

ENVIRONMENT & TECHNOLOGY



**ENVIRONMENT &
TECHNOLOGY**

FOUNDATION

**REVISTA SEMESTRAL
ENERO - JULIO
VOL 4, N.º 1
ISSN: 2711-4422**



E & T

Environment & Technology

ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023

PROPIEDAD Y EDITORIAL

Environment & Technology Foundation

DIRECCIÓN EDITORIAL

PhD. Liliana Piedra Castro, Costa Rica
PhD. Jaime Ernesto Rivera Hernández, México

COMITÉ EDITORIAL

PhD. Libia Julio Galvis, Colombia
PhD. Fernando Ramírez Muñoz, Costa Rica
PhD. Rubén Darío Sepúlveda Vargas, Colombia
PhD. Jorge Rafael Villadiego Lorduy, Colombia
PhD. Graciela Alcántara Salinas, México
PhD. Gustavo Barrantes Castillo, Costa Rica
PhD. Giovanni Sáenz Arce, Costa Rica
PhD. Carlos Sabater Piqueres, España
PhD. Tomás Guzmán Hernández, Costa Rica
Msc. Yuri Morales López, Costa Rica
PhD. Massimo Leserri, Italia
MSc. Alfredo Esquivel Acosta, Colombia
MSc. Javier Ricardo Sánchez Castillo, Colombia
PhD. José Manuel Luna Nemecio, México
PhD. Elkin Quiñonez Agámez, Colombia
PhD. Wladimir Mejía Ayala, Colombia

COMITÉ CIENTÍFICO

PhD. Cristian Morerira Segura, Costa Rica
PhD. Joaquín Durán Mora, Costa Rica
PhD. María Fernanda Garrido Rubiano, Colombia
PhD. Merwan Chaverra Suárez, España
PhD. Napoleón Blanco Orozco, Nicaragua
PhD. Salvatore Barba, España
PhD. Elena Rustrian Portilla, México
PhD. Lina García Corrales, Colombia
PhD. Juan A. Pérez Sato, México
PhD. Eric Pascal Houbron, México
MsC. Omar Díaz Hernández, Colombia
PhD. Jorge Osorio Martínez, Colombia
MsC. Stalyn Guerrero Gómez, Colombia
MsC. Nydia Valencia Jiménez, Colombia
MsC. Concepción Amador Ahumada, Colombia
MsC. Luis López Duarte, Nicaragua
MsC. Orlando Tordecilla Correa, Colombia
ESP. Jairo Vélez Vargas, Colombia
MsC. Yhonattan Méndez Nobles, Colombia
MsC. Daniel Espinosa Corrales, Colombia
MsC. Adolfo Cortecero Bossio, Colombia
ESP. Oscar Tuiran Polo, Colombia
PhD. Pedro Simón Lamprea, Colombia
MsC. Jhoan Pérez Benitez, Colombia
MsC. Edgar Manotas Olascoaga, Colombia
MsC. Abel Felipe Vargas Rueda, México
PhD. Diana Zambrano Moreno, Colombia
MsC. Natalia Real Luna, México
PhD. Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo, México
PhD. Rooel Campos Rodríguez, Costa Rica
MBA. Daniel Francisco Pérez Murillo, Costa Rica
PhD. Ana Rodrigez Negrette, Colombia
ESP. Pedro Payares Ramos, Colombia

E&T Foundation no asume responsabilidad por posiciones presentadas por los autores de los artículos.



Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons CC BY-NC-ND



COLABORADORES

Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre.
Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica).

Asociación de Geógrafos del Caribe Colombiano
(Colombia).

Programa de Doctorado de Ciencias Naturales para el
Desarrollo. Instituto Tecnológico, Universidad Nacional,
Universidad Estatal a Distancia (Costa Rica).

Grupo de Investigación, Ambiente y Tecnología Adscrito a
Environment &; Technology Foundation (Colombia).

Grupo de Investigación, Sostenibilidad y Competitividad
Adscrito a Environment &; Technology Foundation
(Colombia).

Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios,
S.C. (México).

Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas.
Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica).

Programa de Maestría en Salud Pública, Universidad de
Córdoba (Colombia).

Grupo de Investigación Huellas Calidad de Vida, Adscrito a
la Maestría en Salud Pública. Universidad de Córdoba
(Colombia).

Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba (México).

Departamento de Geografía y Medio Ambiente, Universidad
de Córdoba (Colombia).

Doctorado en Educación y Cultura Ambiental, Universidad
de la Amazonia (Colombia).

Maestría en Sistemas Sostenibles de Producción,
Universidad de la Amazonia (Colombia).

ASISTENTE EDITORIAL

Natalia Narvaez Moreno, Colombia

FOTOGRAFÍA PORTADA

Jorge Villadiego Lorduy

DISEÑO

DG. Andrés Felipe Del Toro Pérez



Editorial

Estimados lectores,

Es un placer dar la bienvenida a este nuevo volumen digital semestral de la Revista Environment & Technology, y a su vez, agradecer sobre manera a los miembros del comité editorial, que con su gran compromiso se logran alcanzar estándares de calidad y mesura investigativa para la difusión de las investigaciones a la comunidad científica. Esta publicación, nos acerca al análisis del ecosistema como un todo, y hacia algunos de sus componentes, los cuales han de estar relacionados entre sí, siempre hacia un balance armonioso en la producción agrícola. Uno de los principales componentes, radica en los efectos bioclimáticos en la distribución de plantas arvenses y su mejor adaptación a la supervivencia en ciertas regiones geográficas de distintos pisos latitudinales.

En diversos cultivos extensivos de importancia agrícola, amparados a las legislaciones ambientales y regulaciones costarricenses de aviación agrícola, los sistemas de información geográfica se han transformado en una herramienta para el adecuado manejo de problemas fitosanitarios y a su vez, en la implementación y establecimiento de las zonas de amortiguamiento. Estas áreas de amortiguamiento que se han implementado en las plantaciones agrícolas, combinando el uso de coberturas vegetales que no impliquen competencia hacia el cultivo, disminuyendo la carga química en el manejo de plantas competidoras, logrando una mejor incorporación de material vegetal al suelo y manteniendo el ciclaje de nutrientes. Estas plantas arvenses, por su porte y características vegetales, ha surgido como opciones de manejo no químico sostenibles.

Con las mismas coberturas vegetales, se analiza las opciones de mantener una balanceada fertilización al suelo, en un cultivo de hoja utilizado como “especia” considerado por muchos como rústico, mediante el uso de diversas fuentes sintéticas, que, desde el punto ambiental, pueden tener repercusiones hacia los diferentes ecosistemas y como complemento, los alcances de las tecnologías están en auge los sistemas que procesan imágenes satelitales, orientadas en este caso, a determinar sitios de calor extremo que se ubican dentro de las ciudades con infraestructuras de diversos materiales que generan incrementos en las temperaturas superficiales.

Ing. Agr. Joaquín Durán Mora, Ph. D.

Docente investigador

Instituto Tecnológico de Costa Rica, sede San Carlos



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

CONTENIDO:

Editorial.....	3
Distribución geográfica de la familia <i>verbenaceae</i> en el departamento del Tolima, Colombia.....	5
Geographical distribution of the <i>verbenaceae</i> family in the department of Tolima, Colombia.	
<i>Juan Pablo Mercado Pineda, Jorge Villadiego Lorduy, Brayan David Otero Yen, Arnulfo Manuel Gómez Ramos, Pedro Luis Payares Ramos, Oscar Efraín Tuiran Polo.</i>	
Análisis geoespacial de zonas de amortiguamiento por fumigación aérea de plaguicidas en el cultivo de banano, Costa Rica.....	21
Geospatial analysis of buffer zones for aerial pesticide spraying on banana plantations, Costa Rica.	
<i>Luis Palomo-Cordero, Reichel Rodríguez-Miranda, Jane A. Hoppin, Berna van Wendel de Joode.</i>	
Efecto de cuatro coberturas muertas (mulch) sobre el crecimiento de arvenses y la fertilidad del suelo en cultivo de café (<i>Coffea arabica</i>).....	47
Effect of four dead covers (mulch) on weed growth and soil fertility in coffee (<i>Coffea arabica</i>) cultivation.	
<i>Isidro Calero Ocón, Ellen Sancho Barrantes.</i>	
Efecto de fuentes fertilizantes nitrogenadas, diferencias en emisiones de CO ₂ , fertilidad del suelo, crecimiento y productividad en el cultivo de “culantro coyote” (<i>Eryngium foetidum</i> L.), en Turrialba, Costa Rica.....	67
Effect of nitrogenous fertilizer sources, differences in CO ₂ emissions, soil fertility, growth and productivity in the cultivation of “spiritweed” (<i>Eryngium foetidum</i> L.), in Turrialba, Costa Rica.	
<i>Andrés Barrantes Solano.</i>	
Islas de calor urbana en el municipio de Santa Cruz de Lorica entre los años 2001, 2007 y 2021, caso de aplicación con imágenes satelitales ASTER.....	87
Urban heat islands in the municipality of Santa Cruz de Lorica between the years 2001, 2007 and 2021, application case with ASTER satellite images	
<i>Andrés Felipe Del Toro Pérez.</i>	

**Distribución geográfica de la familia *Verbenaceae* en el departamento del Tolima,
Colombia**

**Geographical distribution of the *Verbenaceae* family in the department of
Tolima, Colombia**



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023: 05-20

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.4-1.1>

Recibido: 11/01/2023

Revisado: 08/04/2023

Aprobado: 30/08/2023

Juan Pablo Mercado Pineda

Estudiante de Geografía y Medio Ambiente
Universidad de Córdoba
jmercadopineda@correo.unicordoba.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-8798-1515>
Córdoba - Colombia

Jorge Villadiego Lorduy

Doctor en Ciencias Naturales y Desarrollo Sostenible
Docente Investigador Programa de Geografía y Medio Ambiente – Universidad de
Córdoba
jorgevilladiegol@correo.unicordoba.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-6151-9987>
Córdoba – Colombia

Brayan David Otero Yen

Estudiante de Geografía y Medio Ambiente
Universidad de Córdoba
boteroyen33@correo.unicordoba.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-9324-3647>
Córdoba - Colombia

Arnulfo Manuel Gómez Ramos

Magister en Geografía
Jefe Departamento del Programa de Geografía y Medio Ambiente – Universidad de
Córdoba
amanuelgomez@correo.unicordoba.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-8253-502X>
Córdoba – Colombia

Pedro Luis Payares Ramos

Ingeniero Sanitario y Ambiental
Docente de la Corporación Universitaria Remington – Seccional Montería
pedro.payares@uniremington.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-4564-7118>
Córdoba – Colombia

Oscar Efraín Tuiran Polo

Ingeniero de Sistemas

Docente de la Corporación Universitaria Remington – Seccional Montería

otuiran@uniremington.edu.co

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0005-9493-0771>

Córdoba – Colombia

Resumen

El presente estudio estima la distribución geográfica potencial de la familia *Verbenaceae* en el departamento del Tolima, Colombia, a partir de los registros botánicos de la base de datos del GBIF. La metodología utilizada se centró en la búsqueda de especies de la familia *Verbenaceae*, a partir de la depuración de la base de datos del GBIF del año 2022 y el uso del método de Maxent, lo que permitió realizar un mapa de distribución geográfica potencial, utilizando como insumos las coordenadas, temperatura y precipitación, lo que generó una distribución potencial de la familia. Se establecieron también las características ecológicas para las especies, tales como: a) origen, b) regiones biogeográficas, c) rango altitudinal, d) formas de vida, y e) estatus de conservación. Como resultados se obtuvieron modelamientos, patrones y fenómenos cuantitativos y cualitativos que fueron representados espacialmente denotando la relevancia que tienen los trabajos biogeográficos; la familia *Verbenaceae* está fuertemente influenciada por las condiciones bioclimáticas, mostrando una mayor presencia en las zonas norte del sector debido a las condiciones más favorables para su supervivencia.

Palabras claves: Biodiversidad, Ecosistema, Territorio, Maxent, Biogeografía.

Abstract

This study estimates the potential geographic distribution of the *Verbenaceae* family in the department of Tolima, Colombia, from the botanical records of the GBIF database. The methodology used focused on the identification of species in the *Verbenaceae* family, based on the debugging of GBIF of year 2022 database and the use of the Maxent method, what allowed to make a map of potential geographic distribution through coordinates, temperature and precipitation, which generated a potential distribution of the family. It was established the ecological characteristics for the species, such as: a) origin, b)



biogeographical regions, c) altitudinal range, d) life forms, and e) conservation status. As results, it was obtained: modeling, patterns and quantitative and qualitative phenomena that were spatially represented denoting the relevance of biogeographical works; the *Verbenaceae* family is strongly influenced by bioclimatic conditions, showing a greater presence in the northern areas of the sector due to the most favorable conditions for their survival.

Keywords: Biodiversity, Ecosystem, Territory, Maxent, Biogeography.

Introducción

El bosque seco tropical desempeña un rol fundamental en el equilibrio ecosistémico, ya que cumple con la función de ofrecer nichos ecológicos variados para la biodiversidad. Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de las Naciones Unidas y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (FAO y PNUMA, 2020), los bosques son fundamentales al ser el hábitat del 80% de anfibios, del 75% de aves y del 68% de los mamíferos. En el caso particular de los bosques secos tropicales (bs-T), estos se desarrollan en regiones cálidas entre 0 y 1000 msnm, con una temperatura promedio mayor a 24 °C y una precipitación anual entre 700 y 2000 mm (Espinal, 1985; Murphy & Lugo, 1986; Álvarez et al., 1997). El presente escrito resalta la importancia de este ecosistema para los territorios y las distintas especies florísticas que en él habitan.

Para Colombia, se tiene que este tipo de biomas se desarrollan en mayor medida en territorios que cumplan con las características apropiadas para el mismo, por ejemplo, a una temperatura de 25°C y que puede ascender a los 38°C; puede presentar una precipitación que oscila entre 789 y 1800 mm. El bosque seco tropical colombiano está ubicado en los departamentos de Antioquía, Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, la Guajira, Huila, Magdalena, Sucre, Valle del Cauca y Tolima (IAVH 1995, 1997; Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC, 1994) (**Figura 1**).

El propósito del presente trabajo fue analizar, caracterizar y modelar, según distintas fuentes de información y mediante técnicas, métodos y procedimientos de carácter cuantitativos y cualitativos, la distribución espacial de la familia *Verbenaceae* para el departamento del Tolima, Colombia.

