los artículos científicos publicados en cada volumen de la RCA durante el periodo 2020-2021. A partir de esta información, se realizó un estudio estadístico básico para determinar los índices bibliométricos, el impacto y el número promedio de citas en el año. El análisis se realizó mediante Excel (Microsoft-Office®) con información bibliográfica obtenida de Google Scholar¹ y de la base de datos de la RCA².

Resultados y Discusión

La RCA es una revista en constante cambio, año tras año su producción ha ido aumentando el número de contribuciones científicas junto con su impacto y número de citas. Prueba de ello es el aumento del número de artículos publicados en el periodo 2020-2021, tras el análisis bibliométrico publicado anteriormente [14] como política de autoevaluación. Anteriormente, se reportó que había un promedio de unas 5 publicaciones nuevas por cada tipo de artículo, cifras que se reflejan en la Figura 1. Teniendo en cuenta lo anterior, la RCA publicó un total de 75 artículos científicos en 7 volúmenes.

De este total, 10 publicaciones son artículos de reflexión (13,3 %), 12 editoriales (16 %), 9 memorias de eventos (12 %), 10 artículos de revisión (13,3 %) y 34 artículos originales (45,3 %).

El número de citas ascendió a un total de 67, lo que supone un aumento significativo con respecto al análisis bibliométrico anterior [14]. Como se puede ver en la Figura 2, en 2020 la RCA recibió el mayor número de citas, un total de 33, y en diciembre de 2021 tiene 12 citas, lo que la convierte en el segundo año con mayor número de citas. Este número de citas representa un índice h de 5 y un índice i10 de 1 según Google Scholar (Tabla 1).

La Tabla 1 enumera en orden descendente los diez artículos con mayor número de citas en la RCA. En promedio, los artículos más citados en el periodo de este estudio aumentaron alrededor de 3 citas. Al mismo tiempo, tres de los diez artículos clasificados no estaban en el análisis del periodo anterior, por lo que en el periodo de este análisis sus citas aumentaron.

Desde la perspectiva misional de una institución del conocimiento, las revistas representan la oportunidad de difundir el conocimiento local, el desarrollo tecnológico y hacer visible la producción académica en el contexto local, nacional e internacional.

¹ Disponible en: <https://scholar.google.es/schhp?hl=es>

² Para más información, consulte: http://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Ciencias_agropecuaria

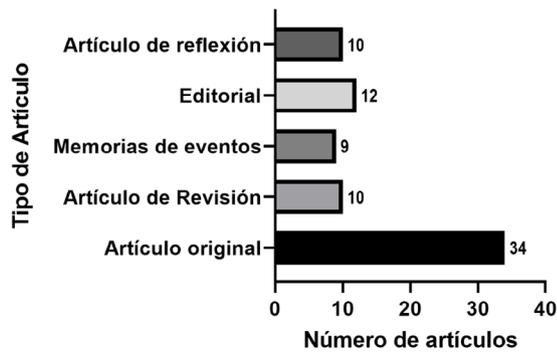


Fig. 1. Frecuencia de artículos publicados por la Revista Ciencias Agropecuarias hasta el periodo consolidado entre 2020-2021

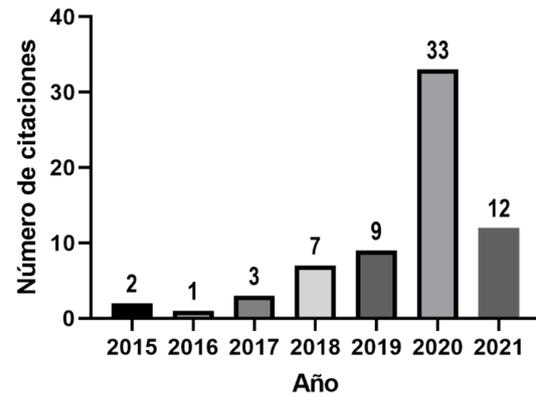


Fig. 2. Citaciones anuales de los artículos publicados en la Revista Ciencias Agropecuarias

Tabla 1.

Número de citaciones de los artículos científicos más citados de la Revista Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca

Año	Nombre del artículo	Número de citaciones	Referencias
2015	Diagnóstico de la composición florística asociada a actividades agropecuarias en el Cerro Quinini (Colombia)	16	15
2017	Alternativas nutricionales para disminuir emisiones de gas metano por bovinos y su efecto en el calentamiento global	7	16
2015	Estudio de la calidad del agua en tramos del río Paguey empleando macroinvertebrados acuáticos	6	17
2017	Compactación, una de las causas más comunes de la degradación del suelo	5	18
2019	Caracterización de enfermedades fitopatógenas en el cultivo de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) en la finca El Reposo en el municipio Facatativá, Cundinamarca	5	19
2018	Caracterización de agentes causales de enfermedades en el cultivo de mora (<i>Rubus glaucus</i>) en la finca Manantial en la vereda Sabaneta, municipio de La Vega, Cundinamarca	3	20
2015	Stability of temperature, relative humidity and dew point inside <i>Melipona eburnea</i> (Apidae: Meliponini) colonies	3	21
2019	Análisis del proceso de fragmentación de bosques: metodologías orientadas en el uso de sistemas de información geográfica y métricas del paisaje	3	22
2016	Privatización y mercantilización el agua. Reflexión acerca de un bien común	2	23
2016	Protección del conocimiento tradicional de las minorías étnicas en Colombia	2	24
Total		52	

Fuente: Elaboración propia.

Como estrategia de mejora, se recomienda para la RCA la integración de los programas de posgrado y su respectiva divulgación científica, las contribuciones originales de los estudiantes de pregrado y la invitación de autores externos que puedan generar mayor visibilidad y con proyección a la futura indexación en bases de datos nacionales e internacionales.

Referencias

- [1] Forero N, González C. Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI) en Colombia: diagnóstico y retos de política pública. *Coyuntura Económica: Investigación Económica y Social*. 50, pp.211-247. Diciembre, 2020. Disponible en: <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/4053> (Revisado 12/11/2021).
- [2] Candido WS, Santos LS, Castoldi R, Costa-Silva EH, Trevisan-Braz L. Identifying crisphead lettuce genotypes for a wider range of environments. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 2022; 23(1): e1964.
- [3] Martínez Reina AM, Tordecilla Zumaqué L, Grandett Martínez LM, Rodríguez Pinto M del V. Adopción de la variedad de berenjena C015 (*Solanum melongena* L.) en la región Caribe colombiana. *Cien. Agri*. 2020; 17(3): 1-10.
- [4] Cadena-torres J, Novoa-Yáñez RS. Martínez LMG, Santos JLC, Saibis A.A. Caracterización físico-química de los suelos dedicados al cultivo de maíz en el Valle del Sinú, Colombia. *Temas Agrarios*. 2021; 26(1): 68-79.
- [5] Casierra-Posada F, Aguilar-Avenidaño OE. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic*. 2007; 1(2): 246-57.
- [6] Martínez-Reina AM. Análisis de precios de la ahuyama Cucurbita moschata en cinco ciudades de Colombia. *Temas Agrarios*, 2021; 26(1): 58-67.
- [7] Sanabria-Gómez SA, Caro-Moreno JC. Economía política de la política agraria en Colombia: de la Ley 200 de 1936 al Acuerdo de Paz de 2016. *Entramado*. 2021; 17(1): 30-42.
- [8] Corallo Fabiano AB, Bettucci Rossi LJ, Tiscornia Córdoba SM. Selection of Trichoderma strains for biological control of *Fusarium nygamai* in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *RCIA* 2021; 8(1): 11-22.
- [9] González RL, Ramos JP, Hernández YP, Espinosa IP, González SBJ, Jiménez SLR. Use of effective microorganisms and fitomas-e® to increase the growth and quality of pepper (*Capicum annuum* L.) seedlings. *Rev Fac Nac Agron Medellin*. 2021; 74(3): 9699-706.
- [10] Castro-Garzón H, Torres-Flórez D, Gallardo-Lichaa NJ. Análisis de la intervención antrópica en cuerpos de agua: caso caño Banderas, en el municipio Puerto López (Meta, Colombia). *Tecnura*, 2020; 24(65): 77-84.
- [11] Pérez-Rodríguez C, Manjarres-Pinzón GA, Tamaris-Turizo CE. Insectos acuáticos asociados a arroyos de la Serranía de La Macuira-La Guajira, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*. 2021; 24(1): e1941.
- [12] Vaca-Vaca JC, Corredor-Saenz VC, Jara-Tejada F, Betancourt-Andrade D, Lopez-Lopez, K. Nuevos Hospederos Alternativos de Begomovirus asociados con el Cultivo de Ají en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 2019; 68(1): 56-60.
- [13] Moral-Muñoz JA, Herrera-Viedma E, Santisteban-Espejo A, Cobo MJ. Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An

up-to-date review. Profesional de la información. 2020; 29(1): e290103.

[14] Martín Culma NY. Análisis bibliométrico de la Revista Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca en el período 2015-2019. RCA. 2020;6(1):11-8.

[15] Escobar N. Diagnóstico de la composición florística asociada a actividades agropecuarias en el Cerro Quininí (Colombia). RCA. 2013; 1(1): 1-19.

[16] Martín-Culma NY, Rojas G, Arenas NE, Herrera-Franco V. Alternativas nutricionales para disminuir emisiones de gas metano por bovinos y su efecto en el calentamiento global. RCA. 2019; 3(1): 1-11.

[17] García J, Baquero S, Díaz G, Sarmiento C. Estudio de la calidad del agua en tramos del río Paguey empleando macroinvertebrados. RCA. 2013; 1(1): 1-9.

[18] Torres J, Gutiérrez JA, Beltrán HA. Compactación, Una de las causas más comunes de la degradación del suelo. RCA. 2017; (3): 18-22.

[19] Fonseca JY, Castañeda AE, Escarraga JO, Cubillos DD. Caracterización de enfermedades fitopatógenas en el cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en la finca el reposo en el municipio Facatativá, Cundinamarca. RCA. 2019; 5(1): 24-31.

[20] Hernández-Pachón DM, Ardila-Panesso SM, Díaz-Jiménez JS, Perilla-Gómez MA, Cubillos-Pedraza DC, Serrano-Sánchez JC, Quesada-Pacheco MF, Pulido-Ortiz NL. Caracterización de agentes causales de enfermedades en el cultivo de mora (*Rubus glaucus*) en la finca manantial en la vereda sabaneta, municipio de La Vega, Cundinamarca. RCA. 2018; (4): 9-17.

[21] Cabrera-Solarte VM, Sánchez A, Talero CA. Stability of temperature, relative humidity and dew point inside *Melipona eburnea* (Apidae: Meliponini) colonies. RCA. 2013; 1(1): 62-71.

[22] De Luque MA, Pérez YP, Rodríguez YA, Jiménez Rodríguez C. Análisis del proceso de fragmentación de bosques: metodologías orientadas en el uso de sistemas de información geográfica y métricas del paisaje. RCA. 2019; 5(1): 32-41.

[23] Avendaño GA. Privatización y mercantilización del agua. reflexión acerca de un bien común. RCA. 2016; 2(1): 40-43.

[24] Arenas NE, Sánchez-lozano N, Garzón M, Abril DA, Ruiz D. Protección del conocimiento tradicional de las minorías étnicas en Colombia. RCA. 2016; 2(1): 6-14.

Evaluación de la localización del relleno sanitario Nuevo Mondoñedo e identificación de sitios aptos para la disposición final de residuos en los municipios de Mosquera y Bojacá por medio de sistemas de información geográfica
Evaluation of the location of the New Mondoñedo Landfill and identification of suitable sites for the final disposal of waste in the municipalities of Mosquera and Bojacá through geographic information systems

Angie Tatiana Duarte-Casas^{1*} , Carlos Armando Parra-Montero¹ 

¹ Universidad de Cundinamarca, extensión Facatativá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, programa de Ingeniería Ambiental, Facatativá, Cundinamarca (Colombia).

* Autora de correspondencia: atduarte@ucundinamarca.edu.co

Recibido: 04/11/2021

Aceptado: 22/12/2021

Como citar este artículo:

Duarte-Casas A.T., Parra-Montero C.A. (2021). Evaluación de la localización del relleno sanitario nuevo Mondoñedo e identificación de sitios aptos para la disposición final de residuos en los municipios de Mosquera y Bojacá por medio de sistemas de información geográfica. *Revista Ciencias Agropecuarias* 7(2): 65-82

Resumen

El presente trabajo se centra en la evaluación actual del Relleno Sanitario de Nuevo Mondoñedo y en la verificación de los sitios adecuados para la ubicación de nuevos rellenos sanitarios en los municipios de Mosquera y Bojacá con la ayuda del análisis y variables cartográficas, acompañado de la normativa ambiental vigente. Para ello, se utilizaron sistemas de información geográfica y el software ArcGIS, que permitieron realizar un análisis multicriterio, seleccionando tres sitios adecuados con áreas mayores a 77 ha en los municipios de Mosquera y Bojacá. Además, se identificó que sólo el 32,05 % del área total del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo es apta para la disposición de residuos sólidos, debido a la presencia de por deslizamientos y fuertemente inclinadas.

Palabras clave: relleno sanitario, superposición ponderada, ArcGIS, SIG, análisis multicriterio.

Abstract

The present work focuses on the current evaluation of the New Mondoñedo Sanitary Landfill and the verification of suitable sites for the location of new sanitary landfills within the municipalities of Mosquera and Bojacá with the help of analysis and cartographic variables, accompanied by the application of the current environmental regulations. For this, geographic information systems and ArcGIS software were used, which allowed a multicriteria analysis to be carried out, selecting three suitable sites with areas greater than 77 hectares in the municipalities of Mosquera and Bojacá, in addition, it was possible to identify that only 32, 05% with respect to the total area of the New Mondoñedo Sanitary Landfill is suitable for the disposal of solid waste.

Keywords: sanitary landfill, weighted overlay, ArcGIS, GIS, multicriteria analysis.

Introducción

Uno de los problemas a los que está expuesto el mundo hoy en día es la producción de residuos, resultado de la evolución del consumismo y del crecimiento demográfico con sus respectivas actividades antrópicas, por lo que se producen diversos tipos de residuos que se clasifican según su composición, estado o peligrosidad. Las características, la manipulación, el tratamiento y el almacenamiento de los mismos dan lugar a la necesidad de establecer áreas y mecanismos adecuados para su disposición final que ayuden a prevenir cualquier deterioro ambiental [1]. En todo el mundo se producen más de 2.400 millones de toneladas de residuos al año y solo se aprovecha el 16 %, lo que provoca un

impacto tanto medioambiental como social [2].

En Colombia, la generación de residuos sólidos derivados de la producción, consumo y acumulación ascendió a 24,85 millones de toneladas para el año 2018, donde el 11,1 % fue reciclado [3]. Considerando lo anterior, surgió la necesidad de crear planes de manejo integral de residuos sólidos en cada departamento a través de las autoridades municipales, mediante el diseño de infraestructura o actividades que incorporen el manejo adecuado de estos residuos, para evitar problemas ambientales, sociales, económicos o culturales.

En los municipios de Bojacá y Mosquera se generaron aproximadamente 2.832 toneladas de residuos al mes para el año 2019 [4]. La disposición final de estos residuos se realiza en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, que actualmente tiene una capacidad licenciada por 8 años a partir de enero de 2019 y una operación contratada por 32 años. Este relleno sanitario cuenta con una infraestructura denominada *lagrima de acceso*, en la entrada cuenta con una báscula con capacidad de 80 toneladas que se utiliza para pesar los camiones que entran y salen del lugar. En la parte delantera, los vehículos descargan todos los residuos sólidos para luego ser repartidos en cada celda y a través de compactación reducen su volumen. También cuenta con una red de captación de biogás, al mismo tiempo que estos residuos están cubiertos con membranas de polietileno para reducir la infiltración de agua, minimizar la contaminación visual y reducir los olores emitidos. Así mismo, cuenta con una estación de recolección y tratamiento de lixiviados que son captados por tuberías.

Además, el “Plan de Manejo Ambiental tiene como objetivo principal la prevención, seguimiento y control de los impactos ambientales que puedan generar las actividades del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo S.A. E.S.P.” [5]. Según el *Diagnóstico sobre las condiciones existentes en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo localizado en Mosquera, Cundinamarca*, los vertidos de lixiviados ge-

nerados en el río Balsillas no provienen del relleno sanitario, sino de otro tipo de vertidos contaminantes a lo largo del río, y cumplen con los valores mínimos determinados por la CAR, concluyendo que la gestión de los residuos sólidos y lixiviados es adecuada [6]. Sin embargo, pueden producirse otros tipos de afectaciones, como la generación de polvo, la inestabilidad de las capas del suelo, los daños a la salud, la pérdida de suelo, la erosión, el deterioro de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, los impactos paisajísticos, las emisiones de gases, entre otros [7].

Por lo tanto, es necesario seleccionar los lugares apropiados para la disposición final de los residuos en el área de estudio y evaluar la ubicación del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo a través del SIG. Teniendo en cuenta la ubicación de cuerpos de agua, zonas urbanas y turísticas, escuelas, dirección de los vientos, amenaza de movimientos en masa y demás características mencionadas en el Decreto 838 de 2005: “Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones” [8].

Para ello, se utilizan técnicas de análisis espacial, que cuentan con un amplio conjunto de herramientas que permiten analizar eventos u objetos localizados espacial o geográficamente, estos análisis permiten evaluar los datos y relacionarlos entre sí. Estos datos

pueden representarse mediante puntos, líneas o polígonos. Un punto es una ubicación precisa que puede georreferenciarse mediante la latitud y la longitud, por otro lado, una línea son varios puntos en contacto continuo, y un polígono tiene extensión vertical y horizontal [9].

Las herramientas más utilizadas son la distancia, que permite realizar análisis de distancias, como la distancia euclidiana en línea recta; la extracción, que permite extraer un subconjunto de celdas de un ráster por sus atributos; la interpolación, que realiza predicciones a partir de las mediciones de la muestra para todas las ubicaciones de un *dataset* ráster de salida, como IDW (ponderación de distancia inversa); la superposición, que permite aplicar pesos a varias entradas y combinarlas para obtener una variable de salida; y la herramienta de reclasificación, que permite cambiar los valores de las celdas de entrada a valores específicos [10].

Materiales y Métodos

Para evaluar la localización del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo e identificar alternativas para su reubicación, se utilizó como guía el Taller de Análisis y Modelamiento Ambiental [11], el cual se basa en un análisis multicriterio desarrollado a través del software ArcGIS de geoprocésamiento, utilizando variables cartográficas de los municipios de Mosquera y Bojacá con la implementación del Decreto 838 de 2005.

Las variables cartográficas utilizadas por municipio fueron las que se observan en la Tabla 1.

Descripción del área de estudio

La identificación de los sitios óptimos se verificó en los municipios de Mosquera y Bojacá, ubicados en el departamento de Cundinamarca (Figura 1), debido a la existencia del actual relleno sanitario y a las implicaciones de trasladar todo el sitio de disposición a otros municipios.

De una parte, el municipio de Mosquera tiene una superficie de 106,2 km² y generó 2.710 toneladas mensuales de residuos para 2019. Por otra parte, el municipio de Bojacá tiene un área de 102,23 km² y generó 122 toneladas mensuales de residuos para 2019 [27].

El Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo tiene una superficie de 76 ha, de las cuales 17 corresponden al área licenciada para la disposición final de residuos sólidos. Está ubicado en la vía La Mesa - Mosquera a 4°38'44.65 "N y 74°17'8.95 "O en el municipio de Mosquera y el municipio de Bojacá. El relleno sanitario recibe 1.838 toneladas diarias de residuos de 80 municipios, entre ellos Mosquera y Bojacá, y tiene un contrato de concesión de 32 años y 5 meses con la Gobernación de Cundinamarca para disponer de los residuos de estos municipios [30].

Tabla 1.
Variables cartográficas utilizadas en el modelo

Variables	Descripción	Representación
Amenaza_alta_media	Amenazas por deslizamientos	Polígono
Escuelas	Escuelas rurales y urbanas	Punto
Cuerpos_Lenticos	Lagunas, humedales y reservorios	Polígono
CanalDren_S_1	Ríos, quebradas, canales y drenajes sencillos	Línea
CanalDren_D_1	Vallados, ríos, distrito de riego, canales y drenajes dobles	Polígono
LimiteDiss	Límite municipal de Mosquera y Bojacá	Polígono
Suelos	Cobertura del suelo	Polígono
Den_UrbaYRural	Densidad poblacional urbana y rural	Polígono
Zonasturisticas	Perímetro de zonas turísticas	Polígono
Vías	Sistema vial rural y urbano categorizado	Línea
Urbanofn2	Perímetro urbano	Polígono
Relleno_Sanitario	Perímetro del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo	Polígono
VientoSelect	Dirección del viento	Punto
Imagenclip	Imagen satelital	Ráster
Dem	Modelo digital de elevación	Ráster

Nota. Cada variable utilizada en el modelo cuenta con una breve descripción y una representación cartográfica para su identificación, en total se utilizaron aproximadamente 15 variables las cuales fueron geoprocesadas según su necesidad. Fuente: Adaptado de: Amenazas por deslizamientos (12). Escuelas rurales y urbanas (13). Lagunas, Humedales y Reservorios (14). Ríos, Quebradas, Canales y Drenajes sencillos (15). Vallados, Ríos, Distrito de riego, Canales y Drenajes dobles (16). Limite municipal de Mosquera y Bojacá (17). Cobertura del suelo (18). Densidad poblacional urbana y rural (19). Perímetro de zonas turísticas (20). Sistema vial rural y urbano categorizado (21). Perímetro urbano (22). Perímetro del relleno sanitario Nuevo Mondoñedo (23). Dirección del viento (24). Imagen satelital (25). Modelo digital de elevación (26).

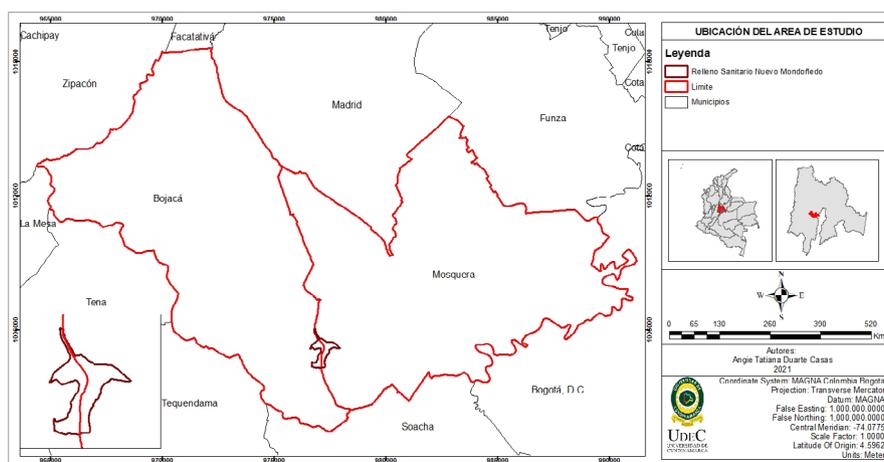


Fig. 1. Polígono de la ubicación del área de estudio (municipio de Mosquera, municipio de Bojacá y Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo)

Nota. El polígono con tonalidad roja corresponde al Municipio de Mosquera y Bojacá, y el polígono con tonalidad café corresponde al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo. Fuente: Limite municipal de Mosquera y Bojacá (28). Perímetro del relleno sanitario Nuevo Mondoñedo (29).

Desarrollo del modelo

El modelo fue desarrollado utilizando la aplicación ModelBuilder desarrollada por la compañía ESRI y que está integrada en el software ArcGIS 10.8. Este modelo realiza el geoprocetamiento de las diferentes variables cartográficas que se eligieron (Tabla 1). La reclasificación de cada variable fue de 1 a 10, siendo 1 las áreas menos aptas y 10 las áreas más aptas según las restricciones y distancias mínimas y máximas (m) contempladas en el Decreto 838 de 2005.

Cuerpos lénticos, canales y drenajes dobles y sencillos, escuelas, amenazas por deslizamientos, zonas turísticas y urbanas

El procesamiento de los cuerpos hídricos se realizó mediante las herramientas de *buffer*, *euclidean*, *distance* y *reclassify* (Figura 2). Cada *shape* tenía un campo con la distancia mínima correspondiente al tipo de fuente hídrica de la siguiente manera: ríos y cuerpos lénticos a 200 m, quebradas a 100 m, drenajes y canales a 50 m.

En la Figura 2, las escuelas, las amenazas, las zonas turísticas y las urbanas se procesaron utilizando las herramientas de *buffer*, *euclidean*, *distance* y *reclassify*. Para reclasificar cada *shape*, la distancia mínima fue: escuelas, zonas turísticas y amenazas por deslizamientos de nivel alto y medio a 500 m. La distancia mínima y máxima para las zonas urbanas fue de 1.000 m y 5.500 m, respectivamente.

Densidad poblacional, dirección del viento, visibilidad y curvatura, pendientes, cobertura del suelo y vías

El procesamiento de la densidad poblacional, la dirección del viento, la visibilidad y la curvatura se muestran en la Figura 3. El *shape* de densidad poblacional tenía un campo con aptitudes de 1, 8 y 10, siendo 1 para las hectáreas con más de 5 habitantes, 8 para las hectáreas con 2 a 5 habitantes y 10 para las hectáreas con menos de 5 habitantes; a través de este campo se obtuvo un ráster utilizando la herramienta *Feature to raster*. Por otra parte, el mapa de vientos se obtuvo a partir de IDW y *Create fishnet* para visualizar la dirección, y se utilizó una distancia mínima de 3 km del casco urbano.

Las áreas visibles y no visibles en relación con las zonas turísticas se obtuvieron a partir del *shape* de suelos que contenía un campo con sus respectivas cotas, junto con el modelo digital de elevación y las cotas de las zonas turísticas, utilizando las herramientas *Feature to raster*, *Plus* y *Viewshed*. Igualmente, se utilizó el *Dem* para procesar las curvaturas a través de las herramientas *Filter*, *Curvature* y *Reclassify*, reclasificándolas según su proximidad a cero (los valores negativos son áreas cóncavas, los positivos son áreas convexas y los más cercanos a cero son áreas planas); las áreas convexas son las menos aptas.

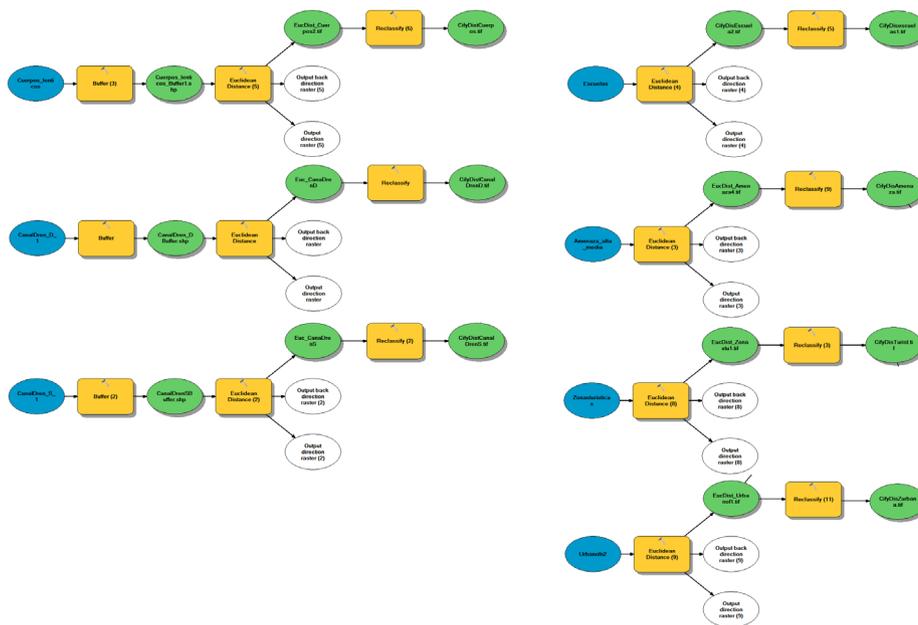


Fig. 2. Procesamiento de cuerpos lénticos, canales y drenajes dobles y sencillos, escuelas, amenazas por deslizamientos, zonas turísticas y urbanas (ModelBuilder)
 Nota. Los círculos azules corresponden a las variables de entrada, los cuadros amarillos a los procesamientos y los círculos verdes a los resultados. Fuente: Elaboración propia.

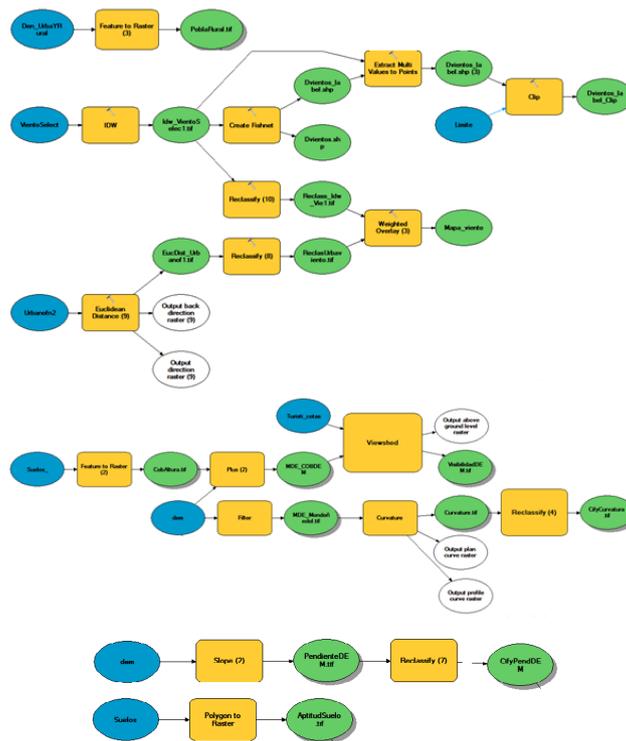


Fig. 3. Procesamiento densidad poblacional, dirección del viento, visibilidad y curvatura, pendientes, cobertura del suelo y vías (ModelBuilder)
 Fuente: elaboración propia.

Las pendientes se obtuvieron del modelo digital de elevación utilizando las herramientas Slope y Reclassify, las cuales fueron reclasificadas como: áreas menos aptas con pendientes mayores al 25 % y más aptas con pendientes menores al 25 %. Por otro lado, el *shape* de suelos contenía un campo llamado "Utilidad" el cual fue reclasificado: 1 para áreas con texturas moderadamente gruesas y 10 para áreas con texturas moderadamente finas, y a través de este campo se obtuvo un archivo ráster (Figura 3). Del mismo modo, las vías se reclasificaron según su tipo: aptas tipo 1, 2, 3 y 4, y menos aptas tipo 5, 6, y caminos o senderos (Figura 8).

Superposición ponderada y evaluación de la superficie de los sitios potenciales

Los resultados del procesamiento de cada variable se volvieron a procesar utilizando la herramienta Weighted overlay, en la que se utilizaron influencias iguales para cada variable restringiendo las zonas turísticas y urbanas, las fuentes hídricas, las escuelas y la cobertura del suelo. Posteriormente, se realizó una superposición ponderada para ambas aptitudes (Aptitud 01 y 02), como se muestra en la Figura 4, con una influencia del 50 % y el 50 %.

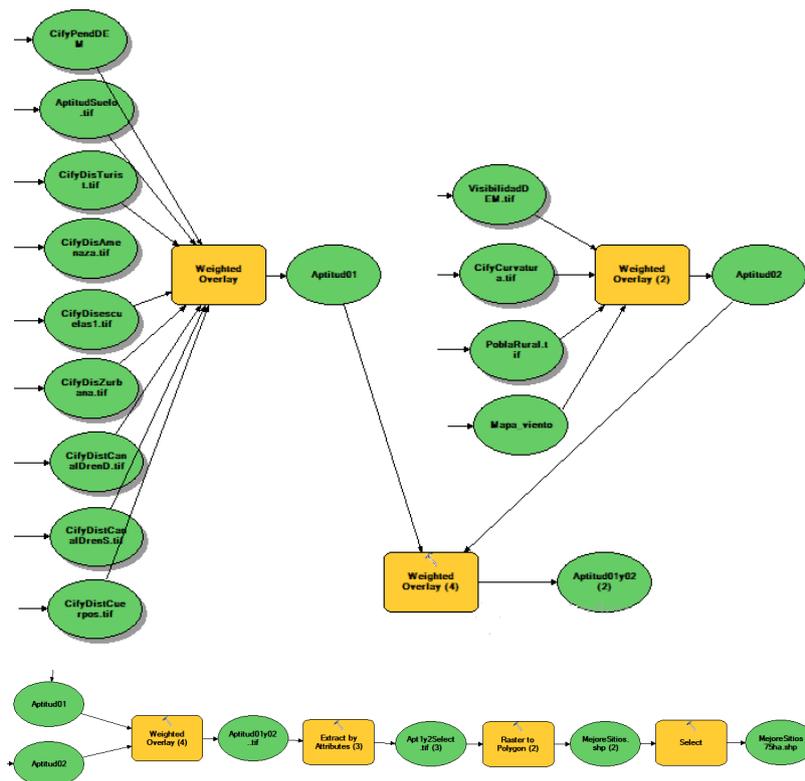


Fig. 4. Superposición ponderada y evaluación de superficie de los sitios potenciales (ModelBuilder)

Fuente: elaboración propia.

La selección de los sitios más aptos se realizó en la herramienta Extract by attributes, extrayendo aptitudes mayores o iguales a 6, seguido de la obtención de unos polígonos y la selección de las áreas con hectáreas mayores o iguales a 76 ha (Figura 4), y utilizando como referencia el área del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo.

Accesibilidad

La accesibilidad a los sitios más adecuados se evaluó utilizando las vías tipo 1, 2, 3 y 4, se seleccionaron las vías más cercanas al casco urbano y al área de disposición final. Posteriormente, se descartaron las áreas que se encuentran sobre las vías a través de la herramienta Editor.

Resultados

Dentro del área de estudio existen lagunas, humedales, reservorios, ríos, quebradas, canales, drenajes sencillos y dobles, vallados y distritos de riego, que se muestran en la Figura 5. El humedal del Gualí, la laguna de La Herrera, el río Subachoque, el río Bojacá, el río Balsillas, el río Bogotá, el río Apulo y las quebradas son algunas de las fuentes hídricas que se encuentran dentro del área y deben mantener una distancia de 50 m a 200 m del relleno sanitario.

Según la Figura 6, se observaron 79 escuelas dentro de estas zonas, además de centros de enseñanza, academias e instituciones edu-

cativas, 11 en el municipio de Bojacá y 68 en el municipio de Mosquera. Estos deben tener una distancia mínima de 500 m. Del mismo modo, las zonas turísticas y las zonas de amenazas por deslizamiento deben tener una distancia mínima de 500 m del lugar de disposición de residuos.

Las zonas turísticas corresponden a alcaldías, iglesias, centros turísticos, parques y hospitales. Por otro lado, las zonas de amenaza por deslizamiento son movimientos en masa con niveles altos y medios que cubren un área de 25,34 km², ubicada principalmente en el municipio de Bojacá. Además, la distancia máxima y mínima para las zonas urbanas es de 5.500 m y 1.000 m, respectivamente, según el Decreto 838 de 2005. Este criterio está asociado a los costos de transporte de los residuos sólidos desde el casco urbano hasta el área de disposición final.

En la Figura 7 se identificó que las zonas urbanas están habitadas por más de 6 personas por hectárea y las zonas rurales por menos de 2 personas por hectárea, las zonas con más de 6 habitantes por hectárea son áreas restringidas. Las direcciones del viento varían de 282, 57° en el noroeste, 138, 14° en la parte central y en el noreste 80, 94°, por otro lado, las áreas no visibles y con una curvatura plana a cóncava son ideales para la ubicación del relleno sanitario.

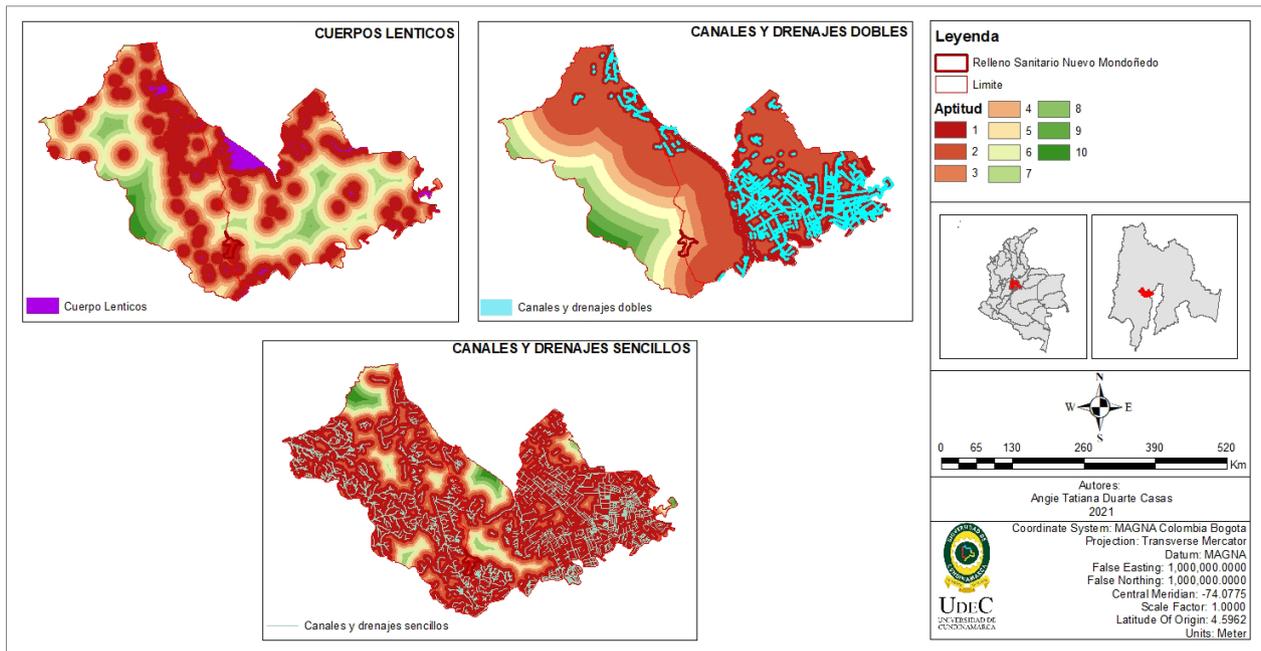


Fig. 5. Cuerpos lénticos, canales y drenajes dobles y sencillos

Nota. La aptitud corresponde a la reclasificación de cada variable de 1 a 10, siendo 1 con tonalidad rojiza a las áreas menos aptas y 10 con tonalidad verde a las áreas más aptas para la ubicación de nuevos relleños sanitarios. Fuente: elaboración propia.