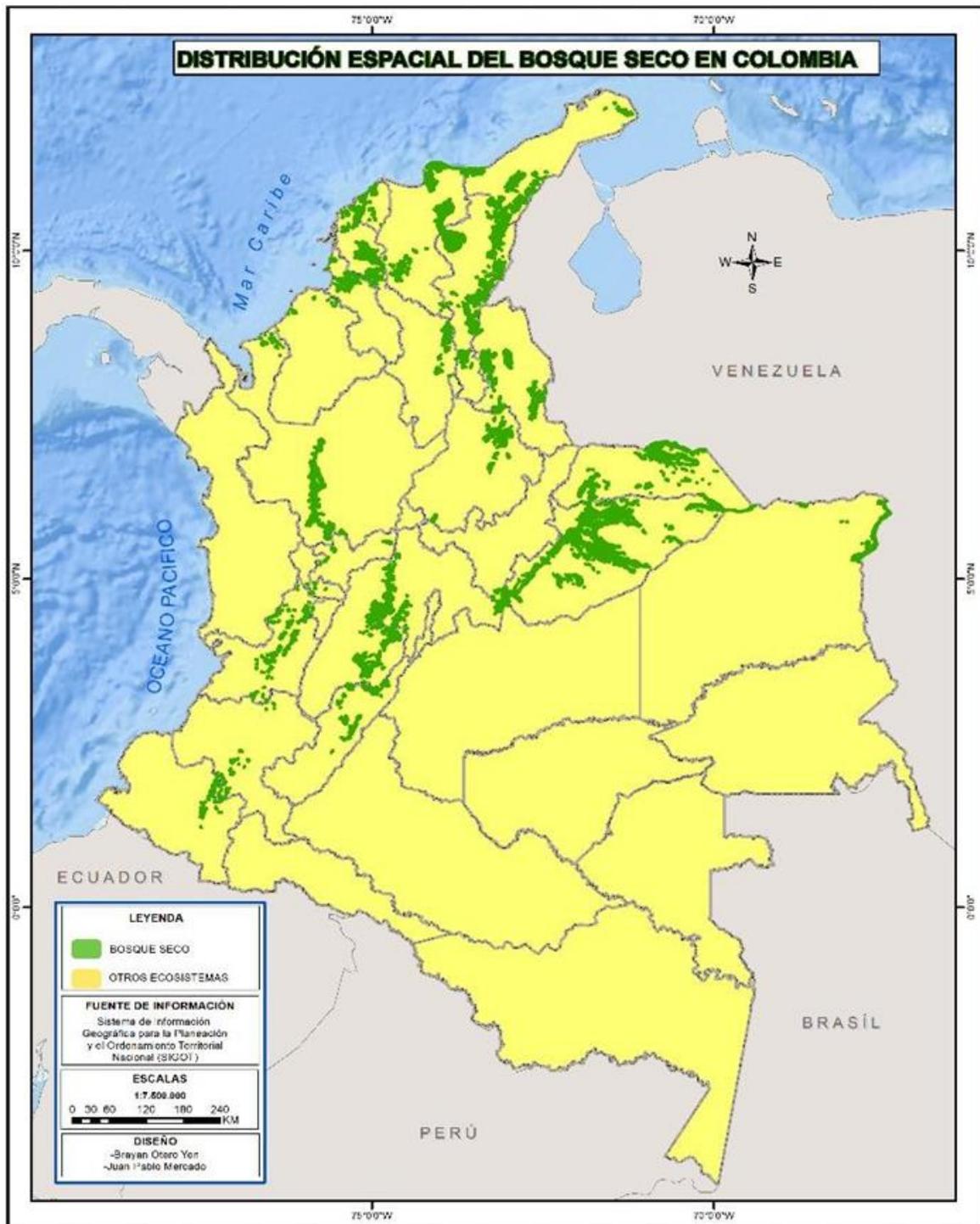


Figura 1. Distribución espacial del bosque seco tropical en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, la Guajira, Huila, Magdalena, Sucre, Valle del Cauca y Tolima en Colombia. Fuente: elaboración propia

Metodología

Área de estudio

El departamento de Tolima está localizado en la región central del país y conforma parte de la cordillera de los Andes, la cual se integra por 47 municipios y se circunscribe también en los departamentos Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca (**Figura 2**). En este territorio hay numerosos parches de bosque seco tropical que brindan características particulares a la biodiversidad. Según García et al. (2014), el departamento de Tolima cuenta con un 7% de bosque seco tropical a nivel nacional, denotando una crítica representatividad en estas áreas. Dada la importancia de este ecosistema y su escasa representatividad en el departamento, aunada a la problemática ambiental que nuestra biodiversidad enfrenta, sobresale como urgente el trabajo de biólogos, geógrafos, edafólogos, entre otros, para que así se pueda conocer su biodiversidad y proponer acciones para su conservación.

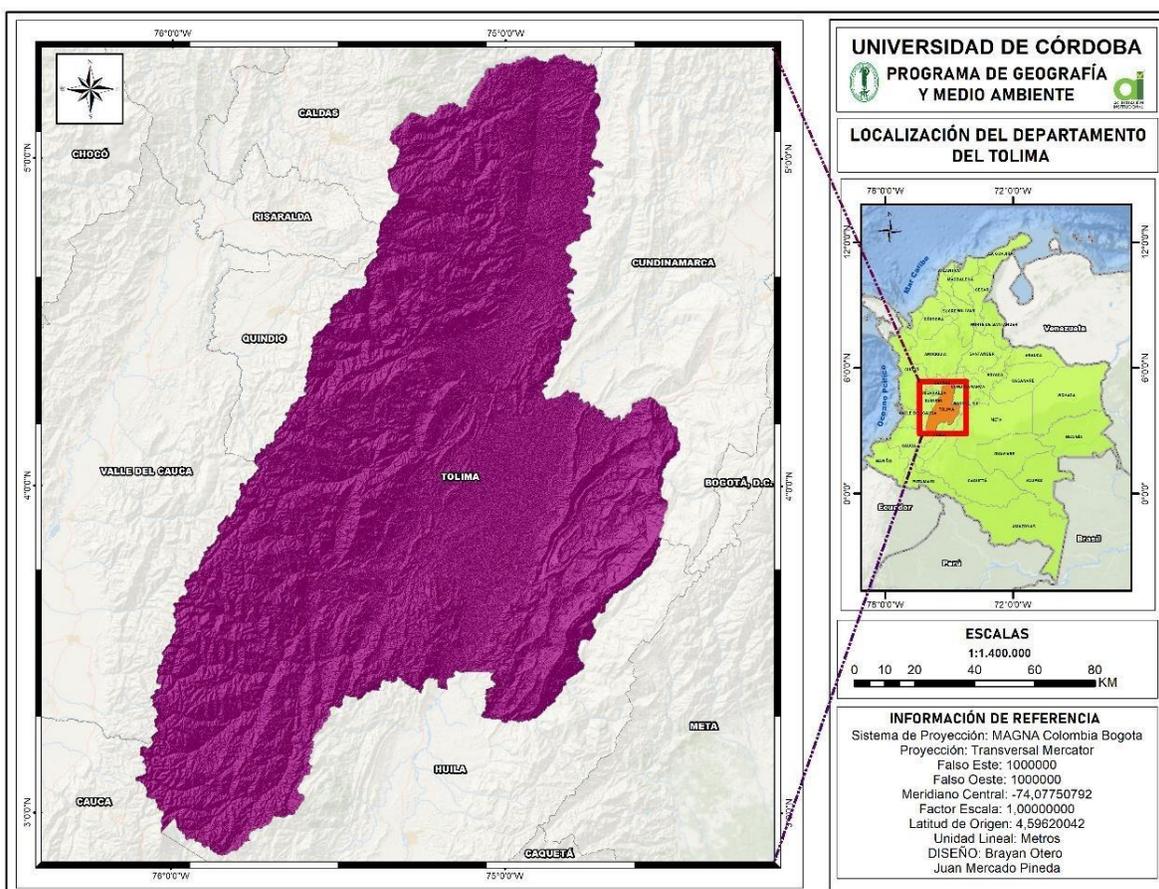


Figura 2. Localización espacial del departamento de Tolima. Fuente: elaboración propia

Caracterización de la vegetación

Se analizó la familia *Verbenaceae* en el bosque seco tropical del Tolima, Colombia, a través de la base de datos del Global Biodiversity Information Facility (GBIF), seleccionando a la flora vascular de esta familia presente en esta región. Para determinar el origen de las especies seleccionadas, su distribución en las regiones biogeográficas de Colombia, sus rangos altitudinales, formas de vida y estatus de conservación, se siguió la propuesta de Bernal, Gradstein y Celis (2019). Para el análisis espacial, que se basó en el modelamiento de nicho ecológico de la familia *Verbenaceae* en el departamento del Tolima, se emplearon las siguientes fases:

Descarga y limpieza de datos

A partir de la descarga, análisis, clasificación y supervisión de datos geográficos, se obtuvo la representación gráfica de la distribución potencial de la familia *Verbenaceae* en el departamento de Tolima. Primeramente, se descargó de la base de datos de GBIF, seguidamente se procedió con el proceso de limpieza de datos en el programa Excel, hasta quedar con las coordenadas norte y este de Colombia.

Las variables bioclimáticas (características que se encuentran presentes en el ambiente y que condicionan la ausencia o presencia de cierta familia, género o especie en un espacio geográfico) se descargaron de la página oficial de WorldClim.org (<https://www.worldclim.org/data/index.html>). El formato de estas capas ráster se descargó a una escala global, por lo que fue necesario hacer un recorte, mediante el software ArcGIS Desktop 10.8. El recorte se realizó con la capa vectorial del territorio nacional y superponiéndola con la capa ráster a nivel mundial, obteniendo como resultado una capa ráster del territorio nacional; cabe resaltar que este proceso se hizo con las capas de temperaturas y precipitaciones, que correspondieron a las variables bioclimáticas con los que MAXENT modeló la distribución potencial de la familia *Verbenaceae*.

Modelación y análisis de distribución de especie

Con la información de las variables bioclimáticas y las coordenadas de la familia *Verbenaceae* se realizó una modelación de nicho ecológico, cuya naturaleza es la identificación de sitios con ambientes similares donde ya se ha encontrado la presencia de

una especie (Scheldeman & van Zonneveld, 2011). El programa de modelación que se utilizó para identificar las áreas probables de presencia de las especies fue MAXENT 3.4.1. Para la ejecución del programa se identificaron los formatos de archivo de entrada. Las coordenadas estaban en formato .cvs con tres campos fijos que corresponden con la especie, longitud y latitud. En el caso de la información ráster (variables bioclimáticas) se trabajó con el formato BIL.

Resultados y discusiones

Datos obtenidos de GBIF

Colombia cuenta con un registro de ocurrencia de 13 géneros y 74 especies de la familia *Verbenaceae* (GBIF, 2018). Con base a la fracción del bosque seco tropical evaluado del departamento del Tolima, el registro de ocurrencia es de siete géneros (que corresponden al 53% del total en Colombia) y 12 especies (correspondiente al 16.2% de las especies distribuidas en el país) (**Figura 3**). Estas especies son consideradas de origen nativo, sobresaliendo *Lantana salicifolia* Kunth, la cual está considerada una especie endémica de Colombia. De los géneros registrados en la zona de estudio destacan *Lantana* y *Petrea* por presentar un mayor número de especies con respecto a *Bouchea*, *Duranta*, *Priva*, *Stachytarpheta* y *Verbena*, los cuales presentaron una sola especie.

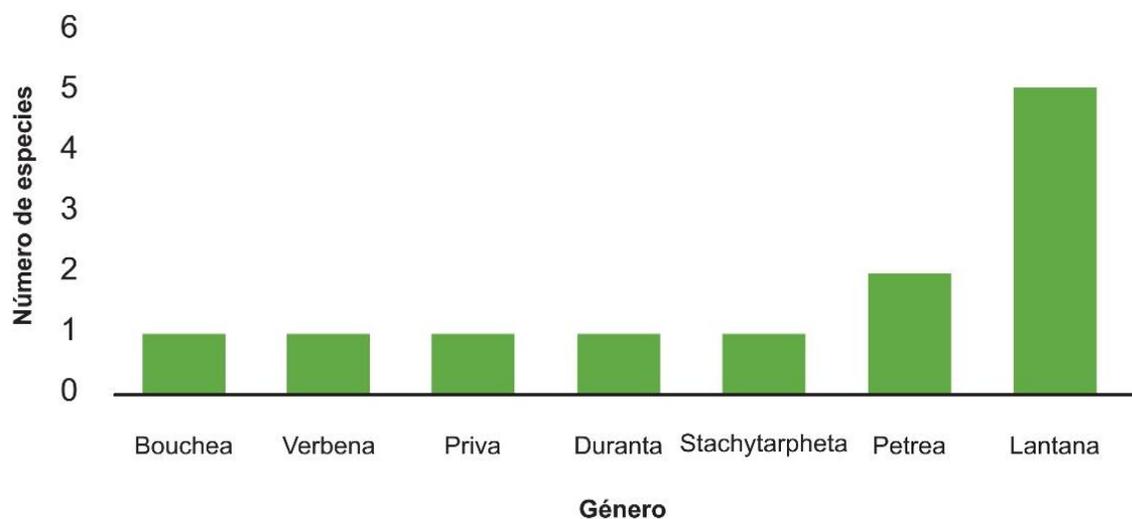


Figura 3. Número de especies por género reportadas para el enclave húmedo-seco andino del departamento de Tolima. Fuente: elaboración propia con base en datos del GBIF (2018)

Origen, formas de vida y distribución en regiones biogeográficas de Colombia

A la fecha, en Colombia se han definido 10 regiones biogeográficas, entre las que se encuentra la de los Andes, donde esta familia presenta mayor diversidad, con 11 especies, seguida del Valle Magdalena con 10 y el Valle del Cauca con 9. Cabe resaltar que la especie con mayor distribución en las regiones biogeográficas es *Lantana camara* L. y la de distribución más reducida es *L. rugulosa* Kunth y *L. salicifolia* Kunth (Bernal, Gradstein y Celis, 2019).

De acuerdo con Bernal, Gradstein y Celis (2019), las especies de plantas pertenecientes a la familia *Verbenaceae* presentan cinco diferentes formas de vida: árbol, arbusto, subarbusto, hierba y trepadora. En el caso de las especies de *Verbenaceae* aquí estudiadas, cuatro de ellas presentan tres formas de vida, cuatro presentan dos y cuatro una forma de vida. Los arbustos representan el 75% de las especies, los subarbustos 50%, las hierbas el 50%, los árboles el 16.6% y, por último, las trepadoras el 8.3% (**Tabla 1**).

Tabla 1.

Especies de la familia Verbenaceae reportadas para el departamento de Tolima, su origen, forma de vida y su distribución en las diferentes regiones biogeográficas de Colombia. Formas de vida: H= Hierba, S= Subarbusto, Ar= Arbusto, A= Árbol, T= Trepadora. Regiones biogeográficas: 1. Amazonia, 2. Andes, 3. Guayana y Serranía de la Macarena, 4. Islas caribeñas, 5. Llanura del Caribe, 6. Orinoquia, 7. Pacífico, 8. Sierra Nevada de Santa Marta, 9. Valle del Cauca, 10. Valle del Magdalena

Especie	Origen	Forma de vida	Región biogeográfica
<i>Bouchea prismatica</i> (L.) Kuntze	Nativa	H, S	2, 5, 9 y 10
<i>Duranta erecta</i> L.	Nativa	Ar	2 y 5
<i>Lantana camara</i> L.	Nativa	H, Ar, T	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 10
<i>Lantana fucata</i> Lindl.	Nativa	S, Ar	2, 9 y 10
<i>Lantana rugulosa</i> Kunth	Nativa	Ar	2
<i>Lantana salicifolia</i> Kunth	Endémica	S	10
<i>Lantana trifolia</i> L.	Nativa	H, S, Ar	2, 5, 6, 7, 9 y 10

Especie	Origen	Forma de vida	Región biogeográfica
<i>Petrea pubescens</i> Turcz.	Nativa	Ar, A	2, 6, 8, 9 y 10
<i>Petrea rugosa</i> Kunth	Nativa	Ar, A	2, 9 y 10
<i>Priva lappulacea</i> (L.) Pers.	Nativa	H	2, 4, 5, 9 y 10
<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich.) Vahl	Nativa	H, S, Ar	2, 5, 6, 7, 9 y 10
<i>Verbena litoralis</i> Kunth	Nativa	H, S, Ar	2, 5, 6, 7, 9 y 10

Fuente: elaboración propia con base en datos de GBIF (2018) y Bernal, Gradstein y Celis (2019)

Rango altitudinal

Las especies de la familia *Verbenaceae* presentes en el departamento de Tolima se establecen entre 5 y 2880 m s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), debido a la topografía y diferentes pisos bioclimáticos existentes en este territorio ubicado en la Cordillera de los Andes. En la **Tabla 2** se evidencian los rangos altitudinales en que se encuentra cada especie de la familia *Verbenaceae*. *Verbena litoralis* presenta un amplio rango altitudinal, que va desde 341 hasta 2880 m n.s.m., mientras que *Bouchea prismatica* se localiza en zonas más onduladas y planas, con un rango un poco más restringido (entre 5 y 1600 m n.s.m.).

Tabla 2.

Rango altitudinal de las especies de la familia Verbenaceae registradas para el departamento de Tolima

Especie	Rango altitudinal (m)	
<i>Bouchea prismatica</i>	5	1600
<i>Duranta erecta</i>	100	3140
<i>Lantana camara</i>	0	2800
<i>Lantana fucata</i>	400	2824
<i>Lantana rugulosa</i>	650	2800
<i>Lantana salicifolia</i>	300	400
<i>Lantana trifolia</i>	20	2080
<i>Petrea pubescens</i>	400	1500

Especie	Rango	
	altitudinal (m)	
<i>Petrea rugosa</i>	80	1400
<i>Priva lappulacea</i>	20	1200
<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	0	1800
<i>Verbena litoralis</i>	341	2880

Fuente: elaboración propia partir de datos de Bernal, Gradstein y Celis (2019)

Estatus de protección

Por su parte, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2023) proporciona una lista con categorías y criterios para clasificar a las especies en riesgo a nivel mundial, clasificando a las especies en nueve categorías: no evaluadas, datos deficientes, menos amenazadas, casi amenazadas, vulnerables, en peligro, en peligro crítico, extintas en estado salvaje y extintas. En el caso de la familia en estudio, se encontró que dos especies no se han clasificado en relación con los criterios, ubicándose en la categoría No Evaluada y las 10 especies restantes se encuentra en la categoría de Preocupación Menor, al no cumplir con los criterios que definen las otras categorías. Se incluyen en esta categoría taxones abundantes y de amplia distribución.