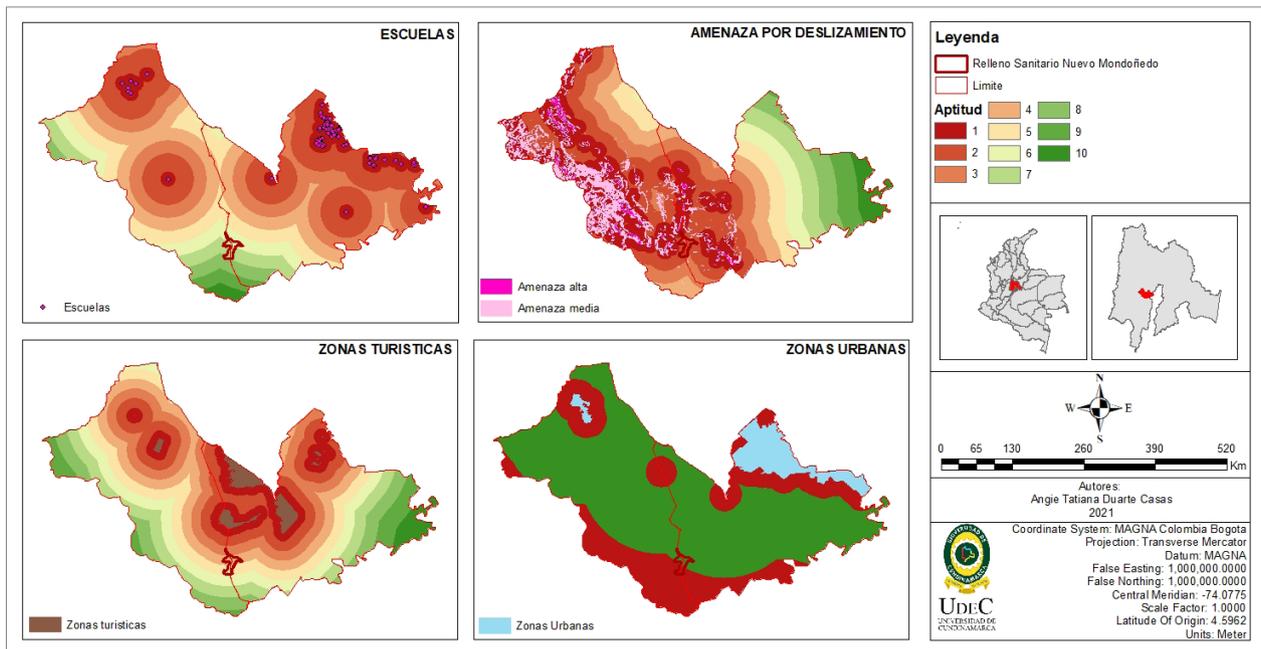


Fig. 6. Escuelas, amenazas por deslizamientos, zonas turísticas, y zonas urbanas
Fuente: elaboración propia.

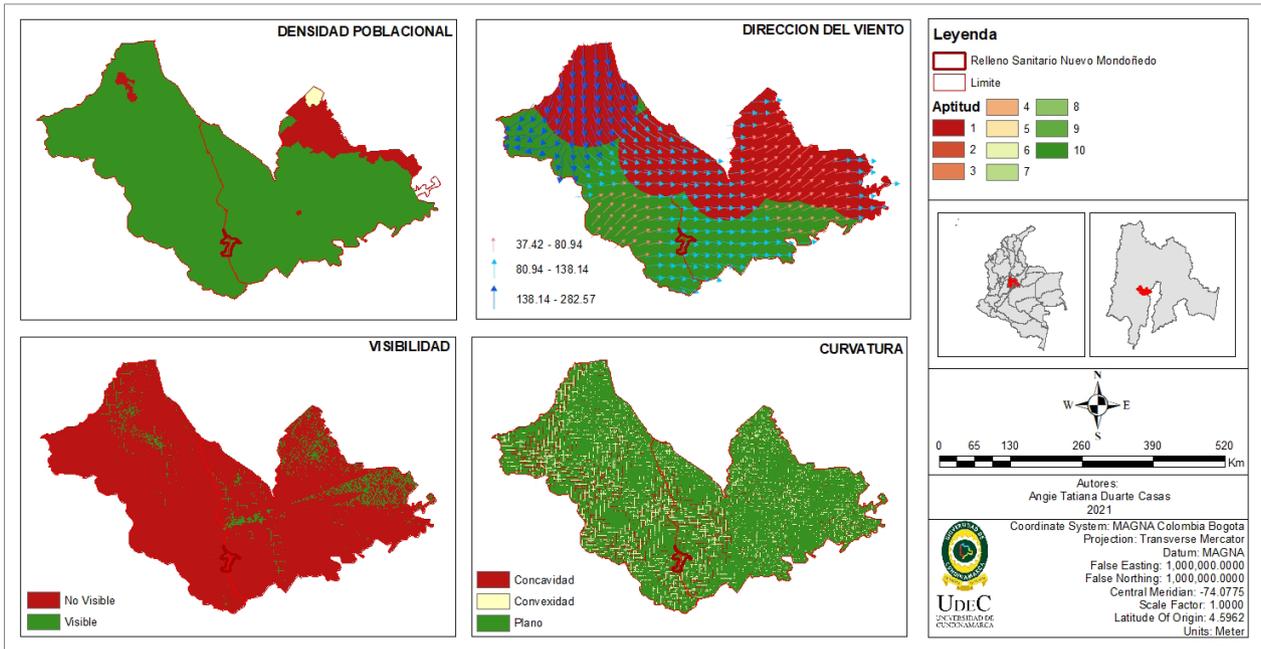


Fig. 7. Densidad poblacional, dirección del viento, visibilidad y curvatura
 Fuente: elaboración propia.

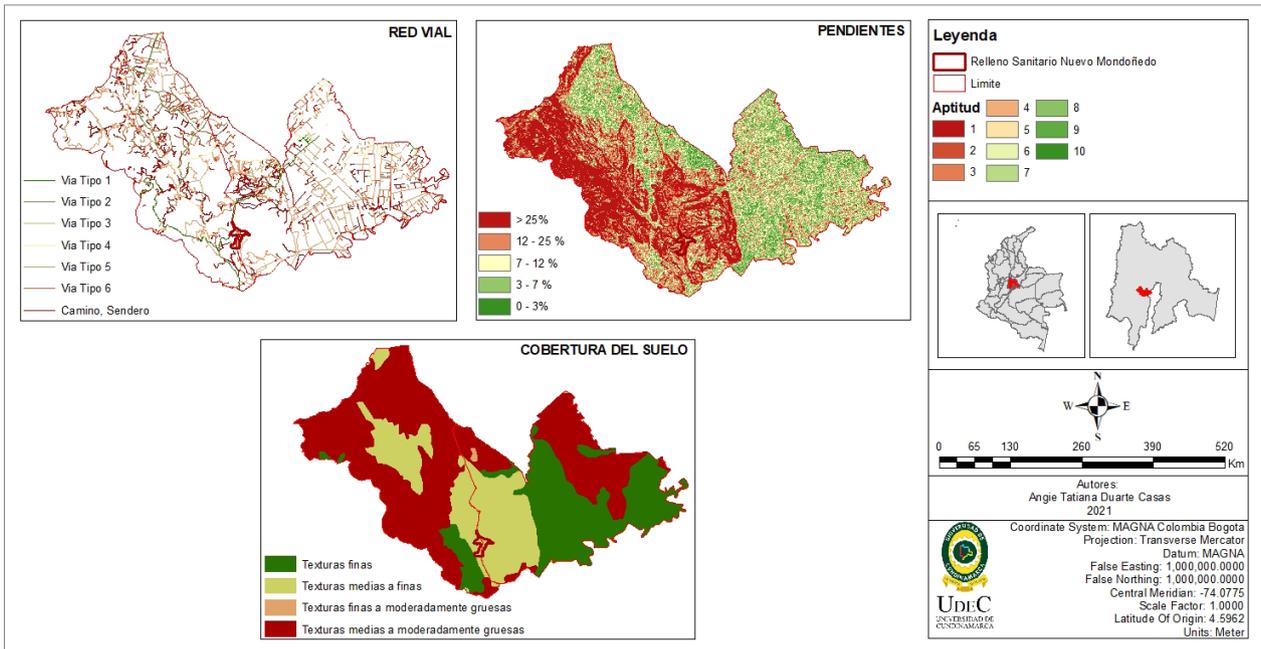


Fig. 8. Red vial, pendientes y cobertura del suelo
 Fuente: elaboración propia.

Las redes viales de tipo 1 están pavimentadas, tienen más de dos carriles de más de 5 m de ancho y son transitables todo el año, al igual que las vías de tipo 2, pero sin pavimentar. Por otro lado, las vías de tipo 3, 4 y 5 son carreteras estrechas, estando el tipo 3 pavimentado y el resto sin pavimentar, y por último, las carreteras de tipo 6 y los caminos o senderos sin pavimentar [31]. Como se puede observar en la Figura 8, las vías más relevantes son las de tipo 5, y las de tipo 1 son las más cercanas al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo.

Por otra parte, las pendientes que cubren una gran área son fuertemente quebradas en el municipio de Bojacá, y planas a moderadamente inclinadas en el municipio de Mosquera. Dentro del polígono del relleno sanitario las pendientes varían de planas a fuertemente quebradas. Con respecto a la cobertura del suelo se observa que las texturas más adecuadas son las finas y medias a finas que corresponden a texturas arcillosas limosas y las menos adecuadas son las moderadamente gruesas o arenosas (Figura 8).

En la superposición ponderada de la aptitud O1 y O2 (Figura 9), se observa que las zonas menos aptas se ubican en la parte superior del área de estudio debido a la presencia de zonas turísticas y urbanas, escuelas, fuentes hídricas, áreas visibles, densidades de población superiores a 5 habitantes por hectárea y dirección del viento hacia el casco urbano. Por otra parte, las áreas con aptitudes de 5

se encuentran en la parte inferior debido a la presencia de pendientes fuertemente inclinadas a moderadamente escarpadas, curvaturas convexas, fuentes hídricas y amenazas por deslizamiento alto.

Finalmente, las zonas más adecuadas se ubican en la parte central y hacia el noroeste del área de estudio, ya que no hay presencia de las variables antes mencionadas, además, la dirección del viento va en sentido contrario al casco urbano, presenta una curvatura plana a cóncava y la densidad de población es menor a 2 habitantes por hectárea, sin embargo, incluye zonas con fuertes pendientes y amenazas por deslizamiento medio.

Existen tres alternativas posibles para la ubicación de un relleno sanitario con áreas superiores a 77 ha (Figura 10). La alternativa 1 tiene un área de 108,20 ha y la alternativa 3 tiene un área de 96,26 ha, ambas están ubicadas cerca del casco urbano del municipio de Bojacá y su accesibilidad corresponde a vías de tipo 2 que pueden ser transitadas durante todo el año. Por otro lado, la alternativa 2 se encuentra en el municipio de Mosquera y tiene un área de 636,86 ha, la vía es de tipo 1 (Madrid-Soacha), y es la más adecuada para el transporte de residuos desde el casco urbano hasta la zona. Con respecto al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, solo 25,03 ha del área total del polígono (76 ha) son aptas para la disposición final de los residuos, es decir, el 32,05 %.

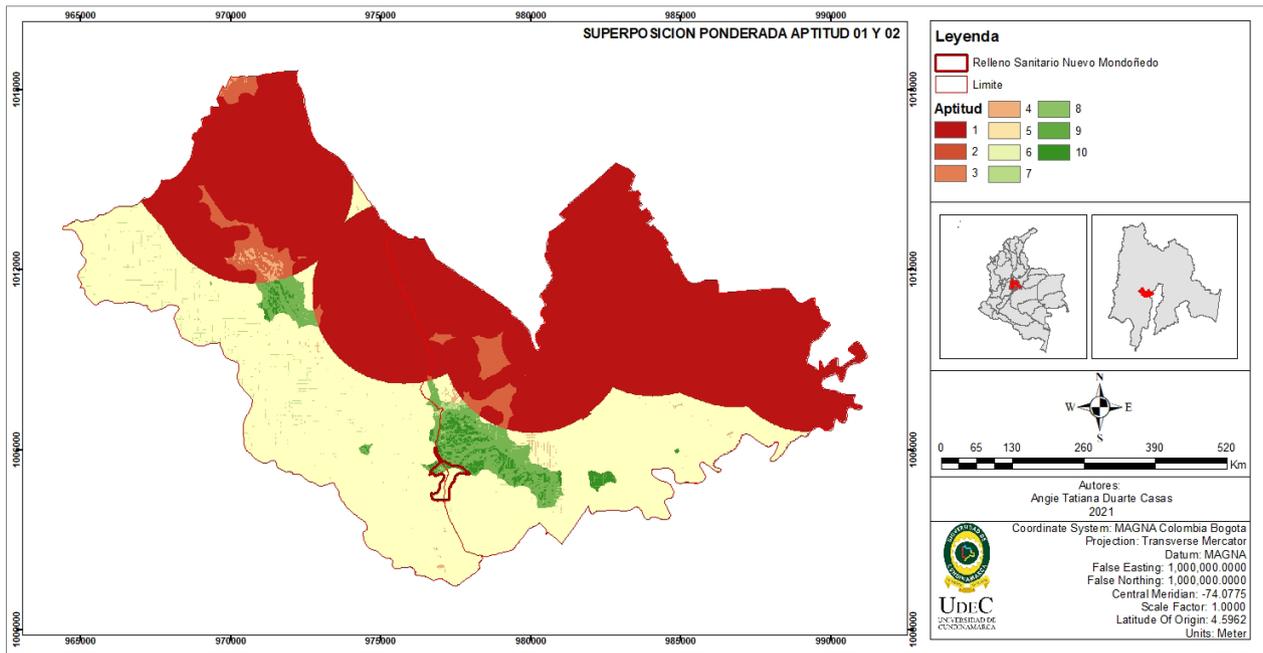


Fig. 9. Superposición ponderada Aptitud 01 y 02
 Fuente: elaboración propia.

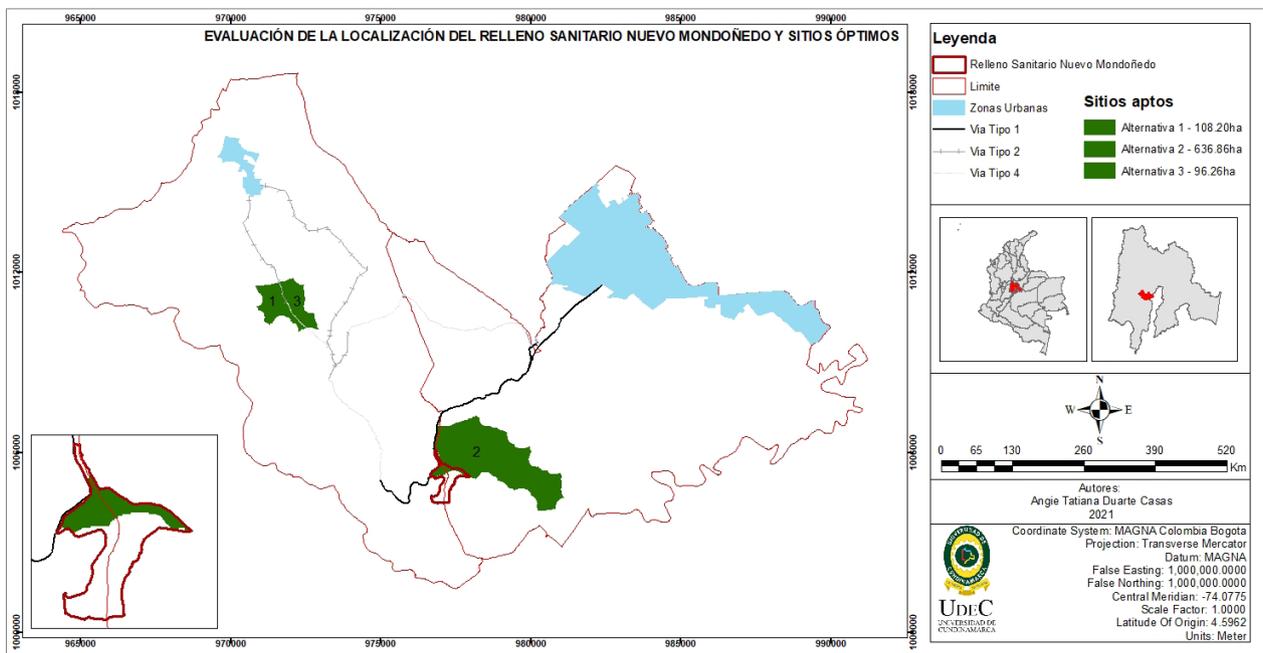


Fig. 10. Evaluación de la localización del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo y sitios aptos mayores a 77 ha
 Fuente: elaboración propia.

Discusión

De acuerdo con las fuentes hídricas (Figura 5), se evidencia la existencia de canales y drenajes sencillos en toda el área, cuerpos lénticos localizados en la parte superior, y canales y drenajes dobles localizados principalmente en el municipio de Mosquera. Estos pueden ser afectados por la descomposición de la materia orgánica en los rellenos sanitarios, debido a la producción de lixiviados que pueden filtrarse en el suelo y comprometer las fuentes hídricas [32]. Además, alrededor del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo se encuentran cuerpos lénticos, canales y drenajes sencillos.

Por otro lado, la Figura 6 muestra las escuelas, las amenazas por deslizamientos, las zonas turísticas y las zonas urbanas. Las escuelas, las zonas urbanas y turísticas son áreas restringidas por los problemas que puede causar la instalación de vertederos a cielo abierto cerca de estas zonas, debido al mayor deterioro de las condiciones sanitarias, ambientales y paisajísticas [33]. De igual manera, las amenazas por deslizamiento alta son zonas restringidas porque pueden causar fallas en el terreno, deformación tectónica o licuefacción [34]. Estas zonas se ubican hacia el occidente, principalmente en el municipio de Bojacá.

En cuanto a los resultados de la Figura 7, las zonas rurales tienen una baja densidad po-

blacional en comparación con las zonas urbanas, siendo las más adecuadas debido a la baja presencia de habitantes. Así mismo, las zonas más idóneas según la dirección del viento se encuentran en la parte inferior del área de estudio y se sitúan a 3 km del casco urbano con dirección en sentido contrario al mismo. Esta es una variable importante teniendo en cuenta la generación de emisiones de biogás producidas por la descomposición de los residuos sólidos orgánicos presentes en un relleno sanitario [35], que pueden ser transportados por el viento y generar afectaciones a las zonas urbanas. En cuanto a la visibilidad, las zonas menos aptas son las que son visibles por el impacto paisajístico de las zonas turísticas; por otra parte, el tipo de relleno sanitario a ubicar es un relleno sanitario tipo área, que es adecuado para terrenos relativamente planos [36], según lo observado en la curvatura.