Distribución y Análisis Espacial

La distribución de las especies pertenecientes a la familia *Verbenaceae* en el territorio de Tolima, Colombia es un tema relevante para comprender la ecología y la biodiversidad de la región. La presencia de esta familia de plantas en la zona norte del departamento, en comparación con la zona este donde el clima frío y el relieve accidentado son desfavorables, demuestra que las condiciones bioclimáticas juegan un papel fundamental en su distribución espacial (López-Herrera et al., 2012; López-Herrera, 2011).

Los resultados de estudios como los de Sharma et al. (2005) y Ramaswami y Sukumar (2014) destacan que los arbustos de la familia *Verbenaceae* tienen una amplia plasticidad ecológica y son capaces de adaptarse a diversos hábitats y tipos de suelo. Estas especies



tienden a preferir climas cálidos y ocupan áreas abiertas y perturbadas como pastizales, bordes de bosques y áreas de regeneración después de eventos como incendios o talas.

La investigación botánica en la región ha contribuido significativamente al conocimiento de la biodiversidad vegetal y la ecología de las *Verbenaceae*. Los estudios de diversidad florística, la estructura de bosques y paisajes fisiográficos, así como la etnobotánica han enriquecido la comprensión de la importancia de esta familia en el contexto regional y su relevancia para la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales (López-Villafranco et al., 2017; Giraldo, 1999; Berdugo et al., 2012; Duque y Sierra, 2022).

En el caso específico de Colombia, el conocimiento sobre la distribución y ecología de la familia *Verbenaceae* es esencial para el diseño de estrategias de conservación y manejo de áreas naturales protegidas. La identificación de especies invasoras y sus impactos en los ecosistemas locales permite tomar decisiones informadas para mitigar sus efectos negativos y promover la conservación de la biodiversidad autóctona (**Figura 4**).

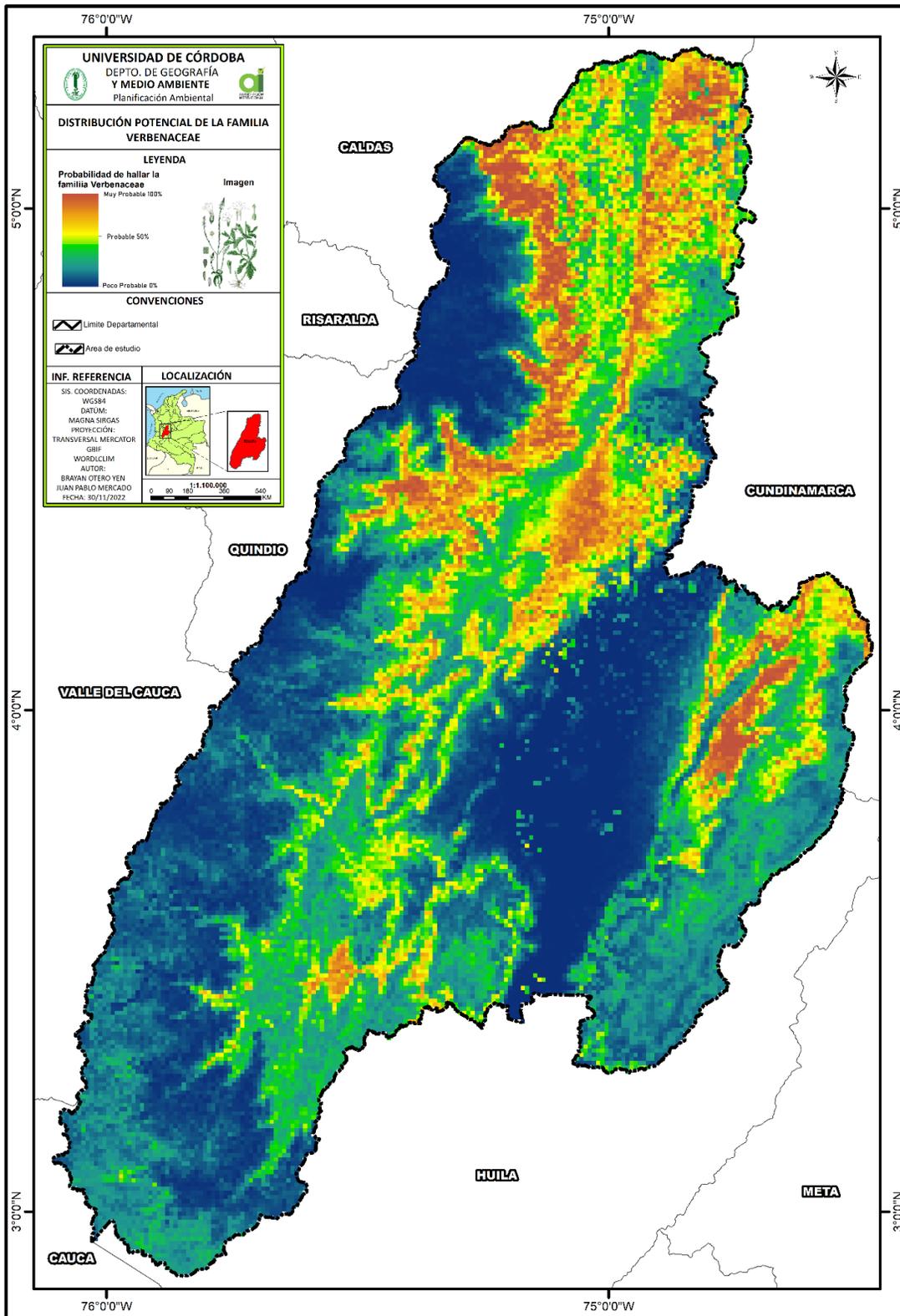




Figura 4. Distribución potencial de la familia *Verbenaceae* en el departamento de Tolima, Colombia. Fuente: elaboración propia

Conclusiones

El área estudiada presenta un total de 12 especies de la familia *Verbenaceae*, distribuidas en siete géneros, siendo la región biogeográfica de Los Andes donde esta familia presenta mayor diversidad. El 16.2% de la riqueza mundial de especies de la familia *Verbenaceae* en Colombia, se ha registrado en el departamento del Tolima.

Así, la familia *Verbenaceae* tiene un rango altitudinal que oscila entre 5 y 2880 m s.n.m., lo cual es bastante amplio, considerando también que el departamento de Tolima cuenta con diferentes pisos bioclimáticos, provocado por lo accidentado de su territorio. Respecto a las formas de vida, especialmente en los bosques presentes en el Tolima, existen cinco tipos: árbol, arbusto, subarbusto, hierba y trepadora. Según las categorías y criterios de la UICN, se encontraron dos especies de la familia que se ubican en la categoría “No evaluada” y las 10 especies restantes se encuentran en la categoría de “Preocupación menor”, donde se incluyen taxones abundantes y de amplia distribución.

La distribución de las especies de la familia *Verbenaceae* en el departamento de Tolima está determinada por las condiciones bioclimáticas, mostrando una mayor presencia en su zona norte, debido a las condiciones más favorables para su supervivencia. Es importante tomar en cuenta la investigación científica para comprender mejor la ecología de esta familia y su relación con la biodiversidad local, lo que permitirá desarrollar estrategias adecuadas para la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales en la región.

El Tolima, ha sufrido diversos procesos de actividades antrópicas en sus entornos naturales que han provocado cambios en la distribución de especies como las de la familia *Verbenaceae* y los bosques secos tropicales no han sido la excepción.

Referencias

- Álvarez, M., Escobar F., Mendoza, H., Repizzo, A. y Villareal, H. (1997). Caracterización ecológica de cuatro remanentes de bosque seco de la región Caribe colombiana. Grupo de Exploración y Monitorio Ambiental (GEMA), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9318>
- Berdugo-Lattke, M. L., Avella, A., y Rangel-Ch., J. O. (2012). Patrón de distribución de la riqueza vegetal en un gradiente de precipitación en el caribe de Colombia. Pp. 1-27. En: Rangel-Ch., J. O. (Ed.) Colombia Diversidad Biótica XII. La región Caribe de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. https://www.researchgate.net/publication/257429063_patron_de_distribucion_de_la_riqueza_vegetal_en_un_gradiente_de_precipitacion_en_el_caribe_de_colombia
- Bernal, R., Gradstein, S., y Celis, M. (2019). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (1994). Plan de manejo ambiental del complejo de humedales del alto río Cauca asociado a la laguna de Sonso - designado como sitio Ramsar (Valle del Cauca). https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/201902/PMA%20Sitio%20Ramsar_VF_ANEXO4.pdf
- Duque-Castrillón. A., y Sierra-Giraldo, A. (2022). Estructura y diversidad florística de dos bosques andinos en el Resguardo Indígena Nuestra Señora Candelaria de La Montaña (Riosucio, Caldas, Colombia). Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 26(2), 13-34. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/view/7514>
- García, H., Corzo, G., Isaacs, P., y Etter, A. (2014). Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: insumos para su gestión. Capítulo 8. P.p. 229-251. En: Pizano, C., y García, H. (eds.). El bosque seco tropical

- 
- en Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9333>
- Giraldo-Cañas, D. (1999). Riqueza, composición y distribución florística de los paisajes fisiográficos del eje de los ríos Apaporís y Amazonas, Amazonía Colombiana. *Darwiniana*, 37(1-2), 25-35. <http://www.ojs.darwin.edu.ar/index.php/darwiniana/article/view/347/341>
- Global Biodiversity Information Facility. (14 enero 2018). *Ocurrencias para descarga del Registros de GBIF*. gbif.org. <https://doi.org/10.15468/dl.example-donotcite>
- López-Herrera, L. G. (2011). Caracterización ecológica de un bosque secundario tardío, en el Área Natural Protegida Peñas Blancas, municipio de Calarcá, departamento del Quindío, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 23, 77-90. <https://revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/download/35/36/142>
- López-Herrera, L. G., Ramírez-H., Y. A., y Zamora-S., Y. D. (2012). Evaluación de la diversidad florística en cuatro bosques de la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados. *Boletín científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 16(1), 41-59. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a04.pdf>
- López-Villafranco, M. E., Aguilar-Contreras, A., Aguilar-Rodríguez, S., y Xolalpa-Molina, S. (2017). Las *Verbenaceae* empleadas como recurso herbolario en México: Una revisión etnobotánica-médica. *Polibotánica*, (44), 195-216. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-27682017000200195&script=sci_abstract
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Ramaswami, G., y Sukumar, R. (2014). *Lantana camara* L. (*Verbenaceae*) invasion along streams in a heterogeneous landscape. *Journal of Biosciences*, 39(4), 717-726. https://www.researchgate.net/publication/264796895_Lantana_camara_L_Verbenaceae_invasion_along_streams_in_a_heterogeneous_landscape



Scheldeman, X., y Zonneveld, M. (2011). Manual de capacitación en análisis espacial de la diversidad y distribución vegetal. Bioersity International, Roma, Italia. 186 pp.
<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/104630>

Sharma, G., Raghubanshi, A., y Singh, J. (2005). Invasión de *Lantana*: una visión general. Biología y manejo de malezas, *Weed Biology and Management*, 5 (4), 157-165. DOI:
<https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2005.00178.x>

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2023). The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2022-2. <https://www.iucnredlist.org>

Análisis geoespacial de zonas de amortiguamiento por fumigación aérea de plaguicidas en el cultivo de banano, Costa Rica

Geospatial analysis of buffer zones for aerial pesticide spraying on banana plantations, Costa Rica



E & T Programa Infantes y Salud Ambiental (ISA), Instituto Regional de Estudios en Sustancias

Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023: 21-46

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.4-1.2>

Recibido: 11/01/2023

Revisado: 08/04/2023

Aprobado: 30/08/2023

Luis Palomo-Cordero
Licdo. Ingeniería en Gestión Ambiental

Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA)

luis.palomo.cordero@una.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-9561-6742>

Heredia, Costa Rica.

Reichel Rodríguez-Miranda

Máster en Educación Rural Centroamericano

Programa Infantes y Salud Ambiental (ISA), Instituto Regional de Estudios en Sustancias

Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA)

reichel.rodriguez.miranda@una.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0003-1745-5477>

Jane A Hoppin

ScD in Environmental Health and Epidemiology

Center for Human Health and the Environment and Department of Biological

Sciences, North Carolina State University

jahoppin@ncsu.edu

<https://orcid.org/0000-0001-8456-0969>

Raleigh, NC, USA

Berna van Wendel de Joode

PhD en Evaluación de Exposición y Epidemiología Ambiental

Programa Infantes y Salud Ambiental (ISA), Instituto Regional de Estudios en Sustancias

Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA)

Resumen

La aplicación aérea de plaguicidas está permitida en América Latina y Estados Unidos, pero prohibida en la Unión Europea. En Costa Rica, se establece una franja de ≥ 100 metros sin aplicación aérea, reducible a 30 metros si existe una barrera natural. El objetivo del estudio fue analizar zonas de amortiguamiento y algunas prácticas de aviación agrícola en fincas bananeras del cantón de Matina, Costa Rica, según la reglamentación existente.

Durante el I semestre 2021, se utilizó imágenes satelitales de Google Earth para la fotointerpretación e identificación de barreras naturales del área del estudio. Posteriormente, se visitaron 63 sitios sin barrera natural y se entrevistó a 58 personas vecinas sobre prácticas de fumigación. Se analizó la información recolectada en ArcGIS 10.7.

Mediante el análisis SIG se identificó 44 kilómetros de línea de cultivo sin barrera natural adyacentes a viviendas y carreteras. Durante el último mes, el 88% de las personas entrevistadas reportó aplicaciones aéreas a < 100 metros de espacios públicos en sitios sin, o a < 30 metros de espacios públicos en sitios con, una barrera natural. Además, 43% indicó haber observado trabajadores dentro del campo de cultivo durante aplicaciones por vía aérea, y 59% en condiciones ventosas. Se estimó un $3,3 \text{ km}^2$ de cultivos de banano sembrados en áreas de protección.

Los resultados sugieren que las empresas bananeras del cantón de Matina frecuentemente incumplen la regulación costarricense de aviación agrícola. Los sistemas de información geográfica forman una valiosa herramienta para fortalecer la implementación de legislaciones ambientales en América Latina.

Palabras clave: sistemas de información geográfica; aviación agrícola; agricultura; cumplimiento legal; deriva.

Abstract

Aerial pesticides spraying is allowed in Latin America and the United States but prohibited in the European Union. In Costa Rican by legislation a ≥ 100 meters' distance



without aerial application has been established, that can be reduced to 30 meters if a natural barrier exists.

We aimed to analyze buffer zones and aerial spraying practices on banana plantations situated in Matina County, Costa Rica, within the context of national regulations.

During the I semester of 2021, we used Google Earth satellite images (years: 2019 - 2021) for landscape recognition and the identification of buffer zones. Then, we visited 63 sites without natural barriers and interviewed 58 neighbors about spraying practices using a structured questionnaire. We analyzed the collected data in ArcGIS 10.7.

Using geographical information system (GIS) analysis, we identified 44 km of field borders without natural barriers, of which 52% adjacent to houses and 48% to roads. Eighty-eight percent the interviewees reported to have observed aerial spraying at <100 meters from public spaces in sites without, or <30 meters in sites with, natural barriers, during the last month. Also, 48% percent had observed workers inside the crop field during aerial spraying during last month, and 59% indicated having observed aerial spraying in windy conditions. With SIG, we estimated an area of 3.3 km² of banana crops grown in protected areas that should be destined to riparian forests.

Our data suggest that banana companies from Matina County only partly fulfill Costa Rica aerial pesticide spraying regulations.

Key words: geographical information systems; agricultural spraying; agriculture; legal compliance; drift.

Introducción

Un problema común de la aviación agrícola es la deriva del plaguicida aplicado, es decir, la fracción de sustancia que sobrepasa el área objetivo por corrientes de viento (Zhang et al. 2018). Se ha demostrado que la deriva genera contaminación ambiental, la cual puede afectar la salud de poblaciones humanas y otros organismos que habitan en la colindancia de los cultivos fumigados (Corrales et al. 2022; Giffin et al. 2022; Mora et al. 2018; van Wendel de Joode et al. 2014, 2016). El control y manejo del efecto deriva es complejo debido a la influencia de las condiciones meteorológicas, la aerodinámica de los aerosoles, así como la

volatilización de sustancias a la fase gaseosa (Rojo et al. 2019). Por ejemplo, estudios realizados en Brasil sobre el efecto de la deriva, han detectado residuos de plaguicidas en muestreadores colocados a 2 km de distancia con respecto a las áreas de aplicación por vía aérea, mientras que en aplicaciones terrestres se ha determinado > 50 m como la distancia segura de amortiguamiento para reducir los impactos de la deriva en organismos acuáticos (Barraza et al. 2011; Bueno y Da Cunha 2020; Rojo et al. 2019).

Las fumigaciones aéreas han sido prohibidas en países de la Unión Europea por los riesgos que representan a nivel de exposición ambiental y de salud pública (European Parliament and of the Council 2009; Tudi et al. 2022). Adicionalmente, existen diferencias entre países de América Latina con respecto a las distancias de amortiguamiento sin aplicación aérea (Tabla 1). En Ecuador, el principal exportador de banano en Latinoamérica (OEC 2021), se establece una franja sin fumigación aérea de 200 m (Acuerdo No 365 - Reglamento Interministerial para el saneamiento ambiental agrícola, 2015), igual que Chile (Ministerio de Salud 2015). En Brasil, para aviación agrícola en cultivos de banano se determina una distancia de no aplicación de 250 metros (m) como mínimo de centros poblacionales (Diário oficial da união 2020). Por otro lado, en Colombia, son 100 m sin aplicación aérea, que se pueden incrementar dependiendo del plaguicida, clase de cultivo, lugar de aplicación y condiciones ambientales según determinen los Consejos Asesores Seccionales, Regionales o la Autoridad Sanitaria (Ministerio de Salud 1991). Finalmente, en Guatemala y Costa Rica, también son 100 metros sin aplicación aérea (La Gaceta 2003; MAG et al. 2007; Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional 2014).

Tabla 1. Zonas de amortiguamiento o franjas de protección reglamentadas por algunos otros países de Latino América.

País	Zona de amortiguamiento / franja de seguridad (metros)	Velocidad del viento (km/h)	Altura del vuelo	Regulación / decreto / normativa
Brasil	250 metros de poblaciones (ciudades, pueblos y barrios).	No realizar aplicaciones con fuertes vientos.	> 4 m	- Instrução normativa N° 13, de 8 de abril de 2020

	30 metros de viviendas aisladas y grupos de animales.				- Instrução normativa conjunta Nº 1, de 28 de dezembro de 2012
Chile	200 metros	15 km/h	Según el DAN 137 la altura mínima a volar es la correspondiente a la de un diámetro de rotor principal		Decreto num. 5 Reglamento sobre aplicación aérea de plaguicidas DAN 137 “Trabajos aéreos”
Colombia	100 metros aplicaciones aéreas (se puede incrementar la distancia dependiendo de las características del plaguicida, clase de cultivo, lugar de aplicación, condiciones ambientales según recomiende el considere Consejos Asesores Seccional, Regional o específico de la autoridad sanitaria).	8 km/h	3 m		Decreto número 1843 de 1991.
Costa Rica	100 metros sin barreras naturales y 30 metros con barreras naturales	15 km/h	5 m desde el dosel de las plantaciones		Reglamento No. 31520 para las actividades de Aviación Agrícola
Ecuador	200 metros en perímetros aledaños a zonas pobladas centros educativos, centros de salud, centros recreativos al aire libre y cuerpos de agua destinados para consumo humano.	9,3 km/h	Igual o inferior a 5 m sobre el dosel de las plantas		Acuerdo No. 365 - Reglamento Interministerial para el saneamiento ambiental agrícola
Guatemala	100 metros sin barreras naturales y 30 metros con barreras naturales	No indica	20 m		Reglamento sobre trabajos aéreos y de aspersión.

Fuente: elaboración propia.



En Costa Rica, indican 100 metros sin aplicación aérea, medidos horizontalmente, con respecto a cualquier carretera, centro poblacional, casas de habitación, edificios donde permanezca personal laborando, fuentes de agua y cultivos aledaños, o fincas vecinas (La Gaceta 2003; MAG et al. 2007). Se señala que la distancia puede reducirse a 30 m, en caso de existir una barrera natural sembrada de árboles, de altura mayor al dosel de la plantación, de ≥ 30 m de ancho. Además, se prohíbe la presencia de trabajadores dentro del campo a tratar durante la fumigación aérea, la aplicación aérea solamente puede llevarse a cabo en días con una velocidad del viento ≤ 15 km/h y se prohíbe la aplicación de plaguicidas sobre cuerpos de agua como ríos, quebradas, lagos, entre otros, que sean de dominio público. Finalmente, se indica una franja de protección de 15 m, medidos horizontalmente, a ambos lados de las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano (Asamblea Legislativa 1996).

En Costa Rica, el banano para exportación es el cultivo con mayor frecuencia y cantidad de plaguicidas aplicados por vía aérea (Pomareda 2021), en el cual se ha reportado la aplicación de al menos 12 ingredientes activos (i.a.) de fungicidas por vía aérea representando cerca de 34 kg i.a. por hectárea/año (Bravo et al. 2013). El fungicida más aplicado por vía aérea es el mancozeb, con aproximadamente 48 aplicaciones anuales (28-52 ciclos de fungicidas por ciclo de cultivo (+/- 37 semanas), resultando en 0,8 – 1,4 aplicaciones semanales (Vargas et al. 2017). El alto uso de plaguicidas responde a las necesidades de producción intensiva de la fruta en una zona tropical; Costa Rica es el segundo mayor exportador de banano de la región latinoamericana después de Ecuador (FAO 2022). En Costa Rica, el cantón de Matina cuenta con la mayor producción de banano, donde ~ 142 km² de su territorio es utilizado para su siembra (Rodríguez-Miranda et al. 2022).

En zonas agrícolas, las poblaciones viven frecuentemente cercanas a los cultivos, reflejado por la ubicación del 40% de los centros educativos a menos de 100 metros de distancia de fincas bananeras en el cantón de Matina (Rodríguez-Miranda et al. 2022). La aplicación de plaguicidas por vía aérea ha sido percibida como un riesgo para la salud de la población que vive cercana a los campos agrícolas, y se ha documentado que la legislación para regular actividades de aviación agrícola a veces se incumple (Barraza et al. 2011). Además, el personal de centros educativos del cantón de Matina, una zona con frecuente fumigación aérea ha reportado una mayor percepción de riesgos por el uso de plaguicidas en



comparación con el personal de Siquirres y Talamanca, zonas de menor frecuencia de aplicación por vía aérea (Barraza et al. 2011). Resultados de investigaciones realizados en el cantón de Matina han demostrado mayores concentraciones de plaguicidas y/o sus metabolitos en muestras de aire y polvo de centros educativos ubicados a menor distancia de, y muestras urinarias de niños y mujeres viviendo proximales a, fincas bananeras (Córdoba et al. 2020; Giffin et al. 2022; van Wendel de Joode et al. 2014).

Los análisis geospaciales por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido utilizados para la evaluación de exposición ambiental a plaguicidas y sus impactos en la salud pública (Córdoba et al. 2020; van Wendel de Joode et al. 2014). Sin embargo, hasta donde llega nuestro conocimiento, no han sido utilizados para analizar las zonas de amortiguamiento por fumigación aérea. Por tanto, el objetivo del estudio fue analizar las zonas de amortiguamiento y algunas prácticas de fumigación aérea de plaguicidas en el cultivo de banano del cantón de Matina, Costa Rica, mediante la aplicación de SIG y entrevistas estructuradas a vecinos.

Metodología

Área de estudio

El estudio se realizó entre febrero y junio del 2021. El área de estudio correspondió al cantón de Matina, provincia de Limón, Costa Rica (Figura 1), donde se han desarrollado investigaciones del programa Infantes y Salud Ambiental (ISA) para la exposición a plaguicida y la salud de niños, niñas y mujeres (Corrales et al. 2022; Mora et al. 2018; van Wendel de Joode et al. 2014). El cantón se ubica en la subregión Caribe Norte donde se presentan precipitaciones entre los 3 500 – 4 500 mm anuales y vientos provenientes del este durante casi todo el año, excepto por las noches donde prevalecen brisas tierra-mar, cuya dirección tienen componente del oeste a bajas velocidades (Manoso, Stolz, y Fallas 2005).

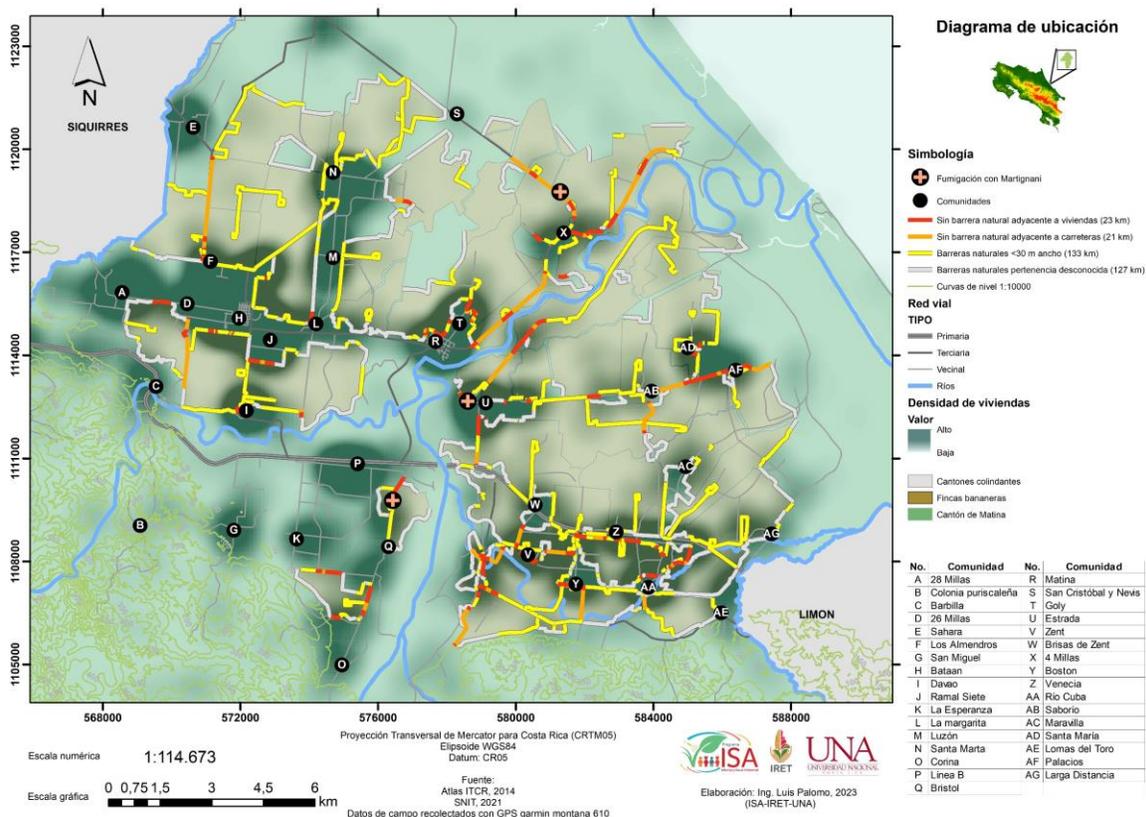


Figura 1. Estado de las barreras naturales en el cantón de Matina, Costa Rica, según la fotointerpretación de imágenes satelitales y comprobación en campo entre febrero y junio del 2021.

Análisis del estado de las barreras naturales y áreas de protección forestal mediante SIG

De febrero a marzo de 2021, se reconoció el estado de todos los bordes de cultivo de las fincas bananeras foto-interpretando imágenes satelitales de los años 2019 y 2021 disponibles en Google Earth Pro. Se dibujó polilíneas en formato .kml para señalar tres escenarios de bordes del cultivo de banano a menos de 100 m de cualquier carretera, centro poblacional, casa de habitación, edificio, fuentes de agua o cultivos aledaños: 1) sin barrera natural o barrera incompleta, 2) barrera natural con un ancho menor a 30 m, y 3) barrera natural con ancho mayor o igual a 30 m, pero con desconocimiento de pertenencia de la barrera a fincas bananeras, fincas aledañas y/o áreas de dominio público.

Se analizó la superposición poligonal de áreas de cultivo de banano y retiros de los cuerpos de agua de dominio público, específicamente de ríos y quebradas contiguos a las fincas bananeras. Para este análisis se tomó como criterio lo especificado en el artículo 68 del decreto No. 31520, vinculante con el artículo 33 de la Ley Forestal 7575 (Tabla 2). Se calculó el área de fincas bananeras situadas en zonas de protección de bosque de ribera.

Visita a sitios sin barrera natural o barrera fragmentada

Posteriormente, del 02 de marzo al 29 de junio de 2021, se observaron a 63 sitios del primer escenario en campo (Tabla 2). En el campo se validó lo identificado mediante las imágenes satelitales y se documentó barreras inexistentes y fragmentadas. Se grabó un trayecto en el dispositivo GPS (Garmin Montana 610) de los segmentos con una barrera natural deficiente y/o ausente. Se documentó el nombre de las fincas bananeras, según la rotulación en el campo.

Tabla 2.

Artículos del decreto 31520, su reforma 34202, y la Ley Forestal 7575 analizados mediante SIG, observaciones en campo y entrevistas a vecinos.

Decreto/Ley (Artículo)	Contenido	Verificación SIG/observación entrevista	Pregunta del cuestionario*
Decreto 31520 y su reforma 34202 (63)	<p>Criterios de cumplimiento a los efectos de espolvorear y asperjar agroquímicos:</p> <p><i>“...las condiciones climáticas, la dirección y la velocidad del viento, cuyos límites máximos deben ser de 10 km/h para espolvoreo y 15 km/h para aspersiones...”</i></p>	Entrevista	Durante el último mes, ¿usted ha visto que realizaron una fumigación aérea mientras hubo mucho viento?

(68)	Prohibición de aspersión y polvoreo de plaguicidas en zonas acuíferas:	SIG	No aplica
------	--	-----	-----------

“Se prohíbe la aspersión y espolvoreo de plaguicidas sobre los diferentes cuerpos de agua (ríos, lagos, embalses, manantiales, esteros, pantanos, manglares, quebradas, lagunas, océanos, mares y estuarios).”

(70)	Requisitos de cumplimiento en las aplicaciones aéreas de plaguicidas respecto a centros de población o granjas:	SIG Entrevista	¿Durante el último mes, ¿ha observado aplicación de plaguicidas por fumigación aérea a menos de 100 metros en lugares donde la siembra de una barrera de árboles está ausente?
------	---	-------------------	--

“Las aplicaciones aéreas de plaguicidas pueden llevarse a cabo si entre el campo a tratar y cualquier carretera, centros de población, casas de habitación, edificios donde permanezca personal laborando, fuentes de agua y cultivos aledaños o fincas vecinas susceptibles a efectos negativos derivados del plaguicida aplicado, se deja una franja de no aplicación aérea no menor de 100 metros.”

“La distancia podrá reducirse de 100 hasta 30 metros si se dispone de una zona de amortiguamiento y se cumplen las siguientes condiciones:	SIG Observación altura árboles Entrevista	¿Durante el último mes, ¿ha observado aplicación de plaguicidas por fumigación aérea a menos de 30 metros en lugares donde existe una barrera de árboles?
a) <i>...árboles de especies ... nativas con una altura mayor al cultivo y un ancho mínimo de 30 metros...”</i>		



<p><i>“El dueño de la plantación o cultivo también será responsable de velar que durante la aplicación de agroquímicos no existan personas (incluyendo sus trabajadores), cultivos o animales dentro del perímetro de la siembra que puedan ser afectados”</i></p>	<p>Entrevista</p>	<p>Durante el último mes ¿Ha observado la presencia de trabajadores en el campo mientras aplicaban plaguicidas vía aérea?</p>
--	-------------------	---

<p>Ley Forestal 7575 (33)</p>	<p><i>“Áreas de protección Se declaran áreas de protección las siguientes: Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado”</i></p>	<p>SIG</p>	<p>No aplica</p>
--------------------------------------	--	------------	------------------

Fuente: elaboración propia.