En cuanto a la Figura 8, se obtuvo información sobre la red vial, las pendientes y la cobertura del suelo, donde se observó que las vías más apropiadas son las de tipo 1, 2, 3 y 4, ya que el Decreto 838 de 2005 menciona como vías aptas aquellas que son pavimentadas, sin pavimentar, carretables y de uno o más carriles. También menciona que las pendientes del terreno deben ser de 0,1 % a 25 % y están asociadas a la facilidad de construcción y operación dentro del área de disposición final. Las pendientes más predominantes en la zona son superiores al 25 %

ubicadas en el municipio de Bojacá, lo que indica una facilidad baja, mientras que las pendientes más planas se ubican en el municipio de Mosquera, aumentando la facilidad de construcción y operación. Según la cobertura del suelo, la más adecuada es la de texturas finas y medias a finas o suelos limo-arcillosos, ya que los suelos de grano fino contienen poros muy pequeños que aumentan la compactación y disminuyen la permeabilidad del suelo [37], lo que indica una menor inestabilidad.

Por último, las Figuras 9 y 10 muestran los sitios aptos para la ubicación de un relleno sanitario y la caracterización del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo. En cuanto a los sitios óptimos, las tres alternativas son adecuadas debido a la baja incidencia de variables cartográficas como zonas urbanas y turísticas, escuelas o fuentes hídricas; sin embargo, presentan pequeñas áreas con amenazas de deslizamiento y pendientes fuertemente escarpadas, lo que no restringe la ubicación de un área para la disposición final de los residuos, pero aumenta la dificultad de construcción y operación, generando un aumento de los costos en relación con las pendientes. En cuanto a las áreas con amenazas de deslizamiento, es necesario implementar un sistema de gestión de riesgo de desastres por deslizamiento. En cuanto a la evaluación del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, solo el 32,05 % del área total es óptima, debido a que el área restante

(67,95 %) tiene proximidad a canales y drenajes sencillos, cuerpos de agua y pendientes fuertemente inclinadas.

Conclusiones

Entre las tres alternativas aptas para la ubicación del relleno sanitario, se sugiere la alternativa 1 porque su accesibilidad es equidistante para ambos municipios respecto a sus zonas urbanas. Sin embargo, las tres alternativas presentan un riesgo de amenaza por deslizamiento y pendientes fuertemente inclinadas, lo que generará un posible aumento de los costos de construcción, operación e implementación de gestiones de riesgo.

El área apta para la disposición de residuos sólidos en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo no debe tener grandes superficies debido a la presencia de fuentes hídricas y pendientes fuertemente inclinadas, sin embargo, cumple con la mayoría de los requerimientos del Decreto 838 de 2005. En vista de su vida útil es aconsejable hacer una ampliación al norte del polígono, en esta área se encuentra la tercera alternativa.

Referencias

- [1] Giménez M, Cardozo R. Localización óptima de relleno sanitario aplicando técnicas multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) en el área metropolitana del alto Paraná. AUGM [Internet] 2017 [Consultado 16 Agto 2021]; [aprox. 20 p]. Disponible en: <http://sedici.unlp>.

[edu.ar/bitstream/handle/10915/26832/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.ugc.edu.ar/bitstream/handle/10915/26832/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[2] Semana. Crisis mundial por la basura: solo el 16% de los desechos son reciclados [Internet]. Colombia: Revista semana; 2019 [Consultado 16 Ago 2021]. Disponible en <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/crisis-mundial-por-la-basura-solo-el-16-de-los-desechos-son-reciclados/44932/>

[3] DANE. Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales – residuos sólidos [Internet]. Bogotá D.C: DANE; 2018 [Consultado 16 Ago 2021] Disponible en https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2018p.pdf

[4] Poveda A. Gestión Integral de los residuos sólidos en el departamento de Cundinamarca [Internet]. Bogotá D.C: Contraloría de Cundinamarca; 2019 [Consultado 16 Ago 2021]. Disponible en: <http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/images/INFORME%20RESIDUOS%20SOLIDOS.pdf>

[5] Nuevo Mondoñedo S, A. Generalidades [Internet]. Colombia; Consorcio Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo; 2018 [Consultado 16 Ago 2021]. Disponible en: <https://nuevomondoneo.com/servicios>

[6] Gil A. Diagnóstico sobre las condiciones existentes en el relleno sanitario nuevo Mondoñedo localizado en Mosquera Cundinamarca. Universidad la gran Colombia; 2018. [Consultado 18 Ene 2022]. Disponible en: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5318/Diagn%C3%B3stico_condiciones_relleno_sanitario_Mondo%C3%B1edo.pdf?sequence=1

[7] Ullua J. Los rellenos sanitarios. Ecuador. Universidad politécnica salesiana; 2005. [Consultado 18 Ene 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

[8] Min ambiente. Decreto número (0838) 23 de marzo. [Internet]. Colombia: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial; 2005 [Consultado 16 Ago 2021]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec_0838_230305.pdf

[9] Rodríguez A. Análisis espacial en epidemiología: Revisión de métodos. Colombia, Universidad Industrial de Santander; 2018 [Consultado 16 Ago 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3438/343860383009/html/>

[10] ArcGIS. Visita general de la caja de herramientas de spatial Analyst. [Internet]. [Consultado 16 Ago 2021]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-spatial-analyst-toolbox.htm>

[11] Gómez L. Taller de análisis y modelamiento ambiental. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2015 [aprox. 52 p].

[12] CAR. Datos abiertos Corporación autónoma regional Cundinamarca. POMCA Rio Bogotá [Internet]. Bogotá D.C; 2019 [Consultado 15 Jun 2021]. Disponible en: <https://datosgeograficos.car.gov.co/>

[13] Alcaldía de Municipal de Mosquera. Directorio de instituciones educativas aprobadas en Mosquera – Cundinamarca [Internet]. Datos Abiertos; Alcaldía Municipal de Mosquera Cundinamarca; 2020 [Consultado 15 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/Educacion/DIRECTORIO-DE-INSTITUCIONES-EDUCATIVAS-APROBADAS-E/c377-rdaj>

[14] Alcaldía de Bojacá. Instituciones educativas Bojacá [Internet]. Datos Abiertos; Desarrollo económico; 2018 [Consultado 16 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/Educaci-n/INSTITUCIONES-EDUCATIVAS-BOJAC-/q44w-37hw>

[15] Min TIC. Cartografía de Mosquera Cundinamarca. Cartografía de Mosquera Cundinamarca [Internet]. Datos Abiertos; IDEC; 2021 [Consultado 16 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/dataset/Cartograf-a-de-Mosquera-Cundinamarca/yfqc-ew6f>

[16] Min TIC. Cartografía de Bojacá Cundinamarca [Internet]. Datos Abiertos; IDEC; 2021 [Consultado 16 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/dataset/Cartografia-de-Bojaca-Cundinamarca/6w6j-eeku>

[17] IGAC. Límites: Municipios, Distritos y Áreas no municipalizadas de Colombia [Internet]. Colombia en mapas; Instituto Geográfico Agustín Codazzi; 2021 [Consultado 16 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/#>

[18] IGAC. Mapas de Suelos del Territorio Colombiano a escala 1:100.000. Departamento: Cundinamarca [Internet]. Geoportal; Instituto Geográfico Agustín Codazzi; 2017 [Consultado 16 Jun 2021]. Disponible en: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>

[19] DANE. Censo Nacional de Población y Vivienda-CNPV Marco Integrado [Internet]. Geoportal; Entidad responsable de la planeación, levantamiento, procesamiento, análisis y difusión de las estadísticas oficiales de Colombia; 2018 [Consultado 17 Jun 2021]. Disponible en: <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/visor-descarga-geovisores/>

[20] Alcaldía Municipal de Mosquera. Mapa turístico de Mosquera [Internet]. Turismo; Alcaldía Municipal de Mosquera; 2017 [Consultado 17 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.mosquera-cundinamarca.gov.co/turismo/mapa-turistico-de-mosquera>

[21] IGAC. Red vial de Colombia [Internet]. Colombia en mapas; Instituto Geográfico Agustín Codazzi; 2016 [Consultado 15 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/>

[22] IGAC. Capas de Información Geográfica Individuales - Cobertura Nacional [Internet]. Geoportal; Instituto Geográfico Agustín Codazzi; 2021 [Consultado 18 Jun 2021]. Disponible en: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-catastro>

[23] SIAC. Áreas otorgadas hidrocarburos [Internet]. Catálogo de mapas; Sistema de Información Ambiental de Colombia; 2020 [Consultado 18 Jun 2021]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>

[24] IDEAM. Dirección Viento [Internet]. Datos abiertos; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; 2019 [Consultado 18 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Direcci-n-Viento/kiw7-v9ta>

[25] Google Earth (2021). SAS Planet (Versión 15.11.11) [Windows].

[26] ALOS PALSAR (2010). ASF DATA Search. Disponible en: <https://search.asf.alaska.edu/#/>

[27] CAR. Gestión Integral de los residuos sólidos en el departamento de Cundinamarca [Internet]. Bogotá D.C; 2019 [Consultado 19 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5e29f9d0e2cda.pdf>

- [28] IGAC. Límites: Municipios, Distritos y Áreas no municipalizadas de Colombia [Internet]. Colombia en mapas; Instituto Geográfico Agustín Codazzi; 2021 [Consultado 16 Jun 2021]. Disponible en: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/#>
- [29] SIAC. Áreas otorgadas hidrocarburos [Internet]. Catálogo de mapas; Sistema de Información Ambiental de Colombia; 2020 [Consultado 18 Jun 2021]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>
- [30] SSPD. Informe de seguimiento a sitios de disposición final [Internet]. Bogotá D.C; Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios; 2018 [Consultado 19 Jun 2021]. Disponible en: https://www.superservicios.gov.co/system/files_force/Acueducto%2C%20alcantarillado%20y%20aseo/Aseo/2019/Jun/nuevo_mondonedo_s.a._e.s.p._1.pdf?download=
- [31] IGAC. Catálogo de objetos geográficos cartografía básica digital [Internet]. Instituto Geográfico Agustín Codazzi; 2016 [Consultado 2 Ago 2021] Disponible en: https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/anexo_1.1_catalogo_objetos_cartografiabasica_v1.0_.pdf
- [32] Ullca, J. Los rellenos sanitarios. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida [Internet]. 2005; (4):2-17. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047388001>
- [33] Jaramillo, J. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. UDEA [Internet] 2002 [Consultado 16 Ago 2021]; [aprox. 27 p]. Disponible en: <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>
- [34] Díaz, B. CAPÍTULO II Aspectos generales del riesgo sísmico [Internet]. s.f; [Consultado 16 Ago 2021]; Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6222/03CAPITULO_2.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [35] Camargo, Y Vélez, A. Emisiones de biogas producidas en rellenos sanitarios. REDISA [Internet] 2009 [Consultado 16 Ago 2021]; [aprox. 12 p]. Disponible en: <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biog%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf>
- [36] Benavides, L Vallejo, A. Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica – cesar. Ucatolica [Internet] 2017 [Consultado 16 Ago 2021]; [aprox. 83 p]. Disponible en <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15489/1/Dise%C3%B1o%20de%20relleno%20sanitario%20para%20Aguachica%20Cesar.pdf>
- [37] FAO. Diversas propiedades del suelo [Internet]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; s.f [Consultado 16 Ago 2021] Disponible en: http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s10.htm

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Studies on ostrich (*Struthio camelus*) meat – Review Estudios en carne de avestruz (*Struthio camelus*) -Revisión

Lili Dóra Brassó¹ , István Komlósi² 

¹ Doctoral School of Animal Science, University of Debrecen. Debrecen, Böszörményi Street 138.

brasso.dora@agr.unideb.hu

² Department of Animal Science, University of Debrecen. Debrecen, Böszörményi Street 138.

komlosi@agr.unideb.hu

Recibido: 04/11/2021

Aceptado:22/12/2021

Como citar este artículo:

Brassó L.D., Komlósi I. (2021). Studies on ostrich (*Struthio camelus*) meat – Review. Revista Ciencias Agropecuarias 7(2): 83-91

Abstract

Globally, ostrich meat is considered a gourmet product, as high-nutritive-value red meat, it fits into the diet. This study aimed to gather the most significant information on ostrich meat quality and characteristics based on the literature. We also made a comparison between an ostrich, beef, poultry, and pork meat. Meat quality is influenced by many genetic, environmental, management, and processing technological factors which can be different in respect of farms and countries. Meat quality measures include color, pH, nutritional composition, technological parameters, and organoleptic value. Ostrich meat has a dark red color similar, to but slightly darker than beef. The pH at 24 hours post mortem (pH₂₄) is moderately acidic, between 5.8 and 6.2. The ostrich meat is rich in protein (18-22 %) similar to pork but richer than poultry and beef. Ostrich has lean meat with low-fat content (1-4.5 %) compared to other domestic species. The ostrich meat is rich in unsaturated fatty acids, also the saturated fatty acid content is lower compared to other species. The technological losses are higher compared to beef and pork. The organoleptic value is average, but regarding flavor and tenderness, we can find statistical differences between the meat parts.

Keywords: ostrich (*Struthio camelus*), slaughter value, meat quality, meat composition, meat organoleptic characteristics.

Resumen

La carne de avestruz es considerada un producto gourmet a nivel mundial, ya que como carne roja de alto valor nutritivo, encaja en la dieta. El presente estudio tuvo como objetivo recopilar la información más significativa sobre la calidad y las características de la carne de avestruz con base en la literatura. También hicimos una comparación entre la carne de avestruz, res, ave y cerdo. La calidad de la carne está influenciada por muchos factores tecnológicos genéticos, ambientales, de manejo y de procesamiento que pueden ser diferentes con respecto a las granjas y los países. Las medidas de calidad de la carne incluyen color, pH, composición nutricional, parámetros tecnológicos y valor organoléptico. La carne de avestruz tiene un color rojo oscuro similar, pero ligeramente más oscuro que la carne de res. El pH a las 24 horas post mórtem (pH_{24}) es moderadamente ácido, entre 5,8 y 6,2. La carne de avestruz es rica en proteínas (18-22 %) similar a la del cerdo pero más rica que la de las aves y la ternera. El avestruz tiene carne magra con bajo contenido de grasa (1-4,5 %) en comparación con otras especies domésticas. La carne de avestruz es rica en ácidos grasos insaturados, además el contenido de ácidos grasos saturados es menor en comparación con otras especies. Las pérdidas tecnológicas son mayores en comparación con la carne de res y cerdo. El valor organoléptico es medio, pero en cuanto a sabor y ternura podemos encontrar diferencias estadísticas entre las partes de la carne.

Palabras clave: avestruz (*Struthio camelus*), valor de sacrificio, calidad de la carne, composición de la carne, características organolépticas de la carne.

Introduction

Ostrich meat is not a regular meat type found on the market, so it is considered special and due to its high price, it is qualified as a gourmet product. Regarding its rich nutritional value, ostrich meat can be an alternative meat source for other domestic species (poultry, pork, beef) [1]. Primarily, meat is the main product of ostrich all over the world, though the skin, feather, oil, and eggs are also used for different purposes.

South Africa leads the global meat market, the second-biggest producer is the USA and the followings are Australia, Spain, Poland, and the Middle East. Export products include fresh meat, hamburger meat, steak, and dry meat [2].

The economically optimal slaughter age of ostriches is 12 to 14 months when the slaughter value (57-58 %), the meat, and skin quality are the best [3,4]. Later, at the age of 18 months, the slaughter value decreases to

51 % [2]. The most valuable meat parts can be found on the thigh and back, the wings are useless from this point of view, and regarding that ostriches have a flat sternum, the breast is also poor in meat [5,6]. In Hungary, the meat parts called a fan, outside strip, medal, oyster, and the tip are considered the most valuable lean meats. Hungary slaughters several hundred kilograms of ostriches annually and exports them mainly to France and live animals are usually transported to Belgium.

The study aims to reveal the most important characteristics of ostrich meat, regarding its nutritional, technological, and organoleptic value. Our object is to make a deeper overview of ostrich meat quality compared to other species, based on the international literature.

Meat color and pH

The color is a quite interesting parameter from the consumers' point of view. The darker the meat is, the more iron content it should contain. But many other factors influence meat colors, such as the species, breed, bird age, sex, nutrition, rearing, meat part, storage time, and pH [7].

The pH of meat has an impact on the drip loss, processability, and shelf life of products [8-10]. In general, ostrich meat has a pH_{24} (at 24 hours post mortem) of between 5.8 and

6.2 but significant differences can be found among meat parts [11,12]. For example, the pH of the inside leg is 6.2 [12], 6.00 for the oyster [2], and 5.81 for the fan [11].

Nutritional composition of ostrich meat

Dry matter content and macronutrients

Meat quality and composition are influenced by the birds' age, sex, nutrition, slaughtering method, storage time, and storage temperature [13].

Ostrich meat can be characterized by 23-26 % of dry matter, 18-22 % of protein, and 1-4.5 % of fat content [2,12,14]. It can be stated that the protein content of ostrich meat is similar to that of pork but higher than beef and poultry [15,16]. The fat content is lower than beef, pork, and even poultry meat [15,16]. The low fat and cholesterol content and high protein content provide a good dietary characteristic for ostrich meat. Hydroxyproline makes up most of the collagen which molecule determines the tenderness of the meat. Meat tenderness is an important organoleptic factor. The average hydroxyproline content of ostrich meat is between 0.01 and 0.09 % [2,17].

Micronutrients

Amino acids

Amino acids play a key role in human nutrition as being the building blocks of body proteins. Essential amino acids can not be produced by our organism, so they should be taken by the diet. Conditional amino acids can not be synthesized in every organism or they are necessary at a certain stage of development. The content of amino acids in ostrich outside strip is 0.15-3.33 g/100 g of meat. This meat part contains the most es-

sential amino acids (8.68 g/100 g of meat), 6.18 g of conditional amino acids, and 4.69 g of non-essential amino acids in 100 g of meat [2].

The table 1 shows amino acid content in ostrich, beef, and chicken determined by different authors. The amino acid composition of beef and chicken was similar. In the case of serine, threonine, glutamine, leucine, alanine, phenylalanine, tyrosine, lysine, and histidine values of beef and chicken were closer to the findings of Brassó et al. [2] on ostrich compared to that of Sales et al. [18].

Table 1.

Amino acid composition of ostrich meat compared to the meat of different species

Amino acid/ Content (%)	Ostrich ¹	Ostrich ²	Beef ³	Chicken ⁴
	(g/100 g outside strip)	(g/100 g mixed meat)		
ASP	1.94	-	-	-
THR	1.00	0.76	0.92	0.90
SER	0.83	0.59	0.80	0.74
GLU	3.33	2.51	3.15	3.20
PRO	0.88	-	-	-
GLY	0.82	0.82	1.14	1.05
ALA	1.18	1.06	1.26	1.17
CYS	0.15	-	-	-
VAL	1.00	0.97	1.02	1.06
MET	0.54	0.55	0.54	0.59
ILE	0.98	0.92	0.95	1.13
LEU	1.62	1.70	1.56	1.61
TYR	0.74	0.61	0.70	0.72
PHE	0.85	0.94	0.82	0.85
HIS	0.86	0.39	0.72	0.66
LYS	1.84	1.65	1.74	1.82
ARG	1.00	1.36	1.32	1.29

Sources: ¹(2), ^{2,3,4}(18).