Entrevista a pobladores: comprobación de prácticas de incumplimiento

En 58 de los 63 sitios observados, se entrevistó a una persona vecina por muestreo de conveniencia; a la primera persona que se encontraba en cada lugar se le pedía su colaboración con una breve entrevista sobre prácticas de fumigación aérea. Si la persona prefería no colaborar (n = 6), se solicitaba la colaboración a la siguiente persona que se encontrara en el sitio. A las personas se les consultó sobre actividades de aviación agrícola durante el último mes (Tabla 2). Al final del cuestionario hubo un espacio para incluir comentarios adicionales por parte de las personas entrevistadas. Las respuestas al cuestionario se guardaron en Microsoft Forms. Se georreferenció la información de las entrevistas con los trayectos grabados en el GPS.



Resultados

Análisis geoespacial de zonas de amortiguamiento

La Figura 1 demuestra del área del cultivo banano y 33 poblaciones del cantón de Matina donde existe un centro educativo. Además, refleja el estado de las barreras naturales entre febrero y junio del 2021, según la fotointerpretación de imágenes satelitales y comprobación en campo. De manera general, se observa que la mayor población se concentra hacia las zonas de llanura donde hay una mayor presencia de las fincas bananeras, mientras que las zonas montañosas no son tan habitadas (Figura 1).

Las polilíneas de color rojo y naranja de la Figura 1, corresponden a fincas bananeras sin barrera natural, o con una barrera fragmentada, situadas a menos de 100 m de viviendas y carreteras, respectivamente, que fueron observados y grabados con GPS. El total de km lineales de estas polilíneas de color rojo y naranja fue de 44 km, el 52 % (23 km) fueron fincas bananeras adyacentes a viviendas y 48% (21 km) adyacentes a carreteras. En todas las comunidades con más de 551 viviendas/km² se presentaron sitios sin barrera natural o fragmentada adyacente a viviendas, indicados según densidad de viviendas. Las polilíneas de color amarillo y gris fueron identificadas por fotointerpretación satelital. Según el análisis, existen 133 km de borde de cultivos donde la barrera natural tiene un ancho < 30 m (polilíneas amarillas) y 127 km con barreras naturales con ancho \geq 30 m (polilíneas color gris). Se desconoce si esta últimas corresponden a barreras naturales sembradas dentro de las fincas bananeras, o si este espacio perteneció a fincas aledañas o de dominio público.

Durante las observaciones en campo se documentó, en algunos de los sitios indicados por las polilíneas rojas y anaranjadas, la deriva de plaguicidas (residuos de deposición) sobre las superficies de objetos ubicados en espacios residenciales, por ejemplo, en el parabrisas de los vehículos estacionados dentro de los garajes y las plantas del jardín (Figura 2).

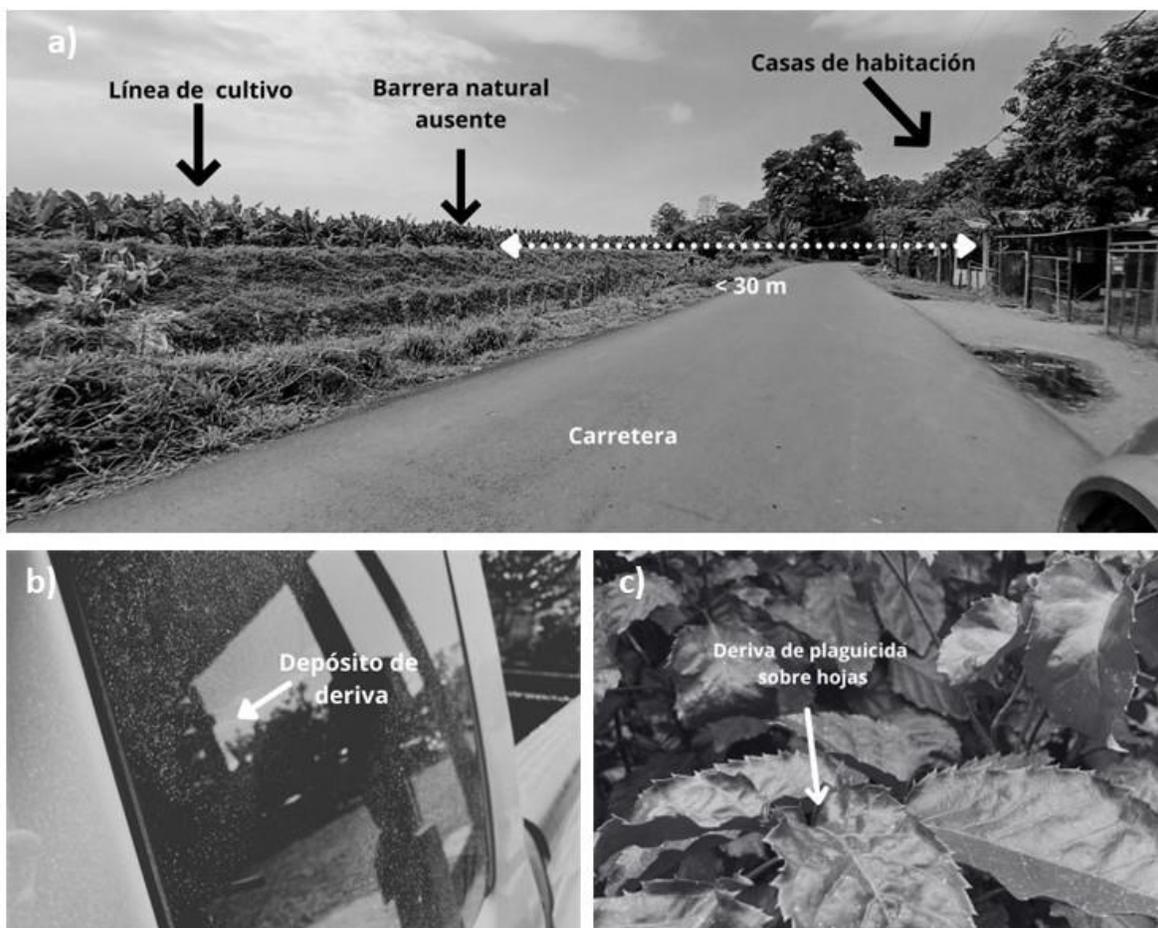


Figura 2. Ejemplos de deriva de plaguicidas, Cantón de Matina, Costa Rica, (2021).

Prácticas de fumigación aérea reportadas por personas entrevistadas

Sobre las distancias de aplicación de plaguicidas por vía aérea, un 88% (n=51) reportó haber observado la aplicación de plaguicidas a menos 100 metros a partir de la línea de cultivo durante el último mes en sitios sin barrera natural, o a menos de 30 metros en sitios con barrera natural (Figura 3).

Algunas personas comentaron que el líquido aplicado por vía aérea les había caído directamente sobre la piel cuando transitaban hacia sus destinos. Varias personas indicaron haber documentado la deposición de plaguicidas sobre carros parqueados bajo techo en sus casas de habitación. Un vecino de una comunidad de Matina indicó:

“Eso nunca se ha respetado [las distancias de aplicación], siempre pasan por encima y hasta nos bañan con el líquido ese que tira la avioneta sin importar la distancia” (comunicación personal por vecino entrevistado en una de las comunidades del área de estudio, junio 2021).

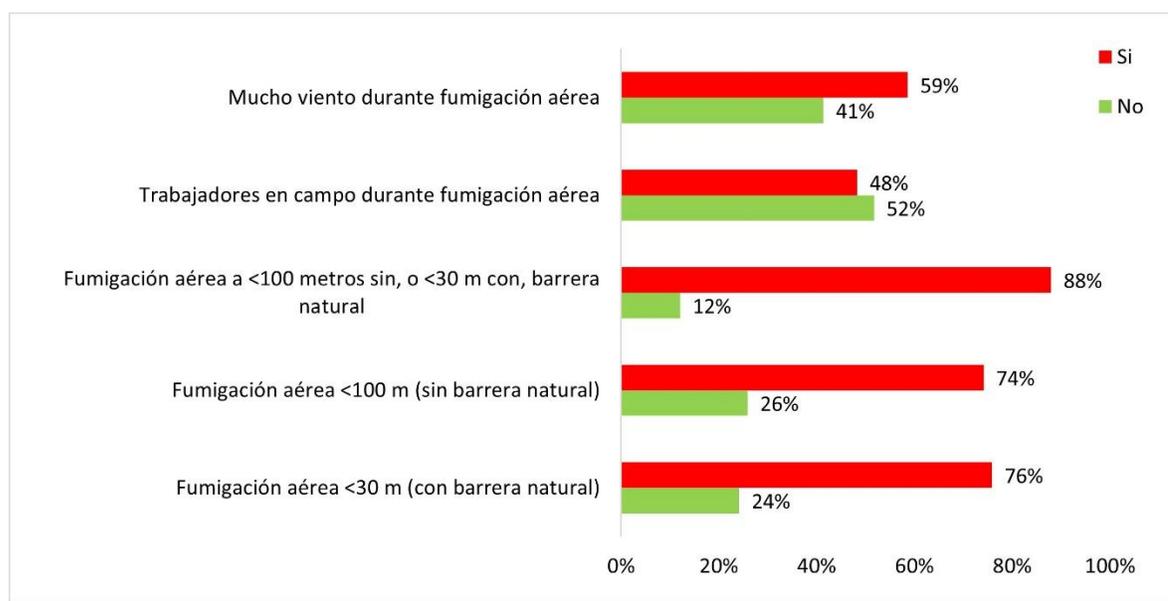


Figura 3. Prevalencias de prácticas indebidas de fumigación aérea reportadas por vecinos durante el último mes (n = 58), cantón de Matina, (2021).

De acuerdo con algunos participantes de la entrevista, la calidad de las barreras naturales ha sido un tema discutido en sitios como el poblado de Matina, pues se indicó que se ha tomado la decisión de no mejorar el estado de estas por que se convierten en espacios clave para la operación del hampa. Por otra parte, en tres lugares, las personas entrevistadas mencionaron que las fumigaciones aéreas se alternaban con aplicaciones utilizando el Martignani, enfatizando que en días que hace mucho viento se aplica con el “camión”.

En cuanto a fumigaciones aéreas en condiciones de mucho viento (Figura 4), un 59% (n = 34) indicó que en el último mes se aplicaron plaguicidas por vía aérea en condiciones de mucho viento (polilíneas de color rojo). Particularmente, se refirieron a aplicaciones durante la Semana Santa de 2021 (28 de marzo - 3 de abril de 2021) indicando que hubo mucho viento mientras fumigaban. Por otra parte, veinte personas (43%) entrevistadas indicaron haber observado la presencia de trabajadores en el campo mientras aplicaban

plaguicidas por vía aérea (polígonos de color rosado). Para explicar esta información, un vecino, quien indicó ser trabajador bananero, detalló:

“...dividen la finca en dos áreas: rojo y verde, de modo que, si se fumigan vía aérea la zona roja, todos los trabajadores deben realizar labores de mantenimiento de la plantación en la zona verde y viceversa...Cuando fumigan después de llover se intercambian las áreas y se pierde control...tampoco se respetan los tiempos de reingreso a las fincas, normalmente solo les piden 30 min” (Comunicación personal con vecino).

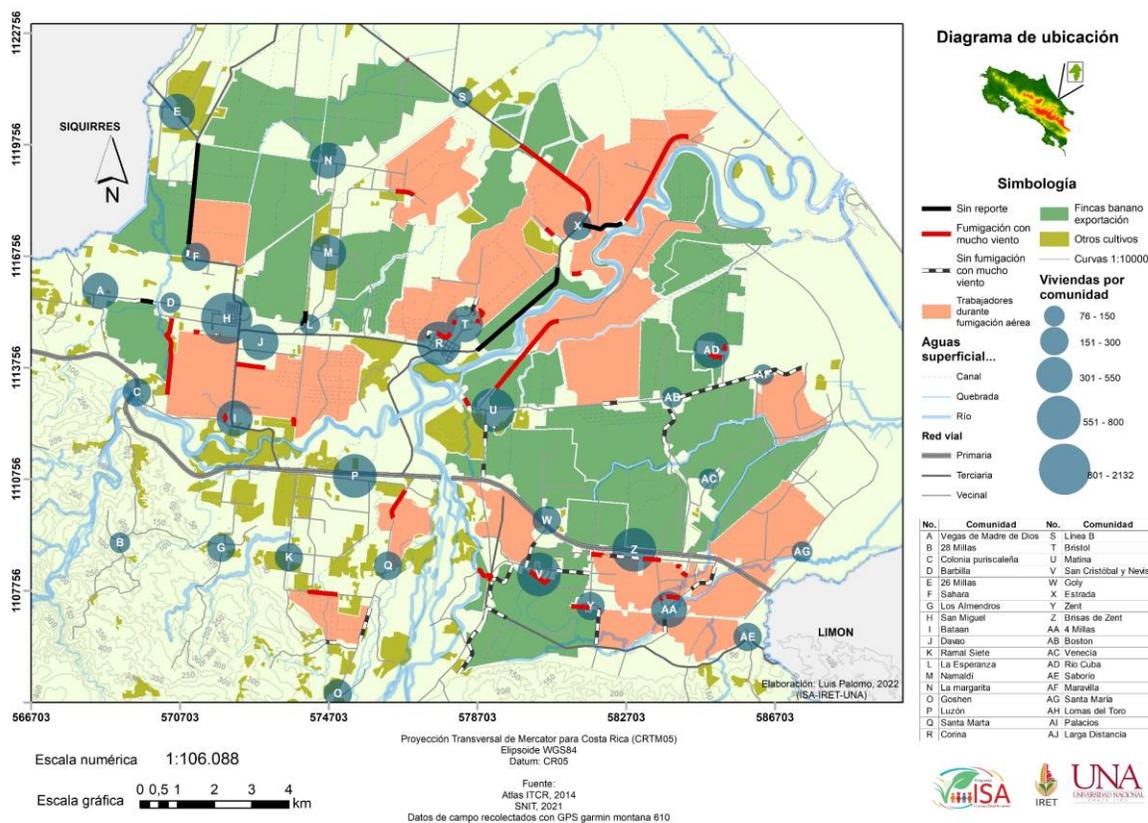


Figura 4. Prevalencia de fumigaciones aéreas en condiciones ventosas y presencia de personas en el campo durante el último mes reportados por vecinos, cantón de Matina, (2021).

Once (19%) de las personas entrevistadas indicó haber puesto una queja con respecto a fumigaciones aéreas. La mayoría tuvo comunicación directa con la administración de la finca (n = 9) y dos personas realizaron denuncias formales, una persona en el Ministerio de Salud y la dirección del Agua del Ministerio de Ambiente y Energía, y la otra persona en la Fiscalía del Poder Judicial. Algunas personas indicaron que, después de haber puesto la



queja, hubo mejoras de forma temporal, pero con el tiempo las malas prácticas de fumigación reincidieron. Por ejemplo, una persona comentó que después de interponer una denuncia formal ante el Ministerio de Salud y Defensoría de los Habitantes, la bananera desplazó del cultivo hacia adentro. Indicó que hubo un seguimiento durante un año, periodo en que firmó un registro cada cinco días haciendo constar que la fumigación aérea no le afectó. Sin embargo, una vez que se finalizó el seguimiento, percibió nuevamente los efectos de la deriva sobre su huerta sembrada adyacente al campo tratado por vía aérea.

Con respecto a las personas entrevistadas que no habían puesto quejas o denuncias, algunos indicaron no haberlo hecho por temor a perder sus trabajos actuales, o no ser contratados a futuro. Otras personas indicaron desconocer cómo denunciar. Durante las visitas a campo, algunos vecinos solicitaron asesoramiento y acompañamiento para interponer una denuncia ante la Comisión Asesora para el Control y Regulación de las Actividades de Aviación Agrícola, en adelante Comisión Asesora de Aviación Agrícola. A estas personas se les solicitó documentar los hechos, como: hora, fecha, lugar, matrícula de la avioneta y descripción de las afectaciones. Se interpuso en total cuatro denuncias que fueron atendidas por parte de la Comisión Asesora de Aviación Agrícola semanas después de presentar los actos probatorios. En uno de los casos, se dio un seguimiento más cercano, y se documentó que el denunciante percibió una reducción de la deriva después de que la empresa respectiva cambió la fumigación aérea por fumigaciones con el Martignani y drones (Rodríguez y Palomo 2022).