Fatty acids

Unsaturated fatty acids and mainly the n-3 fatty acids are significant nutrients in human nutrition and health [19]. Ostrich meat is rich in unsaturated fatty acids, but we can find differences among muscles. The PUFA content of ostrich meat is 27.54 % [2], while the fan contains 28.79 % and the leg shows 23.78 % [20]. The MUFA content of ostrich meat is 37.37 %, and the total unsaturated fatty acid content of ostrich meat is 64.90 %. The saturated fatty acid content is 35.10 % which is lower compared to the PUFA content [2]. The ratio of n-6/n-3 fatty acids in the meat is between the healthy 1-10:1 range, being 3.91 for the outside strip [2] and 7.55 for the fan [20].

Minerals

The table 2 demonstrates the minerals in a valuable ostrich meat part compared to meat parts of similar characteristics from beef, chicken, and pork.

Table 2 also shows that the Ca, K, Mg, Na, and P content of ostrich outside strip (334.94±7.02, 3455.67±47.123, 265.46±2.92, 516.51±10.91 and 2489.12±18.45 mg/kg) excelled regarding the evaluated minerals. When choosing species and meat parts to make a comparison with ostrich outside strip, we aimed to select domestic species of significant market value and meat parts. Comparing ostrich outside strip to beef tenderloin and sirloin, the Ca, Fe, Mn, and Zn content of ostrich meat was greater than those of beef. The higher Fe content supports the fact that ostrich meat

Table 2.

Minerals in the ostrich outside strip compared to other species

Minerals	Ostrich (mg/kg)	Beef tenderloin/ sirloin (mg/kg)	Chicken thigh (mg/kg)	Pork loin (mg/kg)
Ca ¹	334.94±7.02	28.18±3.30	109±0.60	6.08±0.21
Cu ²	2.27±0.06	2.00±0.11	0.67-0.80	1.00±0.01
Fe ³	48.32±0.59	17.40±0.41	30.4-55.4	3.30±0.26
K ⁴	3455.67±47.12	4280±37.8	1040.0-3665.0	1266±0.41
Mg ⁵	265.46±2.92	272.00±1.50	855.0-995.0	97.8±0.23
Mn ⁶	0.43±0.01	0.10±0.06	0.013-4.9	0.00±0.00
Na ⁷	516.51±10.91	494±6.00	265-486	47±2.00
P ⁸	2489.12±18.45	2245±15.1	132.00-160.00	907.00±0.29
Zn ⁹	35.19±0.78	3.49±0.63	1.29-8.38	14.7±0.03

Sources: Ostrich: (2), Beef: (21)^{1,6}; (22)²; (23)^{3,4,5,7,8,9}; Chicken: (24)^{1,4,7}; (25)^{2,6}; (26)³; (27)^{3,5,7,8,9}; (28)^{8,9}; Pork: (29)¹⁻⁹.

is considered darker red than beef and the meat of all other presented species. In comparison with chicken thigh, the P, Na, Ca, Zn and Cu content was greater or slightly greater than that of chicken thigh. However, the ostrich outside strip composed less than one-third of chicken thigh in Ca and the Fe content was similar in content. In the case of chicken thigh, values were shown as ranges in the literature. On the one hand, some minerals were referred to by different authors. On the other hand, the authors presented data as ranges in the case of chicken thigh. The quantity of all measured minerals in the ostrich outside strip was greater when compared to the results for pork loin [29].

Paleari et al. [30] declare that ostrich meat is richer in phosphorus, manganese, and iron, but poorer in sodium than beef and turkey meat. According to Nitzan et al. [31], hay supplement increases the iron content of meat. Akram et al. [17] declared that the content of P, Zn, and Ca in ostrich meat is 9.02 ± 0.03 , 2016.63 ± 0.68 , and 1.05 ± 0.02 . The iron content of ratites meat is significant and should be highlighted. Horbańczuk and Wierczbicka [32] found iron content to exceed 4 mg/100 g against 0.4-0.6 mg for chicken and 0.1-2 mg for beef expressed in 100 g meat. The content of Ca in emu and ostrich meat is 5.4-7 mg/100 g, respectively. The content of Mg and Na is 28.8 mg and 43 mg in 100 g of meat, respectively. The Selenium content is 0.04 mg in 100 g of meat.

Shear force and technological specificities

The shear force indicates the tenderness of the meat. The lower the value is, the more tender the meat is. The more tender meat is required on the market because it tastes better. According to the literature, the shear force of ostrich meat is between 2.90 and 3.42 [2,33].

The drip loss of ostrich meat ranges between 2.85 and 5.88 % [2,11,17], while the drip loss of beef is between 0.71-1.05 % [34] and for pork, it is below 3 % [35]. The cooking loss of ostrich meat is generally between 21.18 and 41.23 % [2,17] and the thawing loss is between 3.88 and 4.48 %. The cooking loss of beef ranges between 23.5 and 25.1 % and the thawing loss is between 0.26 and 3.6 %.

Organoleptic value

Organoleptic characteristics generally include smell, taste, the presence of aftertaste, tenderness, juiciness, and texture. Organoleptic evaluation can be made on either a five-scale or a nine-scale hedonic scale. On a five-scale hedonic scale the smell, taste, the presence of aftertaste, tenderness, juiciness, and texture of ostrich meat got 3.09, 3.14, 1.91, 3.41, 2.69, and 2.84 values [2]. On a nine-level scale, the meat tenderness, juiciness, and flavor scored 7.17 ± 0.06 , 7.38 ± 0.12 , and 6.80 ± 0.05 [17]. Regarding both scales, os-

trich meat has an average organoleptic value. Differences between meat parts can be found in flavor and tenderness, as the tip and the outside strip are the tastiest and the outside leg is the most tender meat part [2]. The smell and flavor of meat were typical of game animals and more aromatic and sweeter, than the meat of the main domestic species (chicken, pork, beef) as experienced and reported by consumers. Óváry et al. [36] declare that we can differentiate between water-soluble and fat-soluble molecules. The smell is influenced by the former molecules and flavor is mainly determined by the latter ones. The authors claim that tenderness and juiciness have a close relationship, as juicier meat is considered more tender from the consumer's point of view. Hoffman and Mcmillin [37] concluded that ostrich meat is less juicy (3.38 %), compared to pork (4.60), lamb (4.68 %), beef (3.25 %), or chicken (2.89 %). The authors state that the characteristic of ostrich meat as being drier can be attributed to the lower fat content. Al-Khalifa and Al-Nasser [38] noted that ostrich meat is tougher than beef due to its lower collagen content (0.41 % compared to 0.63 %). After-taste (fish-like, metallic, unfavorable, which does not resemble a characteristic of meat) was not detected by the panelists [2].

Conclusions

Ostrich meat is a good source of nutrients and minerals, as characterized by high pro-

tein, unsaturated fatty acid, Ca, Mg, P, Fe, Zn, and Mn content compared to beef, poultry, and pork. Due to its advantageous dietary composition, it is optimal for athletes, children, and those who have to follow a low-fat diet. The higher pH than usual increases the water-holding capacity, moderates the drip loss, but decreases the shelf-life of meat. From this point of view, the evaluation of the impact of pH and storage time on shelf-life would be interesting and could be suggested.

References

- [1] Brassó, D.L., Béri, B., Komlósi, I. Studies on Ostrich (*Struthio camelus*) – Review. *Acta Agr. Debr.* 2020; 1: 15-22.
- [2] Brassó, D. L., Szabó, V., Komlósi, I., Pusztahelyi, T., Várszegi, Zs. Preliminary Study of Slaughter Value and Meat Characteristics of 18 Months Ostrich Reared in Hungary. *Agric.* 2021; 11(9): 885.
- [3] Pollok, K. D., Hale, D. S., Miller, R. K., Angel, R., Blue-Mclendon, A., Baltmanis, B., Keeton, J. T. Ostrich slaughter and by-product yields. *Am. Ost.* 1997; 4: 31-35.
- [4] Hoffman, L., Botha, S.S., Britz, T. Sensory properties of hot-deboned ostrich (*Struthio camelus* var. *domesticus*) *Muscularis gastrocnemius, pars interna*. *Meat Sci.* 2006; 72, 734–740.
- [5] Mellett, F.D. Ostrich production and products, in: Maree, C. & Casey, N.H. (Eds) *Livest. Prod. Sys., Princ. and Pract.* (Pretoria, Agri Development Foundation) 1993; 187-194.

- [6] Cooper, R.G., Horbańczuk, J.O. The anatomical and physiological characteristics of ostrich (*Struthio camelus* var. *domesticus*) meat determine its nutritional importance for man. *An. Sci. J.* 2002; 73, 167-173.
- [7] Naveena, B., Sen, A., Muthukumar, M., Girish, P., Kumar, Y.P., Kiran, M. Carcass characteristics, composition, physico-chemical, microbial and sensory quality of emu meat. *Br. Poult. Sci.* 2013; 54, 329-336.
- [8] Thomas, A.R., Gondoza, H., Hoffman, L., Oosthuizen, V., Naudé, R.J. The roles of the proteasome, and cathepsins B, L, H and D, in ostrich meat tenderisation. *Meat Sci.* 2004, 67, 113-120.
- [9] Fernández-López, J., Jiménez, S., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Pérez-Alvarez, J.A. Quality characteristics of ostrich (*Struthio camelus*) burgers. *Meat Sci.* 2006, 73, 295-303.
- [10] Li, J., Yang, C., Peng, H., Yin, H., Wang, Y., Hu, Y., Yu, C., Jiang, X., Du, H., Li, Q., et al. Effects of Slaughter Age on Muscle Characteristics and Meat Quality Traits of Da-Heng Meat Type Birds. *Animals* 2019; 10, 69.
- [11] Yucel, B., Taskin, T. *Animal Husbandry and Nutrition*. Intech Open: London, UK, 2018; 202. ISBN 978-1-78923-420-6.
- [12] Poławska, E., Marchewska, J., Cooper, R., Pomianowski, J., Strzałkowska, N., Horbańczuk, J., Sartowska-Żygowska, K. The ostrich meat - An updated review. II. Nutritive value. *An. Sci. Pap. Rep.* 2011; 29, 89-97.
- [13] Sabbioni, A., Superchi, P., Sussi, C., Quarantelli, A., Bracchi, P.G., Pizza, A., Barbieri, G., Zannon, A., Zambini, E.M., Renzi, M. Factors affecting ostrich meat composition and quality. *Ann. Fac. Medic. Vet. di Parma* 2003; 28: 243-252.
- [14] Majewska, D., Jakubowska, M., Ligocki, M., Tarasewicz, Z., Szczerbińska, D., Karamucki, T., Sales, J. Physicochemical characteristics, proximate analysis and mineral composition of ostrich meat as influenced by muscle. *Food Chem.* 2009; 117, 207-211.
- [15] Bodnár, S.E., Bodnár, K. The main chemical composition parameters of pork (review). *Rev. on Agric. and Rural Dev.* 2012; 1, 2, 534-540.
- [16] Hamed, H., Ma, M., Damaka, A., Elkhedir, A., Jin, G. Effect of Freeze and Re-freeze on Chemical Composition of Beef and Poultry Meat at Storage Period 4.5 Months (SP4.5). *J. Food Process. Technol.* 2019; 10, 5.
- [17] Akram, M.B., Khan, M.I., Khalid, S., Shoaib, M., Hassan, S.A. Quality and Sensory Comparison of Ostrich and Goat Meat. *SSR Inst. Int. J. Life Sci.* 2019; 5, 2168-2175.
- [18] Sales, J. Ostrich meat research: An update. In *Proceedings of the World Ostrich Congress*, Warsaw, Poland, 26-29 September 2002; 148-160.
- [19] Burlingame, B., Nishida, C., Uauy, R., Weisell, R. Fats and Fatty Acids in Human Nutrition: Introduction. *Ann. Nutr. Metab.* 2009; 55: 5-7.
- [20] Horbańczuk, J., Sales, J., Celeda, T., Celeda, A., Ziêba, G., Kawka, P. Cholesterol content and fatty acid composition of ostrich meat as influenced by subspecies. *Meat Sci.* 1998; 50, 385-388
- [21] Somogyi, T., Holló, I., Csapó, J., Anton, I., Holló, G. Mineral content of three several muscles from six cattle genotypes. *Akadémiai Kiadó, Budapest, Acta Alim.*, 2015; 44: 1: 51-59.
- [22] Cabrera, M.C., Saadoun, A. An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. *Meat Science* 2014; 98, 435-444.

- [23] Czerwonka, M., Szterk, A. The effect of meat cuts and thermal processing on selected mineral concentration in beef from Holstein-Friesian bulls. *Meat science* 2015; 105, 75-78.
- [24] Andersen Maj-Britt, S., Frydenvang, J., Henczel, P., Rinnan, Å. The potential of laser-induced breakdown spectroscopy for industrial at-line monitoring of calcium content in comminuted poultry meat. *Food Cont.* 2016; 64, 226-233.
- [25] Probst, Y. Nutrient Composition of Chicken Meat. *Rural Ind. and Dev. Corp.* 2009; 1-83.
- [26] Probst, Y. Nutrient Composition of Chicken Meat. *Rural Ind. and Dev. Corp.* 2009; 1-83.
- [27] Kokoszyński, D., Bernacki, Z., Stęczny, K., Saleh, M., Wasilewski, P.D., Kotowicz, M., Wasilewski, R., Biegiewska, M., Grzonkowska, K. Comparison of carcass composition, physico-chemical and sensory traits of meat from spent broiler breeders with broilers. *European Poult. Sci.* 2016; 80.
- [28] Bohrer, B. M. Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Sci. & Techn.* 2017; 65, 103-112.
- [29] Halter, J.M. Nutrient composition of selected pork loin cuts. Master of Science, Texas Tech University, Texas, 2012.
- [30] Paleari, M.A., Camisasca, S., Beretta, G., Renon, P., Corsico, P., Bertolo, G., Crivelli, G. Ostrich meat: Physico-chemical characteristics and comparison with turkey and bovine meat. *Meat Sci.* 1998; 48, 205-210.
- [31] Nitzan, R., Barkai, D., Nitsan, Z., Serge Yan, L. Intake, growth and carcass characteristics of young ostriches given concentrates with and without pasture. *An. Sci.* 2002; 74, 71-79.
- [32] Horbańczuk, O., Wierzbicka, A. Technological and nutritional properties of ostrich, emu, and rhea meat quality. *Vet. Res.* 2016; 60, 279-286.
- [33] Poławska, E., Lisiak, D., Jozwik, A., Pierzchała, M., Strzalkowska, N., Pomianowski, J., Wójcik, A. The effect of the diet supplementation with linseed and rapeseed on the physico-chemical and sensory characteristics of ostrich meat. *An. Sci. Pap. and Rep.* 2012; 30, 65-72.
- [34] Jama, N., Muchenje, V., Chimonyo, M., Strydom, P., Dzama, K., Raats, J.G. Cooking loss components of beef from Nguni, Bonsmara and Angus steers. *Afr. J. Agr. Res.* 2008; 3, 416-420.
- [35] Żelechowska, E., Przybylski, W., Jaworska, D., Santé-Lhoutellier, V. Technological and sensory pork quality in relation to muscle and drip loss protein profiles. *Europ. Food Res. and Techn.* 2012; 234, 883-894.
- [36] Óváry, M., Holló, G., Ábrahám, Cs., Csapó, J., Seenger, J., Holló, I., Szűcs, E. Az íz szerepe a hús élvezeti értékében (Irodalmi áttekintés). *Acta Agr. Kap.* 2003; 7, 63-74.
- [37] Hoffman, L.C., McMillin, K.W. Improving the meat quality of venison and other exotic game. Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat, Woodhead Publ. Ser. in Food Sci., Techn. and Nutr. 2009; 447-475.
- [38] Al-Khalifa, H; Al-Naser, A. Ostrich meat: Production, quality parameters and nutritional comparison to other types of meats. *Appl. Poult. Res.* 2014; 23, 784-790.

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Árbol de Neem (*Azadirachta indica*) en Colombia: una alternativa para el desarrollo agroambiental del sector agrícola

Neem tree (*Azadirachta indica*) in Colombia: An alternative for the agri-environmental development from the agricultural sector

Elizabeth Rodriguez^{1*} , José Camilo Torres² 

¹ Especialización en Biotecnología Agroambiental, UNAD. Dosquebradas, Risaralda. Colombia.

² Centro de Innovación y Productividad de Dosquebradas, Risaralda. Colombia.

*Autora de correspondencia: elizabeth.rodriguez1593@gmail.com

Recibido: 12/11/2021

Aceptado: 22/12/2021

Como citar este artículo:

Rodríguez E., Torres C. (2021). Árbol de Neem (*Azadirachta indica*) en Colombia: Una alternativa para el desarrollo agroambiental del sector Agrícola. Revista Ciencias Agropecuarias 7(2): 93-#

Resumen

El árbol de la *Azadirachta Indica* o árbol de Neem es una especie arbórea que en los últimos años ha sorprendido por la cantidad de metabolitos secundarios que produce y que podrían ser de gran utilidad para el control de plagas. Con el estudio de diversas partes de la planta, se han logrado obtener compuestos derivados de estos metabolitos naturales que ofrecen diferentes alternativas al consumidor. El objetivo de esta revisión fue identificar alternativas de usos biotecnológicos de los compuestos de *Azadirachta Indica* para cultivos de importancia económica en Colombia. En este orden de ideas, encontramos una variedad de usos en el sector agrícola para controlar diferentes grupos de insectos de los órdenes Coleóptera, Hemíptera, Lepidóptera y Díptera, así como su posible uso ornamental y fungicida. Colocamos su uso en perspectiva para el desarrollo del agro colombiano.

Palabras clave: azadiractina, metabolitos secundarios, bioprospección, producción limpia.

Abstract

The *Azadirachta Indica* tree or Neem tree is an arboreal species that in recent years has been surprised by the number of secondary metabolites produce that may be very useful for pest control. By studying various parts of the plant, it has been possible to obtain compounds derived from these natural metabolites that offer different alternatives to the consumer. The objective of this review was to identify alternatives for biotechnological uses of *Azadirachta Indica* compounds for crops of economic importance in Colombia, it is in that order of ideas that they found a variety of uses in the agricultural sector to control different groups of insects such as some species of the orders Coleoptera, Hemiptera, Lepidoptera and Diptera, as well as their possible ornamental and fungicidal use. We place its use in perspective for the development of Colombian agriculture.

Keywords: azadirachtin, secondary metabolites, bioprospecting, clean production.

Introducción

Atendiendo el requerimiento de abordar nuevas metodologías y alternativas para el desarrollo del campo colombiano, y basados en el especial interés que despierta el árbol de Neem (*Azadirachta indica*) por la diversidad y disposición de metabolitos secundarios que ofrece y que han demostrado ser útiles en el contexto de la estrecha relación que debe existir entre la producción limpia y la producción con calidad, se realizó una revisión bibliográfica respecto a los posibles usos que el árbol puede brindar al sector en cuestión.