Áreas de protección definidas por la Ley Forestal en cuerpos de agua de dominio público

En la Figura 5, se presentan las zonas de influencia de 15 m de ríos, quebradas con flujo permanente e intermitente de dominio público que colindan o atraviesan fincas bananeras en el cantón de Matina. Las zonas de influencia son elaboradas de acuerdo con lo definido por la Ley Forestal para zonas rurales. Los polígonos de color vino representan sitios donde se encuentran fincas bananeras ubicadas a menos de 15 m de los respectivos cuerpos de agua. Se calcula un total de 0,9 km² de cultivos de banano sobre sitios que deberían ser áreas de protección con bosque de ribera. En quebradas o arroyos con flujo constante el área



sembrada fue de 0,8 km², y para quebradas intermitentes se estimaron 1,6 km², para un total de 3,3 km².

Discusión

Los resultados del estudio indican una estimación de 44 km de frontera agrícola del cultivo de banano sin barreras naturales adyacentes a carreteras y centros poblacionales en el cantón de Matina durante el I semestre del 2021. Adicionalmente, se estimaron 133 km de borde de cultivos donde la barrera natural tenía un ancho < 30 m adyacentes a carreteras, centros poblacionales, edificios donde permanece personal laborando, fuentes de agua y cultivos aledaños o fincas vecinas. Según la legislación actual costarricense, en los sitios sin barrera, o barrera menor a 30 m de ancho, se debe respetar una franja de no aplicación aérea de ≥ 100 m. Sin embargo, aproximadamente tres cuartas partes de las personas entrevistadas reportaron haber observado aplicaciones aéreas de plaguicidas a menos de 100 m en sitios sin barrera natural. Además, el análisis SIG demostró una siembra del cultivo de banano en zonas de influencia de ríos, quebradas y arroyos (3,3 km²) que deberían ser áreas de protección. Finalmente, los vecinos reportaron aplicaciones en condiciones ventosas y la presencia de personas trabajadoras en las fincas durante las fumigaciones aéreas durante el último mes; una parte de las personas entrevistadas reportó haber puesto una queja o denuncia con respecto a prácticas de fumigación aérea.

El reporte sobre personas trabajadoras presentes dentro del campo durante fumigaciones aéreas (43%) se podría explicar por la necesidad de aplicar el fungicida mancozeb semanalmente, en una zona de frecuentes precipitaciones difíciles de predecir. En la zona del estudio, las lluvias se mantienen entre 100 y 200 mm en los meses más secos y la lluvia no presenta variación diurna bien definida, mientras que las aplicaciones se necesitan realizar en días no lluviosos (Manso et al. 2005). Lo anterior es ilustrado por el comentario de una de las personas entrevistadas “*Cuando fumigan después de llover se intercambian las áreas y se pierde el control...*”, esto implicaría que algunas de las fincas no se logren fumigar según lo programado; adicionalmente, esta persona comentó que el tiempo de reingreso no se respeta,

“... normalmente solo les piden 30 min”. Los tiempos del reingreso varían por tipo de fungicida según el sistema de Insumos y Fiscalización del Servicio Fitosanitario del Estado Costarricense. Por ejemplo, para Calixin 86 OL [ingrediente activo (i.a.) tridemorf], Volley 88 OL (i.a. fenpropimorf), Sico 25 EC (i.a. difenoconazol), Banazeb 43.5 SC (i.a. mancozeb), Impulse 80 EC (i.a. spiroxamina) se indica que el reingreso es cuando la aspersión esté seca sobre el follaje, mientras para Regnum 25 (i.a. pyraclostrobina) deben haber pasado 12 horas (h), Odeon 72 SC (i.a. clorotalonil) y Opus 12.5 SC (i.a. epiconazol) 24 h; si se requiere ingresar antes, debe ser con equipo de protección personal.

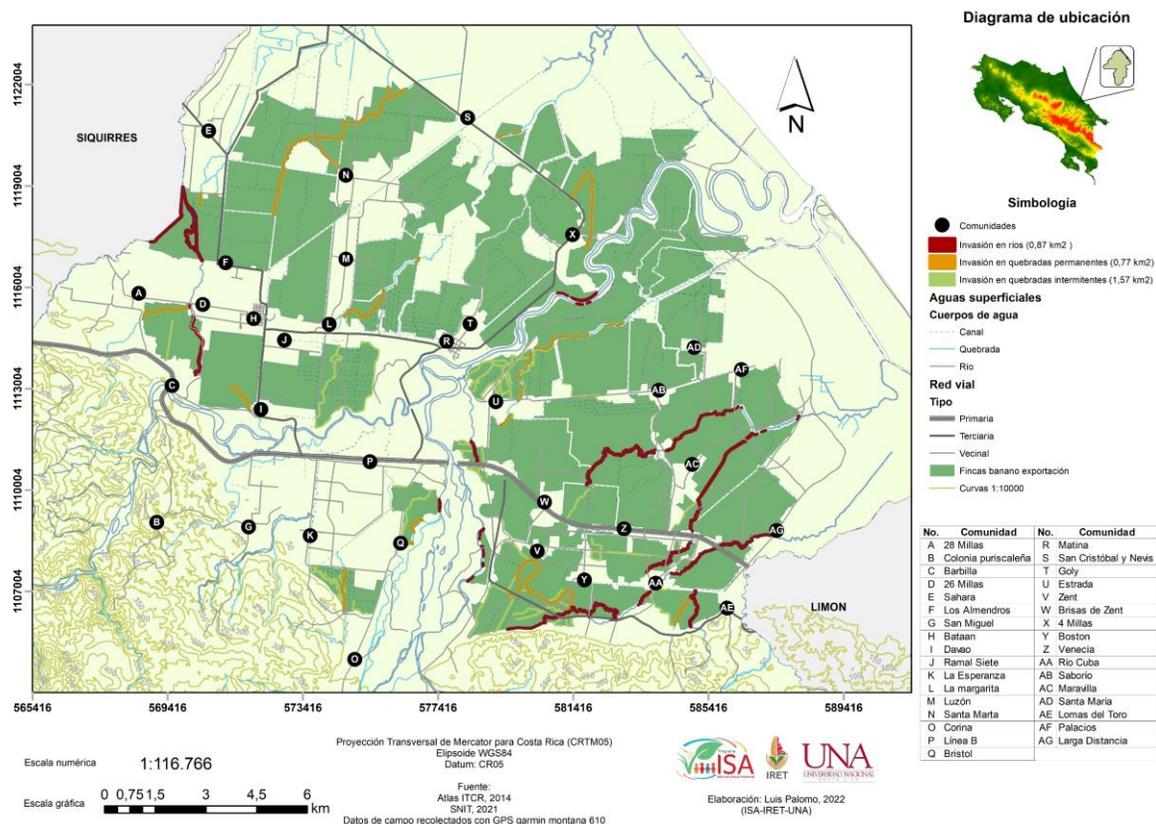


Figura 5. Siembra del cultivo de banano en áreas de protección de aguas superficiales según análisis SIG, cantón de Matina, (2021).

Acerca de las quejas y denuncias por prácticas inadecuadas de aviación agrícola que parte de las personas reportaron haber realizado, es de interés que reportaron una mejora posterior a su queja, lo cual demuestra la importancia de notificar al personal de las fincas sobre prácticas inadecuadas para que apliquen medidas correctivas. Sin embargo, las personas también indicaron que las mejoras fueron temporales, ilustrando la importancia de



dar un seguimiento permanente a las medidas correctivas por parte de la gerencia de estas fincas, y entes reguladores como el Ministerio de Salud y la Comisión Asesora de Aviación Agrícola. Adicionalmente, parte de las personas indicó desconocer cómo realizar una denuncia, por lo cual es recomendable que los entes reguladores informen a la población general sobre cómo realizar una denuncia, y además simplifiquen el proceso de realizar una denuncia; se recomienda el desarrollo de una aplicación móvil o habilitar un módulo para aplicaciones aéreas en el sitio web existente del Sistema Integrado de Trámite y Atención de Denuncias Ambientales (SITADA) (<https://www.sitada.go.cr/denunciaspublico/>). Por otra parte, para fortalecer la implementación de la regulación con respecto a la fumigación área, se recomienda que Dirección de Aviación Civil como ente regulador, en coordinación con el Ministerio de Salud y la Comisión Asesora de Aviación Agrícola, implemente un monitoreo constante del registro de trayectos de avionetas de las zonas marcadas de color rojo y naranja en la Figura 1, para así vigilar si las distancias de amortiguamiento para aplicación de plaguicidas por vía aérea se están cumpliendo, y realizar acciones correctivas si fuera necesario.

Por haber entrevistado a personas seleccionadas por conveniencia, los resultados de las entrevistas no permiten su extrapolación hacia la población de Matina (Stratton 2021). No obstante, la frecuencia del reporte de las inadecuadas prácticas de fumigación aérea sugiere que estas son comunes. Lo anterior, porque se entrevistaron a las personas de distintos lugares del cantón y, sistemáticamente, se entrevistó a la primera persona que se encontraba en el lugar preseleccionado en el mapa. Además, relativamente pocas personas indicaron no desear colaborar (10%, $n = 6$), las cuales fueron reemplazadas por la segunda persona presente en el sitio visitado. Un limitante del estudio fue que no se pudo verificar si las respuestas de las personas entrevistadas fueron adecuadas. Sin embargo, lo anterior podría resultar tanto en una sobre como subestimación de las prevalencias reportadas y estudios anteriores han demostrado que las personas son capaces de identificar condiciones de mucho viento (Weaver, Williams, y Arthur 2021). Otro limitante del estudio fue la identificación de la frontera agrícola por medio del reconocimiento del paisaje y verificación en el campo, sin contar con los respectivos planos de catastro de las fincas bananeras. No obstante, se espera que esto generó solamente un margen de error de 0,3 – 6,2 metros de exactitud vertical, según indicado por (Farah y Algarni 2014; Nwilo et al. 2022). Finalmente, se documentó el nombre



de las fincas bananeras según la rotulación en el campo, los nombres indicados en el registro oficial pueden ser distintos.

Con respecto a las distancias de amortiguamiento en Costa Rica, se considera importante mencionar que tienden a ser inferiores que otros países de América Latina (Diário oficial da união 2020; Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca et al. 2015; Ministerio de Salud 1991, 2015). En Costa Rica, en el 2003, se redujo la distancia de no aplicación aérea de 200 a 100 m, con posibilidades de fumigar a ≥ 30 m en sitios con barrera natural superior al dosel del cultivo con un ancho de 30 m. En el 2006, se reestableció por un recurso de amparo la distancia única de no aplicación los 100 m. Sin embargo, en el 2008, el decreto fue nuevamente modificado, reduciendo la distancia de amortiguamiento nuevamente a 30 m en caso de existir una barrera natural superior al dosel del cultivo con un ancho de 30 m, y un mínimo de 100 m en lugares sin la presencia de una barrera natural.

En conclusión, los resultados del estudio sugieren que las empresas bananeras ubicadas en el cantón de Matina cumplen parcialmente con la regulación sobre aviación agrícola en Costa Rica. Lo anterior, por la ausencia o fragmentación de las barreras naturales adyacentes a centros poblacionales y por el reporte de vecinos que indicaron: 1) fumigaciones aéreas más cercanas a casas y carreteras que lo permitido según la legislación nacional, irrespetando las zonas de amortiguamiento; 2) la presencia de trabajadores en el campo, y 3) aplicaciones en condiciones ventosas. Además, se identificó la siembra del cultivo en áreas de protección de cuerpos de agua. La frecuente ausencia de las zonas de amortiguamiento y las indebidas prácticas de fumigación aérea reportadas en el estudio actual son de preocupación, ya que podrían contribuir a un incremento en la exposición ocupacional y ambiental a plaguicidas por deriva en poblaciones y ecosistemas adyacentes al cultivo de banano. Lo anterior es consistente con resultados de estudios realizados en la misma zona, que indicaron una detección más frecuente de fungicidas aplicadas por vía aérea en muestras de aire obtenidas en escuelas a < 100 m de distancia en comparación con escuelas situadas a > 1 km de distancia de fincas bananeras (Córdoba et al. 2020), y concentraciones de metabolitos de fungicidas más altas en mujeres embarazadas quienes vivían a menor distancia del cultivo en comparación con mujeres que vivían a mayor distancia (Giffin et al. 2022; van Wendel de Joode et al. 2014). La exposición a estos fungicidas ha sido asociada con cambios en niveles de hormonas tiroideas medidas en muestras del suero de mujeres embarazadas (Corrales et al.



2022), cambios en el neurodesarrollo infantil (van Wendel de Joode et al. 2016), y/o infecciones respiratorias del tracto inferior (Islam et al. 2022). En cuanto a la vida acuática, según el análisis SIG, se debe convertir un área de 3,3 km² (actualmente plantaciones de banano) en áreas de bosque ripario, lo cual ayudaría a contener la carga de contaminantes antes de que estos tengan contacto con el cuerpo de agua (Echeverría-Sáenz 2015). La presión sobre las áreas de protección del sector agroindustrial coincide con los resultados de un estudio realizado en el estado de Santa Catarina, Brasil (Coletti 2022).

Los análisis geoespaciales por medio de SIG demostraron ser un valioso insumo para la identificación de oportunidades de mejora de las zonas de amortiguamiento del área de estudio. Se espera que los resultados del estudio sirvan al sector bananero y entes reguladores para la implementación de medidas que mejoren las zonas de amortiguamiento y las prácticas de aplicación en los sitios identificados en este estudio, y que además sean una herramienta para el ejercicio de derechos de la sociedad civil. Se recomienda repetir el análisis presentado en este informe de manera periódica para poder registrar posibles cambios en el tiempo. Adicionalmente, se concluye que la metodología descrita es una herramienta de bajo costo que puede facilitar el proceso de monitoreo de zonas de amortiguamiento de cultivos agrícolas en otros países de América Latina, para fortalecer la implementación de legislaciones ambientales.

Agradecimientos

Agradecemos a las personas entrevistadas vecinas del cantón de Matina por su participación. Este trabajo fue parcialmente financiado por el Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS), Estados Unidos número de subvención R024 ES028526.



Referencias

- Asamblea Legislativa. 1996. *Ley Forestal No. 7575*. San José: Asamblea Legislativa.
- Barraza, Douglas, Kees Jansen, Berna van Wendel de Joode, y Catharina Wesseling. 2011. “Pesticide use in banana and plantain production and risk perception among local actors in Talamanca, Costa Rica”. *Environmental Research* 111(5):708–17. doi: 10.1016/j.envres.2011.02.009.
- Bravo, Virya, Elba de la Cruz, Gustavo Herrera, y Fernando Ramírez. 2013. “Uso de plaguicidas en cultivos agrícolas como herramienta para el monitoreo de peligros en salud”. *Uniciencia* 27:351–76.
- Bueno, Mariana R., y João Paulo Arantes Rodrigues Da Cunha. 2020. “Environmental risk for aquatic and terrestrial organisms associated with drift from pesticides used in soybean crops”. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 92:1–16. doi: 10.1590/0001-3765202020181245.
- Coletti, Tomé. 2022. “May no one say ‘I will never drink of this water’: agricultural production and water pollution in western Santa Catarina State, Brazil”. *Cadernos de Saude Publica* 38(4). doi: 10.1590/0102-311XPT165421.
- Córdoba, Leonel, Karla Solano, Clemens Ruepert, y Berna van Wendel de Joode. 2020. “Passive monitoring techniques to evaluate environmental pesticide exposure: Results from the Infant’s Environmental Health study (ISA)”. *Environmental Research* 184(September 2019):109243. doi: 10.1016/j.envres.2020.109243.
- Corrales, Andrea, Jorge Peñaloza Castañeda, Emelie Rietz Liljedahl, Ana María Mora, Jose Antonio Menezes-Filho, Donald R. Smith, Donna Mergler, Brian Reich, Andrew Giffin, Jane A. Hoppin, Christian H. Lindh, y Berna van Wendel de Joode. 2022. “Exposure to common-use pesticides, manganese, lead, and thyroid function among pregnant women from the Infants’ Environmental Health (ISA) study, Costa Rica”. *Science of the Total Environment* 810(October 2021). doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151288.
- Diário oficial da união. 2020. *Instrução normativa N°13*. Brasil.



Echeverría-Sáenz, Silvia. 2015. “Bosques de Ribera: Protección para la calidad del agua y la integridad ecológica del ecosistema acuático”. *SALTRA* 12.

European Parliament and of the Council. 2009. *Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides (Text with EEA relevance)*. Strasbourg: European Parliament and Council.

FAO. 2022. *Banana market review - preliminary results 2021*. Roma.

Farah, Ashraf, y Dafer Algarni. 2014. “Positional accuracy assessment of Googleearth in Riyadh”. *Artificial Satellites* 49(2):101–6. doi: 10.2478/arsa-2014-0008.

La Gaceta. 2003. *Reglamento N° 31520-MS-MAG-MINAE-MOPT-MGPSP para las actividades de la Aviación Agrícola*. San José, Costa Rica: La Gaceta.

Giffin, Andrew, Jane A. Hoppin, Leonel Córdoba, Karla Solano-Díaz, Clemens Ruepert, Jorge Peñaloza-Castañeda, Christian Lindh, Brian J. Reich, y Berna van Wendel de Joode. 2022. “Pyrimethanil and chlorpyrifos air concentrations and pregnant women’s urinary metabolites in the Infants’ Environmental Health Study (ISA), Costa Rica”. *Environment International* 166. doi: 10.1016/j.envint.2022.107328.

Islam, Jessica Y., Jane Hoppin, Ana M. Mora, Manuel E. Soto-Martinez, Leonel Córdoba Gamboa, Jorge Ernesto Peñaloza Castañeda, Brian Reich, Christian Lindh, y Berna van Wendel de Joode. 2022. “Respiratory and allergic outcomes among 5-year-old children exposed to pesticides”. *Thorax* thoraxjnl-2021-218068. doi: 10.1136/thoraxjnl-2021-218068.

MAG, MS, MINAE, MOPT, y MGSP. 2007. *Reforma al artículo 70 del Decreto Ejecutivo N°31520, Reglamento para las actividades de Aviación Agrícola, del 16 de octubre del 2003*. Costa Rica: La Gaceta.

Manso, P., W. Stolz, y J. Fallas. 2005. “El régimen de la precipitación en Costa Rica”. *Ambientico* 7–8.



Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca, Ministerio de Salud, Dirección Nacional de Aviación Civil, y Agrocalidad. 2015. *Acuerdo N° 365 - Reglamento Interministerial para el saneamiento ambiental agrícola*. Ecuador.

Ministerio de Salud. 1991. *Decreto número 1843 de 1991*. Colombia: Diario Oficial.

Ministerio de Salud. 2015. *Decreto num. 5 Reglamento sobre aplicación aérea de plaguicidas*. Chile.

Mora, Ana, Leonel Córdoba, Juan Camilo Cano, David Hernandez-Bonilla, Larissa Pardo, Lourdes Schnaas, Donald R. Smith, José A. Menezes-Filho, Donna Mergler, Christian H. Lindh, Brenda Eskenazi, y Berna van Wendel de Joode. 2018. “Prenatal mancozeb exposure, excess manganese, and neurodevelopment at 1 year of age in the infants’ environmental health (ISA) study”. *Environmental Health Perspectives* 126(5):1–9. doi: 10.1289/EHP1955.

Nwilo, Peter C., Chukwuma J. Okolie, Johanson C. Onyegbula, Ikenna D. Arungwa, Owolabi Q. Ayoade, Olagoke E. Daramola, Michael J. Orji, Ikechukwu D. Maduako, y Imeime I. Uyo. 2022. “Positional accuracy assesment of historical google earth imagery”. *Applied Geomatics* 14:545–68. doi: <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00449-9>.

OEC. 2021. “Bananas in Ecuador”. Recuperado el 24 de abril de 2023 (<https://oec.world/en/profile/bilateral-product/bananas/reporter/ecu>).

Pomareda, Fabiola. 2021. “En Costa Rica se usan 133 plaguicidas considerados altamente peligrosos • Semanario Universidad”. *Semanario Universidad*. Recuperado el 17 de enero de 2023 (<https://semanariouniversidad.com/pais/en-costa-rica-se-usan-133-plaguicidas-considerados-altamente-peligrosos/>).

Rodríguez, Reichel, y Luis Palomo. 2022. *Una experiencia de denuncia sobre fumigación aérea en Matina, Limón, Costa Rica - YouTube*. YouTube.

Rodríguez-Miranda, Reichel, Luis Palomo-Cordero, Michael Padilla-Mora, Andrea Corrales-Vargas, y Berna van Wendel de Joode. 2022. “Aprendizaje a través de estrategias lúdicas: una herramienta para la Educación Ambiental”. *Revista de Ciencias Ambientales* 56(1):209–28. doi: 10.15359/rca.56-1.10.



Rojo, Fabio Henrique, Ulisses Rocha Antuniassi, Bruno Rodeguer Castilho, Paulo Eduardo Teodoro, y Eder Eujácio da Silva. 2019. “Factors affecting aerial spray drift in the Brazilian Cerrado”. *PLoS ONE* 14(2). doi: 10.1371/journal.pone.0212289.

Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional. 2014. *Modelo de Reglamento sobre Trabajo Aéreos: Trabajos aéreos agrícolas y de aspersión*. Guatemala.

Stratton, Samuel J. 2021. “Population Research: Convenience Sampling Strategies”. *Prehospital and Disaster Medicine* 36(4). doi: 10.1017/S1049023X21000649.

Tudi, Muyesaier, Hairong Li, Hongying Li, Li Wang, Jia Lyu, Linsheng Yang, Shuangmei Tong, Qiming Jimmy Yu, Huada Daniel Ruan, Albert Atabila, Dung Tri Phung, Ross Sadler, y Des Connell. 2022. “Exposure Routes and Health Risks Associated with Pesticide Application”. *Toxics* 10(6). doi: 10.3390/toxics10060335.

Vargas, Armando, William Watler, Mariela Morales, y Raffaele Vignola. 2017. *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica*.

Weaver, Iain S., Hywel T. P. Williams, y Rudy Arthur. 2021. “A social Beaufort scale to detect high winds using language in social media posts”. *Nature* 11:3647. doi: 10.1038/s41598-021-82808-x.

van Wendel de Joode, Berna, Ana Mora, Leonel Córdoba, Juan Cano, Rosario Quesada, Moosa Faniband, Catharina Wesseling, Clemens Ruepert, Mattias Öberg, Brenda Eskenazi, Donna Mergler, y Christian Lindh. 2014. “Aerial Application of Mancozeb and Urinary Ethylene Thiourea (ETU) Concentrations among Pregnant Women in Costa Rica: The Infants’ Environmental Health Study (ISA)”. *Environmental Health Perspectives* 122(12):1321–28. doi: 10.1289/ehp.122-a321.

van Wendel de Joode, Berna, Ana M. Mora, Christian H. Lindh, David Hernández-Bonilla, Leonel Córdoba, Catharina Wesseling, Jane A. Hoppin, y Donna Mergler. 2016. “Pesticide exposure and neurodevelopment in children aged 6–9 years from Talamanca, Costa Rica”. *Cortex* 85:137–50. doi: 10.1016/j.cortex.2016.09.003.



Zhang, Bin, Qing Tang, Li ping Chen, Rui rui Zhang, y Min Xu. 2018. “Numerical simulation of spray drift and deposition from a crop spraying aircraft using a CFD approach”. *Biosystems Engineering* 166:184–99. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.11.017.

Efecto de cuatro coberturas muertas (*mulch*) sobre el crecimiento de arvenses y la fertilidad del suelo en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en Costa Rica

Effect of four dead covers (*mulch*) on weed growth and soil fertility in coffee (*Coffea arabica* L.) cultivation in Costa Rica



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023: 47-66

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.4-1.3>

Recibido: 15/04/2023

Revisado: 15/05/2023

Aprobado: 30/06/2023

Isidro Calero Ocón

Bachiller en Agronomía

Escuela de Ciencias Agrarias

Universidad Nacional

isidrocalero@gmail.com

isidro.calero.ocon@una.cr

<https://orcid.org/0009-0005-9549-4262>

Costa Rica

Ellen Sancho Barrantes

Catedrática de Ciencias Agronómicas

Escuela de Ciencias Agrarias

Universidad Nacional

Ellensanchob@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-5806-3682>

Costa Rica

Resumen

El uso de *mulch* originado a partir de material vegetal, es un método empleado en la conservación del suelo y podría ser una alternativa para reducir el uso de herbicidas y aportar nutrientes para diferentes cultivares. En el presente estudio se evaluó el efecto de cuatro coberturas de materiales reciclados y restos de biomasa sobre el crecimiento de plantas arvenses y aporte de nutrientes al suelo en el cultivo de café bajo la sombra de “cas” (*Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied.). Las arvenses se determinaron taxonómicamente en estado fértil a nivel de especie en el momento en que se requirió el primer control mecánico o químico. Se analizó el nivel de la fertilidad del suelo para cada repetición de los tratamientos, pasados ocho meses de establecido el experimento. En los tratamientos T1 (broza) y T2 (material de poda) se observó una reducción significativa en la presencia de la mayoría de las especies de arvenses con respecto al testigo ($p < 0.05$). En el T4 aumentó



significativamente la materia orgánica ($p < 0.05$); en el T1 (broza) y T4 (cartón) aumentó la concentración de potasio en el suelo con respecto a los demás tratamientos ($p < 0.05$); además, todos los tratamientos donde se usó *mulch* redujeron el nivel de acidez, ion Mn^{+2} y zinc ($p < 0.05$). El uso de *mulch* puede llegar a controlar arvenses hasta 80 días durante la época de lluvia, logrando así un enfoque sintrópico en el cultivo de café que permite autosostenibilidad.

Palabras clave: caficultura, malezas, biomasa, biodiversidad, reciclaje.

Abstract

The use of mulch originating from plant material is a method employed in soil conservation and could be an alternative to reduce the use of herbicides while providing nutrients for different crops. In the present investigation, the effect of four coverings made from recycled materials and biomass residues on weed growth and soil nutrient contribution was evaluated in coffee cultivation under the shade of “cas” (*Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied.). Weeds were taxonomically determined at the species level when the first mechanical or chemical control was required. Soil fertility was analysed for each treatment replication after eight months of the experiment's establishment. Significant reduction in the presence of most weed species was observed in treatments T1 (mulch) and T2 (pruning material) compared to the control ($p < 0.05$). Organic matter significantly increased in T4 (mulch) ($p < 0.05$), and both T1 (mulch) and T4 (cardboard) showed higher potassium concentration in soil compared to other treatments ($p < 0.05$). Furthermore, all mulch-utilizing treatments led to reduced levels of acidity, ion Mn^{+2} , and zinc ($p < 0.05$). Mulch application can control weeds for up to 80 days during the rainy season, thereby achieving a synergistic approach in coffee cultivation that promotes self-sustainability.

Keywords: coffee growing, weeds, biomass, biodiversity, recycling.

Introducción

El cultivo de café tuvo sus inicios en los bosques tropicales de Etiopía, en altitudes entre 1600 a 2000 m s.n.m., a temperaturas cercanas a 20° C, una precipitación anual bien distribuida entre 1500 a 1800 mm anuales y una estación seca de cerca de 3 a 4 meses. Se puede inferir que el café puede crecer bajo sombra permanente y pasar por un periodo de sequía durante el año. Este cultivo se puede sembrar bajo sombra de árboles que aporten materia orgánica al suelo y generen las condiciones ideales para la microbiología del suelo (Jaramillo-Robledo, 2005).

La presencia de arvenses en los sistemas agroproductivos ha demostrado tener importancia en cuanto a la conservación y limpieza del agua, aportes de materia orgánica al suelo y conservación de energía del mismo sistema; se ha demostrado que para que no haya competencias por nutrientes se debe mantener el plato o rodaja de la planta de café sin estas arvenses (García, 1999).

Para eliminar plantas no deseadas como pastos anuales (gramíneas o poáceas), especies perennes o leñosas y las hierbas de hoja ancha, se utilizan los herbicidas no selectivos, sistémicos y de amplio espectro. El control mecánico de malezas se está convirtiendo en una práctica poco rentable por el precio de los combustibles fósiles; además, la frecuencia en que esto se debe de hacer en el trópico es alta y más, si no se toma en cuenta el momento adecuado. En la actualidad se conocen muchos efectos negativos por el uso de herbicidas sintéticos: los insumos que se utilizan para el control de arvenses son cada vez más caros (Ramírez-Muñoz et al., 2017); las intoxicaciones por herbicidas en humanos se dan principalmente vía cutánea o conjuntiva y la mortalidad se eleva casi a un 90% o generan efectos crónicos como infertilidad, disminución de la testosterona; por ejemplo, la dosis letal mínima del Paraquat en humanos va desde 40 mg/kg en adelante (Aguilar et al., 2021).

En los cultivos perennes el uso de glifosato representa un 51.6% del uso total de glifosato en Costa Rica, siendo un 5.4% correspondiente al cultivo de café. Este producto químico posee características toxicológicas que se aumentan, ya que contiene un surfactante para ayudar a penetrar en los tejidos de la planta, pero también en la piel.



El cultivo de café, con sus diferentes prácticas de manejo genera gran cantidad de materiales vegetales que generalmente se sacan del sistema o simplemente se recurre a la quema o venta para mantener las parcelas “limpias”; sin embargo, estos materiales representan un recurso del que se puede disponer para la protección y nutrición del suelo, regulación de plantas arvenses y otros bienes y servicios que se generan a partir del aumento de la biodiversidad (Jaramillo-Robledo, 2005). La cobertura del suelo contribuye a la preservación del ambiente, a través de la conservación de la microbiología del suelo, la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero que provoca la quema y la disminución de agroquímicos para el control de arvenses (Peña-Calzada et al., 2013).

El uso de este tipo de coberturas o *mulch*, suele ser una práctica que reduce el crecimiento de arvenses en los campos de cultivo, principalmente cuando se siembran en hileras y suelen ser ejemplo de agricultura sostenible (Pérez-Prado y Cerón-Paredes, 2019). Tener presente este material en los cultivos podría, como objetivo secundario, evitar la erosión y además ayudar a la proliferación del microbiota benéfico del suelo (Mendoza et al., 2011).

El *mulch* de broza como subproducto del café ha demostrado eficacia al reducir la erosión, ya que aumenta la tasa de infiltración y retrasa el tiempo de la escorrentía; de esta manera se reduce la pérdida del suelo y suele ser más efectivo cuando se combinan con otros mantillos de origen vegetal (Moreno et al., 2014).

El manejo cultural con el uso de coberturas puede favorecer al aporte de las cantidades de nutrientes requeridos por la cosecha. El uso de *mulch* combinado con la fertilización convencional (sintética), resulta ser una alternativa para suplir las necesidades tanto de elementos móviles (N y S) como para elementos poco y medianamente móviles (K y P). Las principales estructuras que conforman el grano como pulpa, mucílago, pergamino y almendra son los que aportan mayoritariamente elementos para el llenado del grano cuando se usan como coberturas o fertilización orgánica (Yoplac et al., 2017).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar cuatro diferentes coberturas originadas de materiales reciclados y restos de biomasa, determinando su tiempo de degradación, así

como la capacidad de control de arvenses y el aporte de nutrientes al suelo, como forma de reducir el uso de herbicidas en el cultivo de café.

Metodología

Descripción del área de estudio

El ensayo se llevó a cabo en los cafetales de la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), perteneciente a la Universidad Nacional, ubicada en la provincia de Heredia, cantón Barva, distrito Santa Lucía, Costa Rica, a 10° 01' 20" latitud norte y 84° 06' 45" longitud oeste y una altura aproximada de 1200 m s.n.m. La zona posee una temperatura de 21.5 °C, humedad relativa del 78% y una precipitación de 2371 mm como promedios anuales (ECA-UNA, 2021).

Materiales usados como cobertura

Los materiales que se utilizaron como coberturas fueron: broza seca, hojarasca seca proveniente de diferentes especies arbóreas, material vegetal fresco proveniente de la poda de plantas de café de seis años y cartones de huevos totalmente secos producto de un reciclaje (**Tabla 1**).

Tabla 1.