El desarrollo de productos limpios para el progreso de las actividades en el campo es de gran importancia porque con ellos es po-

sible visualizar una producción en armonía con la salud humana, el medioambiente y el desarrollo integral del pequeño productor; de esta manera, encontramos algunos usos y beneficios que se discutirán de una manera histórica y en contexto con el sector agrario colombiano [1].

Azadirachta indica ofrece compuestos biológicos que permiten el desarrollo de aplicaciones a partir de compuestos naturales protectantes, que en definitiva podrán disminuir la cantidad de agrotóxicos que actualmente se utiliza en Colombia. El objetivo de esta revisión fue identificar alternativas de usos biotecnológicos de los compuestos de *Azadirachta indica* para los cultivos de importancia económica en Colombia y, en este sentido, presentar un documento para ser utilizado

por cualquier productor interesado en buscar alternativas más limpias para el desarrollo productivo de su cultivo.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva, centrándose en las publicaciones entre 2016 y 2021. La información se buscó en bases de datos científicas utilizando las palabras clave *azadirachtin*, *secondary metabolites*, *bioprospecting*, *clean production* y sus equivalentes en español y portugués. Se encontraron aproximadamente 635 coincidencias y, tras clasificarlas por su relevancia para el contexto colombiano, se eligieron 70 artículos para componer la revisión que se presenta en este documento.

El Árbol de Neem

El árbol del Neem es un miembro de la familia de las *Meliaceae*, su nombre botánico es *Azadirachta indica* A. Es un árbol que se caracteriza por alcanzar hasta 30 metros de altura con pequeñas flores blancas con aroma a miel que atraen a las abejas; el fruto tiene forma de drupa, que contiene la mayor concentración de metabolitos secundarios. Se cree que el Neem es originario de Birmania; sin embargo, su cultivo se ha establecido principalmente en la India, entre los 0 y los 700 m. s. n. m., prosperando tanto en el campo como en lugares más cercanos a la ciudad. En el último siglo, el árbol ha co-

menzado a establecerse en zonas como Fiyi, el Caribe y gran parte de África debido a los numerosos usos que se han estudiado hasta la fecha [1]. El árbol tiene propagación sexual y asexual, con alta adaptabilidad, pero mostrando poca resistencia a situaciones como las heladas [2]. Según Vásquez [2], un árbol de tamaño medio produce entre 37 y 55 kg de fruta al año.

La característica de producir metabolitos se observa en este árbol porque las células vegetales tienen la capacidad de sintetizar una gran variedad de sustancias como proteínas, grasas, carbohidratos, entre otras. Los que no son formados por la célula durante el metabolismo primario se llaman metabolitos secundarios, y muchas de estas sustancias tienen un valor comercial y son altamente demandadas en el mercado actual. Estos metabolitos secundarios no se han encontrado con funciones vinculadas a los procesos fotosintéticos y respiratorios, y su análisis ha demostrado que los metabolitos no se encuentran en todas las especies vegetales, ni se sintetizan en igual cantidad en todas las especies vegetales, siendo ejemplos de ello los metabolitos que tienen funciones ecológicas como atrayentes o repelentes y que no se encuentran en todas las especies [3].

El árbol del Neem ha sido objeto de varios estudios sobre sus propiedades pesticidas, ya que sus semillas, hojas, frutos y corteza proporcionan azadiractina, salanina, melian-

triol y varios triterpenoides. La concentración de los metabolitos varía según la edad del árbol y las condiciones climáticas en las que se encuentra, siendo así: la azadiractina la que se encuentra en una concentración más alta en las semillas [4].

La importancia de la azadiractina se manifiesta principalmente en los efectos negativos que tiene sobre los insectos y los artrópodos, sin efectos negativos sobre los vertebrados y los seres humanos. Este metabolito se deriva de una mezcla de tetranortripenoides, de los cuales unos 9 tienen características insecticidas. Su biosíntesis comienza con un precursor esteroide y la apertura del anillo C [5]. Se ha demostrado que los distintos extractos del árbol controlan los hongos y los insectos, siendo el nortriterpenoide de la Azadirachtin A el más potente. Este limonoide interfiere en la metamorfosis, la fertilidad, el crecimiento, la oviposición y la alimentación de los insectos [6]. Para el desarrollo de su extracción, los métodos biotecnológicos permiten el cultivo de células por el método *in vitro*, que permite el control de las condiciones frente a los diferentes agentes externos e internos que pueden afectar a la producción en el campo [7]. La extracción de azadiractina se ha considerado complicada porque hay que obtener una alta concentración del compuesto para conseguir una eficacia destacable [8].

Es importante reconocer que la concentración de azadiractina en las semillas de los árboles puede variar de 4 a 9 mg, y también se ve afectada por la edad fenológica de la planta, por lo que algunos estudios han establecido que después de 127 días de floración es el momento en que el compuesto está más concentrado en la planta [9].

La azadiractina actúa sobre insectos de diferentes órdenes como Coleópteros, Homópteros, Dípteros, Hemípteros, Lepidópteros, algunas especies de ácaros y algunas especies de nematodos. Funciona como regulador del crecimiento en los insectos, afectando a la producción de ecdysoma y hormona juvenil [9]. Como compuesto químico, se caracteriza por su rápida degradación y su benignidad en la mayoría de los insectos benéficos. También se ha observado que las características insecticidas de la azadiractina incluyen también su capacidad para inhibir la oviposición en las hembras fecundadas de algunos insectos [10].

Su amplio espectro y sus características ecológicas lo han convertido en una buena opción para el desarrollo de alternativas que muestren a los consumidores estas características; sin embargo, hay que tener en cuenta que, en algunos países, la legislación establece ciertas condiciones para su uso, como es el caso de Japón, donde no está permitido en productos alimenticios [10].

Las investigaciones sobre estos metabolitos se remontan a varios años atrás y han llevado a reconocer la capacidad insecticida del árbol de Neem, por lo que se ha demostrado su uso en aplicaciones en campos de arroz para plagas y su uso preventivo en el control de hormigas, su aceite también ha demostrado la capacidad de ser utilizado en la industria cosmética para fabricar champús, tónicos capilares, jabones y crema dental. Aunque el compuesto ha sido estudiado desde principios del siglo XX, no fue reconocido como insecticida y repelente hasta 1952, cuando el profesor Dr. Heinrich Schmutterer observó que algunos saltamontes (*Schistocerca gregaria*) no se alimentaban de sus hojas, lo que llevó a investigar estudiando las características de este árbol que provocaban esta condición. Esta observación condujo a la identificación del meliantriol en 1967 [11].

Fue aislado por primera vez en 1968 por David Morgan, el mismo año en que se estableció su estructura química [12]. Esta estructura se estudió durante años, pero no fue hasta 1968 cuando se aisló e identificó, aunque se tardó otros 18 años en describir completamente la complejidad de la estructura y la composición química del metabolito [13]. En 1985, los laboratorios de Steven Ley, W Kraus y K Nakanishi determinaron la estructura completa del metabolito y lograron realizar la primera síntesis completa del compuesto [14].

La azadiractina es un metabolito secundario producido por la Margosa o árbol de Neem, perteneciente al grupo de los tetrahidroterpenoides o limonoides y cuya estructura lineal es $C_{35}H_{44}O_{16}$, lo que lo convierte en un metabolito exclusivo, cuya característica más amigable es que es biodegradable y se encuentra en varias partes del árbol. Se produce en el árbol junto con otros 100 limonoides [15]. Heinz [16] publicó la estructura química de la azadiractina, mostrándola como un compuesto orgánico.

La azadiractina está compuesta por nueve isómeros que hacen de este agente quimioterapéutico un componente muy adecuado para el desarrollo de diferentes agentes pesticidas [15]. La ruta metabólica de este metabolito secundario se inicia por medio de su función como precursor de esteroides (como el tirucallol, azadirone, azadiradione) y la apertura del anillo C (egnimbina, salanina) por la que se forma el anillo furano que conduce a la producción de azadiractina [17] (Figura 1).

En otros sectores agrícolas de importancia en la economía y sociedad colombiana, encontramos que los compuestos a base de Neem podrían ser utilizados por sus características biodegradables en productos de consumo humano, dando el beneficio de periodos de carencia muy bajos, siendo una excelente opción que ha sido comprobada por los reportes de su uso en arándanos, café, tomates, cítricos, fresas, piña, aguacate, entre otros [18], [19].

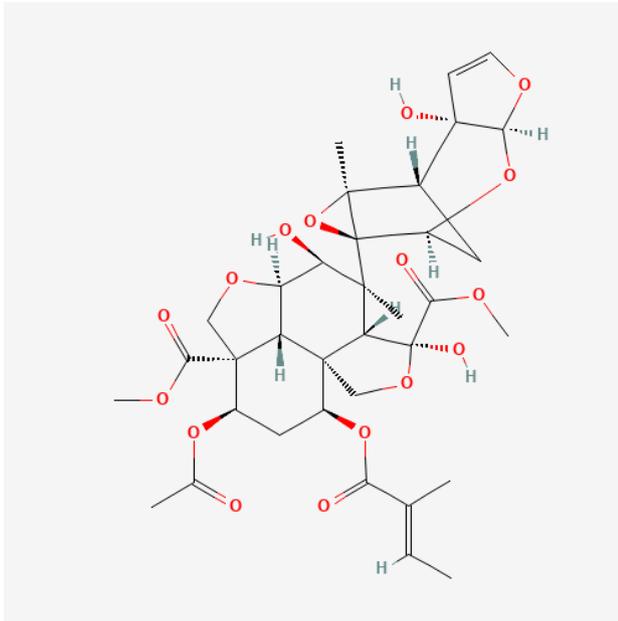


Fig. 1. Estructura de la azadiractina

Fuente: Heinz, 2005 [16].

La azadiractina y aplicaciones biotecnológicas de compuestos relacionados con *Azadirachta indica*

La azadiractina ha mostrado tener múltiples alternativas de uso en el desarrollo de op-

ciones para el manejo de problemáticas en el sector agrícola, pecuario, médico y ambiental, esto ha llevado también a generar diferentes estudios que permitan reconocer las ventajas de extraer este metabolito de una forma u otra. Así lo demuestran estudios como el realizado por Rodríguez y colaboradores en 2019 [20], para buscar tecnologías que permitan mejorar el rendimiento en la extracción. Durante las siguientes páginas se observarán algunas de estas aplicaciones y sus resultados en el desarrollo biotecnológico, para posteriormente enfocarnos en el reconocimiento de sus facultades en el sector agrícola.

Algunas de las técnicas usadas para la extracción del metabolito [21] (Tabla 1):

- Hidrodestilación: con semillas en lotes de 100 g.
- Extracción por solventes: se realiza la medición por 100 g.
- Fluidos supercríticos.

Tabla 1.

Rendimiento de azadiractina

Técnica de extracción	Material de evaluación	Rendimiento promedio del aceite (+ 0.01%)	Concentración de azadiractina determinada (+0.01 ug)
Solventes	Semilla	8,35	2416,11
	Hoja	2,37	2434,46
	Corteza	2,74	1013,94
Hidrodestilación	Semillas	3,60	142,42
	Hoja	0,68	32,94
	Corteza	0,89	17,39
Fluido supercrítico	Semilla	2,64	5,68
	Hoja	0,64	6,38
	Corteza	0,07	131,98

Fuente: Arias y colaboradores, 2021 [21].

Según la revisión realizada, se encontró que, en el año 2016 en Venezuela, verificaron los parámetros del aceite de semilla de Neem para la producción de aceites vegetales, obteniendo un rendimiento del 4 %. Se demostró que su índice de refracción estaba dentro de los lineamientos de la norma Covenin 702, aunque tuvo un rendimiento menor que aceites como el de maíz, algodón, cáñamo y oliva. Este aceite mostró un porcentaje de sólidos totales que demostró que en la extracción se puede eliminar un gran número de impurezas, mostrando también un porcentaje de acidez menor al de un aceite virgen, lo que lo hace favorable [22]. También se ha informado del uso de aceite de Neem y azadiractina en la preparación de jabón de baño, con buenos resultados en cuanto a la calidad del jabón, y se ha postulado como sustituto del aceite de palma por tener atributos cosméticos y medicinales más favorables [23].

También se ha observado la posibilidad de utilizarlo en la industria alimentaria, destacando sus características de inhibición microbiana, como se demostró en un estudio en el que se realizó una prueba con avena líquida para comprobar cómo afectaba a sus características sensoriales, aunque en este producto concreto tuvo efectos adversos en cuanto a la alteración de las características de color y sabor. Se podrían seguir realizando estudios para establecerlo como una alternativa en la producción para gestionar la carga microbiológica de un alimento [24].

En la industria textil, Mohan y colaboradores estudiaron el Neem como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales generadas por esta industria, ya que es una de las que más afecta al medioambiente y está causando problemas para el desarrollo del sector, pues todos los residuos derivados deben tener tratamientos especiales con productos que son altamente costosos. En la revisión realizada con la *A. Indica* como coagulante, se concluyó que es una alternativa de manejo con buenos resultados, que ofrece menores costos en comparación con su contraparte química y tiene la ventaja de ser biodegradable [25].

La azadiractina también tiene usos en el campo de la medicina, reportándose estudios sobre la creación de diversos productos con el potencial que ofrecen estos metabolitos, como la creación de una pasta dental que combina los beneficios del propóleo con los de la azadiractina. Hay información que indica que en la India usaban las hojas de Neem para limpiar los dientes, por lo que esta pasta dental probablemente tiene propiedades antimicrobianas y antifúngicas [26]. La revisión realizada por Minta que demuestra la capacidad del Neem en el desarrollo de pastas dentales más asequibles para las comunidades pobres se complementa con otros estudios que muestran la capacidad del compuesto para consolidarse como una alternativa para el manejo de la placa bacteriana dental, ya que no permite el desarrollo de microorga-

nismos y se presenta como una contraparte de las pastas dentales con flúor que son las más comunes en el mercado [27].

Se ha observado que *A. indica* puede jugar un papel importante en el tratamiento de carcinomas en los que el p53 está alterado, por lo que la azadiractina no depende de la vía apoptótica, sino que se puede lograr a partir de su composición química [27], lo que genera sus características especiales para el tratamiento del cáncer. También hay informes de su uso como hipoglucémico, antiséptico, antiinflamatorio e inmunestimulador [28]. Se han reportado usos en tratamientos contra psoriasis, pruriginosas, hongos eczemas, urticaria y otras afecciones de la piel, además funciona como analgésico [29].

Los compuestos de *A. indica* tienen propiedades antioxidantes que han sido probadas para impulsar las defensas naturales del cuerpo, el tratamiento de la diabetes y el cáncer. Sin embargo, la mayoría de los protocolos están todavía en fase clínica y no se han iniciado ensayos a gran escala en humanos, pero es de vital importancia continuar los estudios en este sentido debido a las múltiples características que han demostrado algunos de sus compuestos [30].

En el sector pecuario, más cercano a los estudios agrícolas que queremos profundizar en este trabajo, se realizaron estudios para determinar la funcionalidad de los aceites

de Neem como repelentes, así se realizó un estudio en el que se aplicó este repelente a cerdos a los que se les comprobó la presencia del principio activo en la piel. Para obtener los resultados de esta investigación, se tomaron 40 lechones como población de estudio, en la que 3 grupos recibieron diferentes tratamientos con este repelente, mientras que 1 grupo fue el grupo testigo del estudio. Se recogieron los zancudos que afectaron a los lechones y se concluyó que en las 3 pruebas en las que se aplicó la molécula, se mostraron resultados positivos con un efecto repelente de aproximadamente 3 horas [31].

También se han realizado estudios para el control de parásitos gastrointestinales en bovinos, incluyendo el metabolito en bloques nutricionales con mezclas de coco, maíz, alfalfa, urea, melaza, cal y azadiractina, observándose una disminución de los niveles de población de parásitos y mostrando su característica coadyuvante [32]. Los estudios sobre su eficacia como garrapaticida muestran que la mortalidad se observa en un tiempo de 11 horas. Estos experimentos se realizaron con el objetivo de utilizar metodologías más limpias en el sector pecuario en beneficio del animal y del consumidor [33].

Se han reportado investigaciones en las que se seleccionaron bovinos con diferentes características y se les hizo aspersion con extracto de Neem como repelente de moscas

como *Haematobia irritans* y *Stomoxys calcitrans*. En esta prueba se observó una disminución en la afección de los bovinos por estas moscas y no se encontró ningún efecto adverso en los tejidos del animal [34].

Además de los efectos repelentes encontrados en las unidades de producción ganadera, el árbol es plantado en Brasil para ayudar en la recuperación de áreas de suelos degradados, en los casos en que estos suelos tienen problemas de salinización o reforestación del área [35]. Moharbi y colaboradores [36] plantean la capacidad del polvo de *Azadirachta Indica* para eliminar los iones de cobre de los efluentes industriales en soluciones acuosas, permitiendo el reconocimiento de alternativas al manejo del agua que no sólo permiten el reconocimiento de beneficios en el sector ambiental, sino también en los sectores productivos, permitiendo el desarrollo de alternativas a la gestión de un recurso tan básico en todos los aspectos como es el agua [37]. Se ha demostrado su capacidad para absorber el fenol, lo que la convierte en una alternativa para la eliminación de diversos compuestos químicos [38].

Uso en el sector agrario

Existen usos reconocidos de este árbol y sus metabolitos en el desarrollo de alternativas de manejo en el sector agrario en todo el mundo, aunque su uso ha sido reportado principalmente en el desarrollo de insecticidas, los cuales han demostrado un amplio

espectro. Como insecticida biológico, es uno de los compuestos más reconocidos, mostrando entre sus funciones y características inhibir la oviposición de los insectos, inhibir su desarrollo fisiológico, inhibir los procesos de muda mediante el bloqueo de la hormona ecdisona, inhibir la formación de quitina, interrumpir la comunicación sexual y hacer infértiles a los machos, además de ser capaz de repeler a los insectos y generar un efecto antialimentario sobre ellos [39].

En 2016, se realizó un estudio sobre la efectividad del Neem en el control del gorgojo castaño de la harina (*Tribolium castaneum*), confirmando que la efectividad de los metabolitos está estrechamente ligada con la dosis que se les administra. En este estudio se observó que la actividad de la acetilcolinesterasa disminuía en el insecto, afectando a su percepción sensorial y convirtiéndose en una estrategia de control de plagas mediante el control de sus hábitos. Se extrajo azadiractina pura de las semillas del árbol, concluyendo un buen manejo tanto de la población adulta como de las larvas, inhibiendo algunas de sus capacidades motoras, hábitos alimentarios y la hormona ecdisona [40]. En 2018, los investigadores revisaron la eficacia de diferentes insecticidas, entre ellos el Neem sobre la Catarina o Mariquita (*Coccinella septempunctata*), especie reconocida como uno de los mejores controladores biológicos en las plantaciones y que, en estudios realizados en 1991, había demostra-

do ser seguro para esta especie, por lo que se revisó nuevamente y se demostró que el contacto de residuos del ingrediente activo con los huevos de *Coccinella septempunctata* no genera toxicidad en estos, pero sí mostró afectación en algunos insectos susceptibles, generando una mortalidad de alrededor del 30 % [41].

Un estudio sobre el caso de *Aphthona withfieldi*, un insecto masticador del orden de los coleópteros considerado como una de las plagas de *Jatropha curcas* L. que causa grandes daños a la población joven, generando mortalidad en estas plantas, pone de manifiesto que en esta zona la adquisición de insumos agrícolas no es del todo fácil, por lo que se requiere un control de tipo más cultural, lo que muestra la posibilidad de promover el desarrollo de extractos botánicos en esta zona, como es el caso del Neem. La azadiractina se comparó con los ingredientes activos de síntesis química, como la deltametrina, mostrando un resultado similar en cuanto a la mortalidad de los individuos, lo que concluye que el metabolito era ventajoso para esta zona en términos económicos y de manejo inocuo de los cultivos [42].

En 2019, se realizaron estudios para el control del bruquido del chícharo de vaca (*Callosobruchus maculatus*) en el frijol de carita (*Vigna unguiculata*), observando que es una opción más económica para los pequeños agricultores. El estudio se realizó con dife-

rentes partes del árbol como el fruto, las hojas, la corteza y una mezcla de estos para evaluar la efectividad del producto. Este estudio se consideró necesario considerando que las poblaciones de *Callosobruchus maculatus* generaban problemas en los granos, siendo el grano la parte más atractiva de la planta y sus cualidades nutricionales son afectadas por la contaminación generada por el insecto.

Para este estudio, se reportó que los extractos de Neem tienen la capacidad de ser una alternativa eficiente para el manejo repelente de este insecto, sin embargo, no muestra una alta tasa de mortalidad, por lo que es necesario realizar estudios sobre la dosificación del producto para obtener resultados más satisfactorios [43]. También se han reportado estudios para el control del *Callosobruchus maculatus* de aceites vegetales como el de *A. Indica*, *Arachis hipogea*, *Ricinus Communis*, *Elais guineensis*, *Cocos nucifera*, *Olea europaeae*, *Glycine max*, *Cucumeropsis mannii* siendo la *A. Indica* la que muestra la mayor eficacia desde el primer momento de la aplicación [44].

En el año 2020 se realizó un estudio con extractos de Neem para el manejo y control eficiente de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en la variedad Limani. Se observó que el testigo presentó una infestación del 10,83 % mientras que el tratamiento con este extracto mostró resultados entre el 1,67

y el 2,13 % de cerezas brocadas, por lo que se recomendó seguir realizando aplicaciones cada 8 días para que la plaga no alcanzara un umbral superior al 5 %, lo que se consideraría el punto crítico en el umbral económico [39].

En Colombia se reportó el desarrollo de estudios sobre la extracción de metabolitos de *A. indica* debido a los múltiples beneficios que se realizaron, por lo que estos fueron probados en el control del gorgojo del arroz (*Sitophylus oryzae*) en el que se analizó una alta tasa de mortalidad en adultos [45]. También se han realizado estudios para el control de *Sitophylus oryzae*, en los que se estudiaron las características de los extractos de Neem en cuanto a su capacidad tóxica y pesticida a diferentes concentraciones, mostrando que la mayor eficacia de la sustancia se encuentra entre 1000 y 10000 ppm con un periodo de eficacia de hasta 36 horas después de la aplicación [46]. También se reportaron estudios para el control del gorgojo del maíz (*Sitophyllus zeamais*) que mostraron una tasa de mortalidad del 99,17 %, por lo que se recomendó tenerlo como componente del manejo integrado de plagas de esta especie, ya que genera entre 20-30 % de pérdida de grano producido en Nigeria [47].

Algunos estudios para el control del escarabajo de la patata (*Leptinotarsa decemlineata*) han realizado análisis de algunos productos en condiciones de laboratorio, entre los que

destaca un producto a base de extractos de Neem denominado NeemAzal ® junto con otros productos de origen orgánico y biológico, permitiendo una concentración de del 0,3 %. Este producto tuvo una eficacia promedio del 70 % en 7 días tanto para larvas como para adultos, pero su eficacia disminuyó gradualmente después de 7 días. Sin embargo, estos resultados mostraron que es una excelente alternativa para ser agregada al manejo integrado de esta plaga específica, permitiendo su control efectivo [48].

El escarabajo Khapra (*Trogoderma granarium*) es una de las plagas más importantes de los granos almacenados en el mundo, generando la necesidad de estudiar alternativas para su manejo. Se realizaron estudios con distintos fitoderivados para comprobar la eficacia en el control eficiente y ecológico de la plaga, mostrando que la *A. Indica* es eficaz para su control, pero hay que seguir estudiando los métodos de extracción para que sean más seguros para sus desarrolladores [49]. En Japón se está controlando la *Popillia japonica* (Japanese beetle), mostrando repelencia y control durante varios días y generando mortalidad en 3 instares [50].

El control del taladrillo de los granos (*Rhyzopertha dominica*) también es importante. Mediante la molécula en cereales se comprobó que estos extractos también tienen características antixenóticas para el control específico de este coleóptero, se mostraron

resultados del 37 %, posicionándose como una posibilidad de mejorar las características de defensa de las plantas [51].

Los estudios para el control de *Aphis gossypii* en el algodón *Gossypium hirsutum* L. están reconocidos en otros países. Entre los estudios realizados, se compara el efecto de diferentes principios activos de productos de síntesis química con productos a base de extractos vegetales, como es el caso de la azadiractina, que mostró efectos al alterar el desarrollo de las actividades fisiológicas de los artrópodos, siendo repelente, inhibiendo su alimentación y causando afectación en el desarrollo de las actividades de alimentación y reproducción. A pesar de la mayor eficacia de las moléculas sintéticas, se expresa que la azadiractina es una excelente opción para el control de estos insectos, y su eficacia en este caso se ve afectada por las características de fotodescomposición que se están estudiando para que el producto tenga mayor efectividad [52].

Existen estudios que han demostrado la eficacia del compuesto en el control de la mosca del vinagre en la zarzamora *Rubus fruticosus* L en México. Se realizó con el producto Ecozin cuyo ingrediente principal es la azadiractina mostrando un 57 % de efectividad, con una mayor efectividad a los 7 y 14 días de aplicación, tanto en larvas como en adultos, y mostrando una alternativa viable en materia ambiental [53].

En el caso de los estudios realizados en Colombia, existen casos como el de El Peñol, Antioquia, uno de los mayores productores de tomate (*Solanum lycopersicum*) del país, que se vio afectado por la infestación de *Trialeurodes vaporariorum*, que, al ser un insecto picador-chupador, permite el desarrollo de hongos como los del género *Capnodium sp*, que producen fumagina, sobre las heridas producidas en las plantas. Debido a estos factores, se realizó un ensayo con un producto comercial (BIO NEEM ® (5 cc/l)) con un porcentaje de 20 % de ingredientes activos de azadiractina, que resultó en una reducción de insectos, a un costo aproximado de 28.500 pesos por 500 m², lo cual fue 4.300 pesos más caro que con los insecticidas convencionales, pero generó una producción más limpia y una menor rotación de ingredientes activos que podrían generar resistencia [54]. En Córdoba se han hecho estudios sobre la efectividad de los extractos de *A. Indica* en el control de los áfidos *Aphis craccivora* en un cultivo de *Vigna unguiculata sesquipedalis* de modo que se observó mortalidad de entre el 40% y 80% de la población a las 48 y 72 horas sin observarse efectos tóxicos en la planta [19].

Se demostró la efectividad de *A. Indica* en el control y manejo de *Planococcus citri* en el cultivo de *Codiaeum variegatum*, obteniendo una mortalidad de alrededor del 80% de la población; sin embargo, dentro del mismo estudio se demostró que la población pro-

ductora tiene muy poco conocimiento de estos bioplaguicidas aun cuando puedan tener el árbol de Neem cerca de sus plantaciones [55].

En el Huila se realizó un estudio para comprobar la eficacia de este compuesto mezclado con otros para el control de plagas, y se realizó un estudio con *A. Indica*, *P. Nigrum* y *P. Alliaceae* en un cultivo de *Zea mays* en comparación con un testigo en el que se aplicó el ingrediente activo clorpirifos, que se utilizaría específicamente para el control de *Spodoptera frugiperda*. Se midió que los extractos estudiados en diferentes mezclas muestran efectividad en diferentes estados fenológicos del insecto y además generan una estimulación en la planta que la lleva a tener mejor sustentación que otros tratamientos [56].

Evaluaciones realizadas sobre el control de *Liriomyza sativae* en el melón *Cucumis melo L*, hechas de acuerdo con estudios anteriores que demostraron efectividad en control de larvas de *Liriomyza huidobrensis*, *Liriomyza trifolii* y *Liriomyza sativae* observándose aumento significativo en la mortalidad de las larvas, con los porcentajes de mortalidad fueron de 23 % y 65,1 % en las pupas, demostrando su efectividad sin estar ligado al método de aplicación [57].

Se ha observado que su capacidad no es solo como insecticida, sino que también se

ha reportado su efecto fungicida. Como en el caso de los análisis realizados sobre *Aspergillus*, donde se calculó que la eficacia de *A. Indica* es de aproximadamente 67 % y que al combinarse con extractos de eucalipto muestra una eficiencia de 78 % en la inhibición del hongo. Aunque no muestra la eficacia demostrada por un fungicida industrial convencional, se presenta como una alternativa favorable para evitar la resistencia y el daño ambiental [58]. Otro estudio encontró, por ejemplo, que una asociación de Neem con *Cinnamomum sp* inhibía el crecimiento de *Rhizoctonia solani* en estudios *in vitro* hasta en un 100 % [59].

Fueron tantos los beneficios que se demostraron en esta planta que se iniciaron estudios sobre la eficacia alelopática de estos extractos en los procesos de germinación brotación y alargamiento en otras especies. En 2016 se realizó un estudio sobre este tema, encontrando que no se observaba ningún parámetro que permitiera la realización de un estudio estadístico, ya que cada producto presentaba peculiaridades estadísticas, pero aún es necesario seguir estudiando estas características [60].

Es así como se pueden observar las alternativas que ofrecen estos compuestos en el desarrollo agrícola, permitiendo la reducción del uso de productos que generan problemas en aspectos sociales y ambientales para el ser humano, y la importancia de seguir estudiando este metabolito.

Algunos de los inconvenientes que presenta este metabolito como insecticida y que le hacen perder eficacia es su inestabilidad frente a la luz solar la adición de algunos químicos permite disminuir esta problemática por medio de estabilizadores como butil p cresol, 8 hidroxiquinolina. Sin embargo, algunos han generado toxicidad en humanos, por lo que se hace necesaria la búsqueda de estabilizadores, y se ha encontrado la posibilidad de utilizar la curcumina para este fin [59].

Perspectivas en Colombia

Se ha encontrado el uso de *A. indica* en Colombia que mejora aspectos de los suelos degradados por la ganadería extensiva y los problemas fúngicos. Se realizaron estudios sobre diferentes componentes químicos, de los cuales cinco de los limonoides presentes mostraron actividad antifúngica sobre los conidios de *Fusarium oxysporum* [61]. En 2013 se realizó un estudio para revisar la posibilidad que ofrece la azadiractina para restaurar los suelos midiendo la caída de hojas, la descomposición y la reabsorción de

nutrientes, demostrando que este árbol tiene un buen desarrollo en estas zonas, que permite el aprovechamiento de elementos limitantes para otros cultivos [62].

En Córdoba, Colombia, se encontraron varios productos con extractos de azadiractina, como Neemazal®, Azatin®, Neemfirst® y BioNeem®. Los estudios sobre *Sitophylus oryzae* informaron de una tasa de mortalidad del 82 % [19]. En el Tolima se realizaron estudios sobre su capacidad bioinsecticida en el control integrado sanitario, en los que se utilizó como barrera viva para aprovechar sus características repelentes; sin embargo, generó problemas ambientales, también por su proliferación [63].

Entre los productos encontrados en Colombia, se verifica que su composición siempre está acompañada de adyuvantes. Dentro de las presentaciones comerciales encontradas, se presenta que se encuentran con diferentes tipos de concentración del principio activo y diferentes rangos de precios (Tabla 2).

Tabla 2.

Costo de productos a base de Azadiractina

Producto	Ingrediente activo	Costo
Neemazal	Azadiractina 1,2%	\$ 350.000
Azatin	Azadiractina 3,2%	\$ 180.000
BioNeem	Azadiractina 3%	\$ 58.000
Neemfirst	Azadiractina 40 g/l	\$ 180.000

Fuente: Elaboración propia.

También se han reportado estudios sobre las actividades del aceite de Neem combinado con *Metharrizium anisopliae* en el control de *Anopheles albimanus*, mostrando que es un buen componente para el control biológico en unidades de producción, permitiendo un buen manejo integrado de plagas a través del reconocimiento de estas características [64].

Los efectos antialimentarios sobre *Spodoptera frugiperda* se estudiaron en condiciones *in vitro* y, como resultado notable, se informó de un efecto antialimentario excepcional, lo que lo convierte en una potente alternativa para el control de lepidópteros [65]. Otros análisis mostraron que la azadiractina también tiene efectos sobre la flora intestinal inhibiéndola en orugas como *Spodoptera litura* [66]. También se han analizado los efectos de estos extractos en controladores biológicos, como es el caso de *Encarsia formosa* para el control de *Trialeurodes vaporariorum*, encontrando que su aplicación no afecta a la relación entre las especies [67].

La Universidad Javeriana realizó estudios para determinar la actividad antifúngica de los extractos de Neem a partir de los resultados encontrados sobre *Sclerotinia sclerotium* de manera *in vitro*, observando porcentajes de inhibición de 66,8, 25,9 y 45,61 ufc. Sin embargo, se observó que hongos como el *Fusarium roseum* mostraron resistencia a los extractos [68].

De igual manera, en Colombia se ha buscado de diferentes maneras reconocer la forma en que se realiza la extracción de metabolitos, por lo que algunos estudios han tratado de identificar la mejor forma de hacerlo. Tal es el caso de Giraldo y colaboradores en 2002, quienes en la Universidad de Antioquia realizaron pruebas para determinar si la cromatografía líquida era uno de los mejores métodos de extracción [69]. En Medellín, los estudios han demostrado que el cultivo de células de azadirachtin permite la producción de bioinsecticidas basados en ella; sin embargo, las rutas metabólicas de los limonoides, los principales metabolitos secundarios que se encuentran en esta planta, aún no se han encontrado ni comprendido [70].

Es importante reconocer los diferentes estudios que se han realizado en el mundo para diferentes órdenes de insectos, ácaros y hongos, para poder utilizar este tipo de extractos en los diferentes organismos que afectan a las unidades productivas del país. La experiencia personal demuestra que los extractos de Neem se utilizan regularmente para trips y minadores en el sector de la floricultura porque es un producto que no genera resistencia y no tiene efectos adversos en las personas que entran en contacto con este.

Conclusiones

Existen varios estudios de investigación en todo el mundo que demuestran que el extracto de Neem favorece una producción respetuosa con el medioambiente, tanto para el trabajador como para el consumidor. Esta relación se ha observado a través de varias investigaciones y ensayos realizados en diferentes productos, tipos de unidad productiva y en distintos órdenes de insectos, demostrando así su efectividad y viabilidad para ser utilizadas en el campo agrícola.

Todos los análisis estudiados en esta revisión bibliográfica sobre usos biotecnológicos demostraron que el árbol de Neem demuestra resultados en diferentes países que podrían ser utilizados en el desarrollo de productos y manejo para el campo en Colombia.

Referencias

- [1] NEEM A Tree for Solving Global Problems. [Internet]. Washington D.C: Report of an Ad Hoc Panel of the Board on Science and Technology for International Development National Research Council. 1992 [citado 5 enero 2020]. Disponible en: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=reJEGbb3YooC&oi=fnd&pg=IA2&dq=NEEM+A+Tree+For+Solving+Global+Problems.&ots=X9-y0SaKEF&sig=Jygd1Wms5coU8Z9U5sI3Lj3uYEI&redir_esc=y#v=onepage&q=NEEM%20A%20Tree%20For%20Solving%20Global%20Problems.&f=false
- [2] Vásquez Restrepo AM. Análisis del Neem (Azadirachta Indica), como planta invasora en el departamento del Tolima. [Internet]. Universidad Militar Nueva Granada. 2020 [citado 5 enero 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/36166>
- [3] Ávalos García A, Pérez-Urria Carril E. Metabolismo secundario de plantas. REDUCA (Biología) [Internet]. 2009 [citado 5 enero 2021];2(1989-3620). Disponible en: <http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/798>
- [4] Parrotta JA, Chaturvedi A. Azadirachta indica A. Juss. Reforestation, nurseries and genetic resources [Internet]. 1994 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://rngr.net/publications/arboles-de-puerto-rico/azadirachta-indica>
- [5] Vega-Jarquín C. Identificación de metabolitos bioactivos de Neem (Azadirachta indica Adr. Juss.). Central American Journals Online [Internet]. 2014 [citado 5 enero 2021]; 14 (<https://doi.org/10.5377/calera.v14i23.2659>). Disponible en: <https://www.camjol.info/index.php/CALE-RA/article/view/2659>
- [6] Angulo Escalante MA, Gardea Béjar, AA, Vélez de la Rocha R, García Estrada R, Carrillo Fasio A, Cháidez Quiroz C, Partida López J. Contenido de azadiractina a en semillas de nim (Azadirachta indica A. JUSS) colectadas en Sinaloa, México. Revista Fitotecnia Mexicana [Internet]. 2004 [citado 5 enero 2021]; 27: 305–311. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/610/61027402.pdf>
- [7] Bedoya Reyes JC, Hoyos Sanchez RA. Efecto de la relación agitación-aireación sobre el crecimiento celular y la producción de azadiractina en cultivos celulares de Azadirachta Indica A. Juss. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín [Internet]. 2010 [citado 5 enero 2021]; 63(0304-2847): 5293–5305. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0304-28472010000100008&lng=pt&nr=is&tlng=es

- [8] Esparza-Díaz G, López-Collado J, Villanueva-Jiménez JA, Osorio-Acosta F, Otero-Colina G, Camacho-Díaz E. Azadirachtin concentration, insecticide efficacy and phytotoxicity of four neem *Azadirachta indica* A. Juss. extracts. *Agrociencia* [Internet]. 2010 [citado 5 enero 2021]; 44(2521-9766). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000700008
- [9] Ramos B CA, González H VA, Soto H M, Engleman EM, Rodríguez L. DA. Variación en contenido de Azadiractina en frutos de margaosa durante su desarrollo. *Revista Fitotécnica de México* [Internet]. 2004 [citado 5 enero 2021]; 27:81-85. Disponible en: <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/27-1%20Especial%201/17a.pdf>
- [10] Riba M, Marti J. Actividad biológica de la azadiractina sobre *Nezara viridula* (L. Sanidad vegetal [Internet]. 1996 [citado 5 enero 2021]; 22: 169-177. Disponible en: https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/41656/pdf_plagas_BSVP-22-01-169-177.pdf?sequence=1
- [11] Marcomini AM. Bioatividade e efeito residual de nanoformulações de Nim sobre *Spodoptera Frugiperda* (J.E Smith). Universidade de Sao Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" [Internet]. 2009 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11146/tde-09112009-141755/publico/Angelina_Marcomini.pdf
- [12] Rivadeneira E, Rigoberto C. Impregnación de aceite de Neem (*Azadirachta indica*) en soporte textil para combatir la mosca de la fruta *Anastrepha striata*. Escuela Politécnica Nacional [Internet]. 2017 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17404>
- [13] Louzada J, Ferreira RS, Korasaki V, Fialho A. Parasitoides sintético e natural em bovinos: escarabeíneos como indicadores de impactos ambientais sobre pastagens do Cerrado. Universidade Federal de Lavras [Internet]. 2016 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: Universidade Federal de Lavras
- [14] Mordue AJ, Nisbet AJ. Azadiractina del árbol de neem *Azadirachta indica*: su acción contra los insectos. *Agrogama Colombia* [Internet]. 2014 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <http://www.agrogamacolombia.com.co/wp-content/uploads/2014/07/Azadiractina-del-%C3%A1rbol-de-Neem.pdf>
- [15] Alvarenga-Venutolo S, Sánchez-Calvo L. Escalamiento del Cultivo de Células en Suspensión de *Azadirachta Indica* (NEEM) en Biorreactor tanque agitado para la producción de Azadiractina. Instituto Tecnológico de Costa Rica [Internet]. 2016 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2238/6599>
- [16] Heinz R. Isomeric Azadirachtins and Their Mode of Action. *Focus on Phytochemical Pesticides* M Jacobson. 2005: 47-67.
- [17] Alonso Dominguez SA, López Morales EA, Vargas Oliveira VF. Metabolito secundario: Azadiractina. Universidad de Chapingo [Internet]. 2015 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/21482762/METABOLITO_SECUNDARIO_AZADIRACTINA
- [18] Neemazal. *Ibicol*. 2021.
- [19] Carvajal Ochoa LP. Actividad insecticida de extractos de *Azadirachta indica* A. Juss. (Neemeliaceae) sobre áfidos plagas en dos cultivos del género *Vigna* (Fabaceae) en el departamento de Córdoba (Colombia). Universidad de Córdoba [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3574>

- [20] Rodríguez P, Blandón N. Evaluación del efecto de la aplicación de pre tratamientos con ultrasonido sobre el nivel de extracción de aceite de la semilla de árbol de Neem (Azadirachta Indica A. Juss). @limentech. Ciencia y Tecnología alimentaria [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]; 17. Disponible en: https://revistas.unipamplo-na.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/4002
- [21] Arias D, Vásquez G, Montañez L, Álvarez R, Pérez V. Determinación del Azadiractina de los aceites esenciales del árbol de Neem (Azadirachta Indica). Revista INGENIERÍA UC [Internet]. 2009 [citado 5 enero 2021]; 16: 22–26. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70717551004.pdf>
- [22] Martínez M, Parra J, Vera MA, Vera A. Parámetros de calidad del Aceite de las Semillas de Azadirachta Indica (Neem). Revista CENIC. Ciencias Químicas [Internet]. 2016 [citado 5 enero 2021]; 47: 70–74. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1816/181648522018/html/>
- [23] Mensah EEM, Firempong CK. Chemical characteristics of toilet soap prepared from neem (Azadirachta indica A. Juss) seed oil. Pelagia Research Library [Internet]. 2011 [citado 5 enero 2021]; 1: 1–7. Disponible en: <https://www.imedpub.com/articles/chemical-characteristics-of-toilet-soap-prepared-from-neemazadirachta-indica-a-juss-seed-oil.pdf>
- [24] Serrato Arengas M, Baget Cassiani M. Evaluación de la estabilidad de la avena líquida tratada con el extracto de hojas de nim (azadirachia indica). Universidad de Cartagena [Internet]. 2012 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11227/523>
- [25] Mohan S, Vidhya K, Sivakumar C, Sugnathi M. Textile Waste Water Treatment by Using Natural Coagulant (Neem-Azadirachta Indica). ResearchGate [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/349530906_Textile_Waste_Water_Treatment_by_Using_Natural_Coagulant_Neem-Azadirachta_India
- [26] Minta Tenelema MP. Desarrollo de un método de campo indicativo de actividad antibiótica y antimicótica para propòleos y su utilización asociada con Azadirachta indica (NEEM) en la elaboración de una pasta dental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/9731>
- [27] Serrao Coelho LF. Acção de Azadirachta indica (NEEM) em patologias da cavidade oral. Mestrado Integrado em Medicina Dentária [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10400.26/30887>
- [28] Fernández Gallardo M. Estudio de las propiedades estimuladoras e inductoras de apoptosis de las proteínas aisladas del extracto acuoso de a. indica en linfocitos de sujetos normales y líneas celulares de cáncer de mama. Universidad Autónoma de Puebla [Internet]. 2016 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/2365>
- [29] Cristancho Vanegas FA. Propiedades y cualidades del árbol de Neem (Azadirachta indica a. juss) como especie promisoría en arreglos agroforestales. Universidad Nacional Abierta y a Distancia [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36562/Facristancho.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [30] Islas JF, Acosta E, Buentello G, Zuca y Delgado Gallegos JL, Moreno Treviño MG, Escalante B, Moreno Cuevas JE. An overview of Neem (Azadirachta indica) and its potential impact on health. Journal of Functional Foods [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 74(1756-4646):104171. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/20122/>

- [31] Llanos Gonzáles A, Sánchez Suárez H, Ochoa Mogollón G, Zuca y Delgado Gallegos JL, Peralta Ortiz T, Ordinola-Zapata A. Efecto repelente del aceite de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) contra zancudos (*Anophelex* spp) en lechones. Universidad Nacional Mayor de San Marcos [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021];31. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17544>
- [32] Jiménez RD, Cordoba G, Baez U. Bloques nutricionales con hoja de Neem (*Azadirachta Indica* A. Juss) para el control de parasitos gastrointestinales en bovinos. XXVI Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2014 [Internet]. 2014 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Herrera-19/publication/310828417_XXVI_Reunion_Cientifica_Tecnologica_Forestal_y_Agropecuaria_Tabasco_2014_La_Innovacion_tecnologica_para_la_seguridad_alimentaria_ISBN_978-607-606-212-8/links/583890aa08ae3d91723ddda5/XXVI-Reunion-Cientifica-Tecnologica-Forestal-y-Agropecuaria-Tabasco-2014-La-Innovacion-tecnologica-para-la-seguridad-alimentaria-ISBN-978-607-606-212-8.pdf#page=324
- [33] Lopez M, Baez R. Evaluacion In Vitro del efecto del Aceite de Neem sobre la viabilidad de la garrapata *Boophilus Microplus*. XXVI Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2014 [Internet]. 2014 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Herrera-19/publication/310828417_XXVI_Reunion_Cientifica_Tecnologica_Forestal_y_Agropecuaria_Tabasco_2014_La_Innovacion_tecnologica_para_la_seguridad_alimentaria_ISBN_978-607-606-212-8/links/583890aa08ae3d91723ddda5/XXVI-Reunion-Cientifica-Tecnologica-Forestal-y-Agropecuaria-Tabasco-2014-La-Innovacion-tecnologica-para-la-seguridad-alimentaria-ISBN-978-607-606-212-8.pdf#page=324
- [34] Morales Lucha DM. Evaluación del efecto repelente de dos concentraciones del extracto de Neem (*Azadirachta indica*) en moscas hematófagas de bovinos, administrado por vía tópica. Universidad de San Carlos de Guatemala [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/11956/>
- [35] Mesquita F, Ferreira Cavalcante L, De Oliveira Filho FX, de Macedo Rodrigues R. Neem relative growth under supplementary irrigation with saline waters and biofertilizer. *Comunicata Scientiae* [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]; 10: 45–53. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/333329485_Neem_relative_growth_under_supplementary_irrigation_with_saline_waters_and_biofertilizer
- [36] Al Moharbi SS, Geetha Devi M, Sangeetha BM, Jahan S. Studies on the removal of copper ions from industrial effluent by *Azadirachta indica* powder. *Applied Water Science* [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 23. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1100-z>
- [37] Das R, Mukherjee A, Sinha I, Roy K, Dutta BK. Synthesis of potential bio-adsorbent from Indian Neem leaves (*Azadirachta indica*) and its optimization for malachite green dye removal from industrial wastes using response surface methodology: kinetics, isotherms and thermodynamic studies. *Applied Water Science* [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 117. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01184-5>
- [38] Mandal A, Bar N, Kumar Das S. Phenol removal from wastewater using low-cost natural bioadsorbent neem (*Azadirachta indica*) leaves: Adsorption study and MLR modeling. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 17. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100308>
- [39] Alejos-Loyola GL, Valverde-Rodríguez A. Comportamiento de la broca del café (*Hypothe-*

nemus Hampei) ante efectos del biocida Neem (*Azadirachta Indica*) e higuierilla (*Ricinus communis*) en Monzón, Perú. *Revista investigación agraria* [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 2: 64–71. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100308>

[40] Jamil Sami A, Bilal S, Khalid M, Rauf Shakoori F, ur Rehman F, Shakoori A. Effect of Crude Neem (*Azadirachta indica*) Powder and Azadirachtin on the Growth and Acetylcholinesterase Activity of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Pakistan J. Zool* [Internet]. 2016 [citado 5 enero 2021]; 48: 881–886. Disponible en: [https://www.zsp.com.pk/pdf48/881-886%20\(35\)%20PJZ-2314-15%2019-4-16.pdf](https://www.zsp.com.pk/pdf48/881-886%20(35)%20PJZ-2314-15%2019-4-16.pdf)

[41] Sattar A, Azam I, Sarward M, Amjad A. Effect of insecticides on *Coccinella septempunctata* (Coleoptera; Coccinellidae); A review. *Asian Journal of Agriculture and Biology* [Internet]. 2018 [citado 5 enero 2021]; 6: 125–134. Disponible en: 2307-8553

[42] Bidiga M, Nacro S. Study of the Efficiency of the Aqueous Extract of *Azadirachta indica*'s Seeds and Deltamethrin on *Jatropha curcas* L. Insect Pests: Case of *Calidea panaethiopica* (Hemiptera: Scutelliridae) and *Aphthona whitfieldi* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Advances in Entomology* [Internet]. 2016 [citado 5 enero 2021]; 4: 1–13. Disponible en: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=69235>

[43] Pereira de Sousa Neto E, Anacleto de Andrade AB, Marinho Costa E, Borges Maracajá P, Béu Santos A, Guilherme Santos JL, Alves Pimenta T. Effect of Neem Powder (*Azadirachta indica* A. Juss) on the Control of Cowpea Weevils [*Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae)] in Cowpea Beans. *Journal of Experimental Agriculture International* [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]; 1–7. Disponible en: 10.9734/JEAI/2019/46051

[44] Edache EE, Blessing Ehi O. Efficacy of oils from nine plant species as protectants against infestation by *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae). *World Journal of Advanced Research and Reviews* [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 7: 7–15. Disponible en: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2020.7.3.0323>

[45] Guerrero Rodríguez JM. Producción de extractos de *Azadirachta Indica* (Nim) y evaluación de su actividad insecticida para el control de *Sitophilus Oryzae*. Universidad Distrital de Santander. 2020.

[46] Suanda IW, Delly Resiani NM. The Activity of Nimba Leaves (*Azadirachta Indica* A. Juss.) Extract Insecticide as Vegetative Pesticide on Rice Weevil (*Sitophilus Oryzae* L.) (Coleoptera: Curculionidae). *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)* [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 4. Disponible en: <https://doi.org/10.22225/seas.4.1.1520.10-17>

[47] Babarinde SA, Petinrin M, Adeleye A, Ajani B. Toxicity of *Sclerocarya birrea* and *Azadirachta indica* extracts against maize weevil *Sitophilus zeamais* Motchulsky (Coleoptera: Curculionidae) in storage. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* [Internet]. 2017 [citado 5 enero 2021]; 52: 337. Disponible en: 10.3329/bjsir.v52i4.34822

[48] Atanasova D, Vasilev P. Efficacy of some bioinsecticides against the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) under laboratory conditions. *J. BioSci. Biotech.* [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 9: 61–64. Disponible en: 1314-6246

[49] Islam W, Noman A, Senyo Akutse K, Qasim M, Ali H, Haider I, Hashem M, Alamri S, Mahmoud al Zoubi O, Ali Khan K. Phyto-derivatives: an efficient eco-friendly way to manage *Trogoderma granarium* (Everts) (Coleoptera: Dermes-

tidae). International Journal of Tropical Insect Science volume [Internet]. 2021 [citado 5 enero 2021]; 41: 915–926. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42690-020-00370-x>

[50] Shanovich HN, Dean AN, Koch RL, Hodgson EW. Biology and Management of Japanese Beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) in Corn and Soybean. Journal of Integrated Pest Management [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]; 10: 9. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz009>

[51] Khan MN, Din N, Babar M, Shahzad Afzal MB. Antixenotic and antibiotic impact of synthetic and plant extracted chemicals against *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bos-trichidae) at different storage periods in stored wheat. Journal of Pure and Applied Agriculture. 2020; 5(ISSN 2617-8680): 52–58.

[52] Garcia Camera N. Eficiência de inseticidas no controle de pulgão do algodoeiro *Aphis Gossypii* Glover, 1877 (Hemiptera: Aphididae). Universidade Federal de Uberlândia [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30302>

[53] Lemus B, Pérez D, Romero A. Evaluación de insecticidas vegetales sobre la mosca del vinagre de alas manchadas *Drosophila Duzukii* Matsumara (Diptera: Drosophilidae). Entomología agrícola. 2017; (ISSN: 2448-475X).

[54] Pérez Velásquez GA, Parra Ceballos JA. Uso de extracto del árbol de Neem (*Azadirachta indica*), para el control de mosca blanca (*Trialeurodes Vaporarium*) en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) como alternativa para mitigar el impacto negativo de los agroquímicos en el municipio del Peñol, Antioquia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/hand->

[le/10596/26921/%20%09japarrac.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/26921/%20%09japarrac.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[55] Chaparro León JF. Determinación De La Efectividad Del *Azadirachta Indica* (Neem) Como Biopesticida Para El Control Del *Planococcus Citri* (Cochinilla Blanca). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/189>

[56] Figueroa Gualteros AM, Castro Triviño EA, Castro Salazar HT. Efecto bioplaguicida de extractos vegetales para el control de *Spodoptera Frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Acta Biológica Colombiana [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]; 24(0120-548X). Disponible en: <https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69333>

[57] Gomes Silva F, Marinho Costa E, Rocha Ferreira R, Lopes da Silva FE, Araujo EL. Efeito de diferentes concentrações do extrato aquoso de folhas de nim na mortalidade da mosca minadora *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae). Revista Agroambiente [Internet]. 2016 [citado 5 enero 2021]; 10: 381–386. Disponible en: <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/3363>

[58] Hurtado E, Ballesteros F, Banchon C. Actividad fungica de *Aspergillus* spp. mediante la aplicación de *Azadirachta Indica* y *Eucaiptus* spp. Universidad, Ciencia y Tecnología. 2020; 24(ISSN 2542-3401/ 1316-4821): 18–27.

[59] Joeniarti E, Masfufatun M, Kumala Indahsari N, Noerhartati E. Effects of Curcumin on Stability and Efficacy of Neem Leaves Extract as Botanical Insecticides. Agrivita Journal of Agricultural Science [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 42: 331–340. Disponible en: <https://agrivita.ub.ac.id/index.php/agrivita/article/view/2651>

[60] Al Charchafchi 1F, Al-Kharousi H, Al-Quraini F, Al-Hanai A. Effect of aqueous extract of *Azadi-*

rachta indica (Neem) leaves on germination and seedling growth of *Vigna radiata* (L.). Pak J Biol Sci. [Internet]. 2007 [citado 5 enero 2021]; 10. Disponible en: 10.3923/pjbs.2007.3885.3889.

[61] Álvarez-Caballero JM, Coy-Barrera E. Chemical and Antifungal Variability of Several Accessions of *Azadirachta indica* A. Juss. from Six Locations Across the Colombian Caribbean Coast: Identification of Antifungal Azadirone Limonoids. *Plantas* [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]; 8: 555. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants8120555>

[62] Flórez-Flórez CP, León-Peláez JD, Osorio-Vega NW, Restrepo-Llano MF. Dinámica de nutrientes en plantaciones forestales de *Azadirachta indica* (Meliaceae) establecidas para restauración de tierras degradadas en Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 2013; 61(ISSN 0034-7744).

[63] Vásquez Restrepo AM. Análisis del Neem (*Azadirachta Indica*), como planta invasora en el departamento del Tolima. Universidad Militar Nueva Granada Colombia. [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36166/V%c3%a1squezRestrepoAnaMar%c3%ada2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

[64] Beltrán Ruiz M Ángel. Interacción entre el extracto de *Azadirachta indica* y el hongo *Metarhizium anisopliae* para el control biológico de *Anopheles albimanus* un vector de la malaria. Universidad de La Salle, Bogotá [Internet]. 2019 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/37/>

[65] Capataz Tafur J, Orozco Sánchez F, Vergara Ruiz R, Hoyos Sánchez R. Efecto antialimentario de los extractos de suspensiones celulares de *Azadirachta Indica* sobre *Spodoptera Frugiperda* J. E Smith en condiciones de laboratorio. Re-

vista Facultad Nacional de Agronomía Medellín [Internet]. 2007 [citado 5 enero 2021];60(ISSN 0304-2847). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472007000100006

[66] Qin D, Zheng Q, Zhang P, Lin S, Huang S, Cheng D, Zhang Z. *Azadirachtin* directly or indirectly affects the abundance of intestinal flora of *Spodoptera litura* and the energy conversion of intestinal contents mediates the energy balance of intestine-brain axis, and along with decreased expression CREB in the brain neurons. *Pesticide Biochemistry and Physiology* [Internet]. 2021 [citado 5 enero 2021]; 173. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104778>

[67] Murillo Ramírez O, Ramírez Montoya MC, Soto Giraldo A. Efecto de dosis subletales de *azadirachtina* en la capacidad de búsqueda del parasitoide *Encarsia formosa* Gahan. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural* [Internet]. 2020 [citado 5 enero 2021]; 24(0123-3068). Disponible en: <https://doi.org/10.17151/bccm.2020.24.1.4>.

[68] Fernández Cañón DM, González Bohórquez CJ. Evaluación in vitro de la actividad antifúngica del extracto foliar el árbol *Azadirachta Indica* contra algunos hongos fitopatógenos. Universidad Pontificia Javeriana [Internet]. 2008 [citado 5 enero 2021]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8223/tesis218.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[69] Giraldo F, Cataño C, Morales G, López C, Galeano E. Determinación de *azadirachtina* por cromatografía líquida de alta eficiencia. (HPLC) en semillas de árbol de Neem (*A. indica*) cultivadas en Colombia. *Revista de la facultad de Química Farmaceutica*. 2002; 9(ISSN 0121-4004): 59-63.

[70] Orozco-Sánchez F, Rodríguez-Monroy M. Cultivos de células en suspensión de *Azadirachta indica* para la producción de un bioinsecticida. *Revista mexicana de ingeniería química* [Internet]. 2007 [citado 5 enero 2021]; 6(ISSN 1665-2738). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382007000300004