Cantidad de materiales reciclados utilizados en el ensayo en kg/ha para cada tratamiento

Material/Tratamientos	Cantidad de material
Broza seca (T1)	600 kg
Material fresco de poda (T2)	739 kg
Hojarasca seca (T3)	260 kg
Cartón de huevo seco (T4)	200 cartones

Fuente: elaboración propia.

Experimentos

El experimento se estableció en marzo de 2022 en una parcela de 560 m², cultivada con plantas de café de la variedad Caturra, de 10 años e hijos de dos años, producto de una poda total, sembradas a una distancia de 2 x 1 metros a dos plantas por golpe, bajo sombra de árboles de “cas” sembrados a 10 x 10 m entre sí (**Figura 1**).



Figura 1. Materiales utilizados como cobertura para cada tratamiento. Fuente: elaboración propia.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos: T1 (broza de café), T2 (restos de poda de café triturada), T3 (hojarasca del mismo sistema), T4 (cartones reciclados de huevos) y T5 (testigo). Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, con un área de aplicación de 5.64 m^2 (3.30 m de largo por 1.70 m de ancho c/u), formada por un entre calles con un total de 10 plantas. El grosor de cada cobertura fue de 15 cm (**Figura 2**).

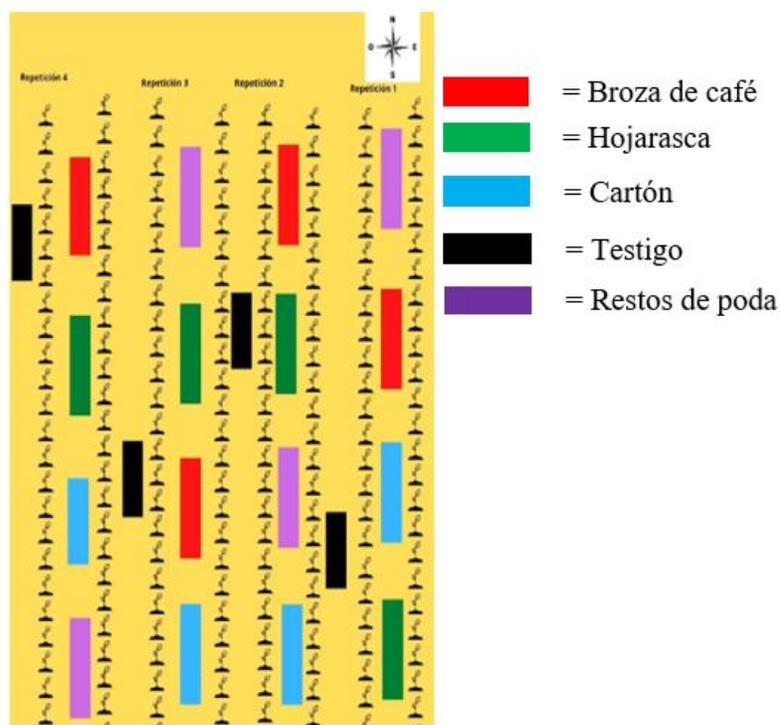


Figura 2. Diagrama con la ubicación de los tratamientos en campo. Fuente: elaboración propia.

Variables agronómicas

Para cada tratamiento se evaluaron las siguientes variables:

- Población de arvenses: las arvenses se determinaron taxonómicamente cuando tenían al menos 17 cm de altura aproximadamente y la mayor cantidad de estructuras morfológicas (flor o fruto). El porcentaje del total de familias y especies se determinó en el momento que el tratamiento requirió control mecánico o químico y se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{R}{T} * 100$$

R= Cantidad de especies de arvenses presentes sobre cobertura

T= Total de arvenses en testigo

%= Porcentaje de arvenses presentes en el tratamiento

- Determinación de la fertilidad del suelo: se analizó una muestra de suelo por repetición a los ocho meses después de establecido el ensayo, que correspondió a octubre de 2022. Previo al inicio del ensayo se realizó un análisis de suelo en la parcela como línea base. Adicional al análisis de nutrientes se evaluó la concentración de materia orgánica en las muestras de suelo.

Análisis estadístico

Para el análisis de datos se usó el paquete estadístico Rstudio y mediante una prueba Kruskal-Wallis se verificó la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la concentración de nutrientes presentes en el suelo y en el porcentaje de composición de especies de arvenses.

Resultados y discusión

En total se registraron 37 especies de arvenses, pertenecientes a 19 familias y 33 géneros botánicos. El 24% de las especies pertenecen a la familia Asteraceae, 11% Poaceae y 11% Euphorbiaceae (**Tabla 2**).

Tabla 2.

Lista de especies de arvenses registradas en todos los cuadrantes muestreados. Cuadrante: T = Testigo, B = Broza, MP = Material de poda y C = Cartón

FAMILIA	ESPECIE	CUADRANTE
Monocotiledóneas		
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	T1-4, B1-B3, MP1, MP2, MP4, C1-C4, H1-H3
Cyperaceae	<i>Cyperus tenuis</i> Sw.	T1-4, B1, B3, MP3, C1, C2, C4, H2
Cyperaceae	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	T1-4, B1, B2, C4, H3
Cyperaceae	<i>Kyllinga odorata</i> Vahl	T1-4
Poaceae	<i>Cenchrus echinatus</i> L.	T1-4
Poaceae	<i>Digitaria abyssinica</i> (Hochst. ex A. Rich.) Stapf	T1-4, B3, MP2, MP4, C1-C4, H1, H3
Poaceae	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	T1-4, C3
Poaceae	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	T1-4, B3, MP4, C4, H4
Dicotiledóneas		
Amaranthaceae	<i>Cyathula prostrata</i> (L.) Blume	T1-4, C2, C3

Apiaceae	<i>Cyclosporum leptophyllum</i> (Pers.) Sprague ex Britton & P. Wilson	T1-4
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	T1-4, B1, B2, B4, MP4, C1, C3, C4
Asteraceae	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	T1-4, B1
Asteraceae	<i>Conyza laevigata</i> (Rich.) Pruski	T1-4, C4
Asteraceae	<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson	T1-4, C1
Asteraceae	<i>Hypochaeris radicata</i> L.	T1-4
Asteraceae	<i>Melampodium perfoliatum</i> (Cav.) Kunth	T1-4, B1, B2, B4, MP3, C3, H3, H4
Asteraceae	<i>Mikania micrantha</i> Kunth	T1-4, C1
Asteraceae	<i>Montanoa hibiscifolia</i> Benth.	T1-4
Asteraceae	<i>Youngia japonica</i> (L.) DC.	T1-4, MP4
Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i> L.	T1-4, H2
Caryophyllaceae	<i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd. ex Schult.	T1-4, MP4, C2
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	T1-4, C1
Euphorbiaceae	<i>Acalypha alopecuroidea</i> Jacq.	T1-4
Euphorbiaceae	<i>Acalypha arvensis</i> Poepp.	T1-4, MP4, C1, H1
Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce hirta</i> (L.) Millsp.	T1-4
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	T1-4, C1-C3
Fabaceae	<i>Arachis pintoii</i> Krapov. & W.C. Greg.	T1-4, B1, B2, H1
Fabaceae	<i>Galactia striata</i> (Jacq.) Urb.	T1-4
Lamiaceae	<i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze	T1-4, B3, C3
Malvaceae	<i>Sida acuta</i> Burm. f.	T1-4
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L.	T1-4
Oxalidaceae	<i>Oxalis debilis</i> Kunth	T1-4
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca americana</i> L.	T1-4
Polygonaceae	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	T1-4, C4
Rubiaceae	<i>Richardia scabra</i> L.	T1-4, C1-C4
Solanaceae	<i>Solanum americanum</i> Mill.	T1-4, C3
Vitaceae	<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E. Jarvis	T1-4, MP3

Fuente: elaboración propia.



El T1(broza), T2 (restos de poda) y T3 (hojarasca) fueron igualmente eficaces en controlar especies de malezas, ya que hubo diferencias significativas de todos ellos con respecto al testigo ($p < 0.05$), mientras que en el T4 (cartón) y en el testigo, la presencia de arvenses fue alta y el tratamiento no fue diferente al testigo ($p > 0.05$). En el testigo se mostró poca variabilidad estadística, ya que en cada una de las repeticiones se registró la misma cantidad de especies de arvenses (**Figura 3a**), lo que favoreció a la determinación taxonómica.

Todos los materiales aplicados como cobertura aportan casi el doble de materia orgánica al suelo con respecto a la línea base, lo cual es importante a nivel del uso de la cobertura al largo plazo; aunque únicamente el T4 tuvo un aumento significativo en los niveles de materia orgánica con respecto al testigo ($p < 0.05$) (**Figura 3b**). Según Fazenda y Tavares-Russo (2016), el cartón puede aportar entre 8 a un 10% de materia orgánica al suelo, además es uno de los principales residuos sólidos que son producidos en las sociedades urbanas; este tipo de material no está identificado como peligroso y, por su naturaleza y composición, puede ser desintegrado rápidamente, por lo que es una alternativa usarlo como *mulch* para controlar arvenses.

Según la prueba Kruskal Wallis, todos los tratamientos tuvieron valores similares en cuanto a los niveles de pH (**Figura 3c**), sin diferencias significativas ($p > 0.05$); todos los tratamientos se encuentran en el rango óptimo para la absorción de nutrientes por el cultivo. El pH óptimo del suelo para cultivar café es cercano al rango de 5.0 a 5.5; cuando este es mayor a 5.5 se neutraliza el Al^{3+} y deja de ser un problema para el crecimiento de los cafetales, pero cuando el pH es menor a 5.0 la planta crece menos (Khalajabadi, 2016).

La primera evaluación de las plantas arvenses se realizó a los 22 días de establecido el ensayo, y con la llegada de las primeras lluvias, se identificó el tipo de arvense que crecía en las parcelas testigo.

Todos los materiales utilizados como *mulch* lograron ejercer control sobre las arvenses, aunque se observó que, en el T4 los cartones fueron desplazados de su posición inicial, probablemente por los fuertes vientos y también debido a que el material tiende a disminuir

su tamaño y a doblarse por el sol y lluvia, obteniendo las arvenses una mayor incidencia de luz que favoreció su presencia al igual que en el testigo.

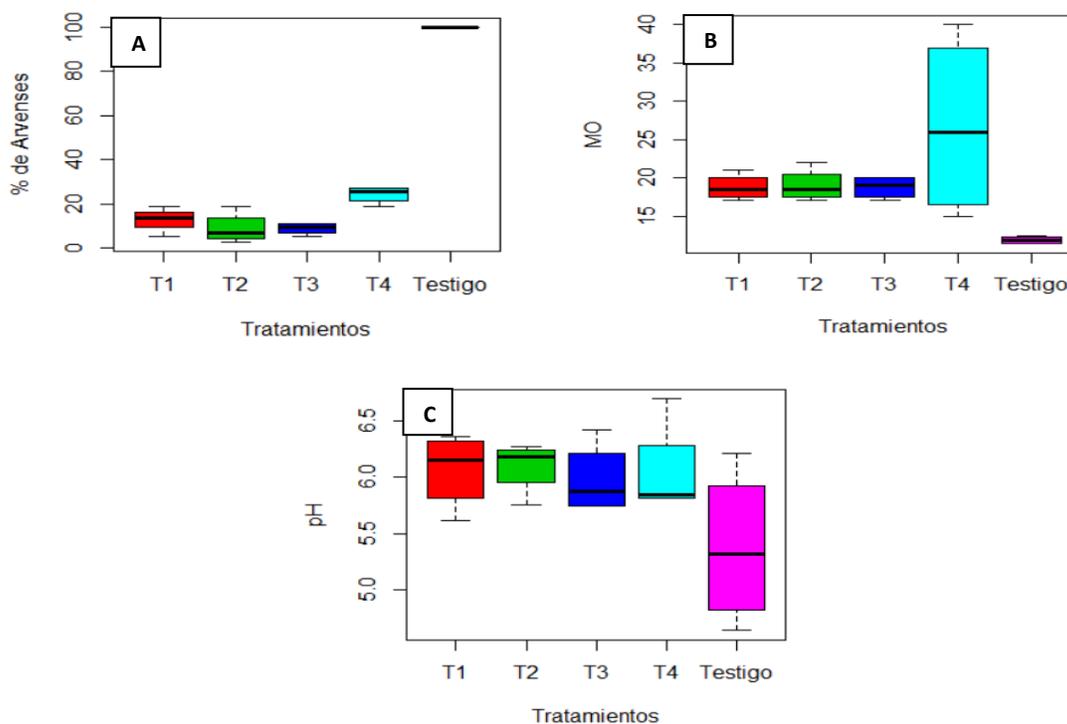


Figura 3. Resultados: (A) porcentaje de incidencia de especies de arvenses; (B) porcentaje de materia orgánica (MO) y (C) niveles de pH (UpH) encontrados en cada tratamiento. Fuente: elaboración propia.

A los 56 días de establecido el ensayo, únicamente el T4 (cartón) y T5 (testigo), demandaron control de plantas arvenses (**Tabla 3**). El T2 (restos de poda) se mantuvo intacto dos meses después de establecido el ensayo, probablemente debido a características como la presencia de tejido muy lignificado, ya que era un material de aproximadamente seis años. Sobre este tema, Tabora (2000) define este tipo de materiales como los que presentan mayor durabilidad a través del tiempo, favorecen la penetrabilidad del agua por su alta porosidad, pero recalca que se debe tener cuidado con el tipo de corteza que se utilice, debido a su difícil adquisición y por los problemas que podrían traer sus componentes al degradarse.

En todos los tratamientos se evidenció una agresividad en el crecimiento de plantas de la familia Poaceae, principalmente en los bordes de los tratamientos, donde se generó el ingreso hacia el centro de las parcelas. El primer control de arvenses para T1 (broza), T2

(restos de poda) y T3 (hojarasca) se realizó a los 80 días después de establecido el ensayo (**Tabla 3**), debido a su alta presencia (similar a la del testigo a los 56 días). En este momento se finalizó la evaluación sobre el control de arvenses.

Tabla 3.

Tiempo en días para controlar arvenses después de establecido el ensayo

Tratamiento	Tiempo de control de arvenses en días
Testigo	56
T1	80
T2	80
T3	80
T4	56

Fuente: elaboración propia.

El 37.5% de plantas presentes en el T1 (broza) pertenecen a la familia Asteraceae, seguido por un 25% de Cyperaceae. En todas las repeticiones donde se aplicó broza se evidenció mucha variabilidad estadística, ya que había presencia desde dos especies (*Melampodium perfoliatum* y *Bidens pilosa*) y hasta un máximo de ocho especies, pertenecientes a cinco familias diferentes.

El T2 (restos de poda) fue el que obtuvo el mejor efecto de control sobre las arvenses, logrando diferencias significativas frente al testigo y T4 ($p < 0.05$), ya que permaneció por más tiempo sin degradarse; se evidenciaron menos de tres especies de plantas arvenses (*Digitaria abyssinica*, *Commelina diffusa* y *Bidens pilosa*). Las Asteraceae y Poaceae fueron las que tuvieron mayor porcentaje de presencia en este tratamiento con un 30 y 20 % respectivamente de la totalidad de arvenses. La arvense *Digitaria abyssinica* se mostró con un mayor número de plantas en los márgenes de las repeticiones.

El T3 (hojarasca) logró ser el segundo de los tratamientos con mejor control de arvenses ($p < 0.05$), logrando solo un 10% de especies de arvenses con respecto a la totalidad de especies encontradas en el testigo. La arvense que predominó en la mayoría de las repeticiones fue *C. diffusa*, seguido por *M. perfoliatum*. Ambas son especies suculentas o muy poco lignificadas, lo que podría favorecer el control alternativo con equipos mecánicos.



El T4 (cartón) fue en el cual se obtuvo una mayor cantidad de especies y familias de plantas competitivas con respecto a las demás coberturas muertas. Se encontró un máximo de 19 especies de arvenses que representó un 55% de la totalidad de especies presentes en el testigo. En la mayoría de las repeticiones evaluadas predominaron plantas de la familia Asteraceae, las cuales son consideradas cosmopolitas, ya que, son reconocidas por tener una distribución mundial en casi todos los hábitats ecológicos porque poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas al clima extremo, destacan por ser económicamente importantes como malezas en todas las actividades agrícolas principalmente por su alta tasa de crecimiento y producción de semillas (Rolnik y Olas, 2021).

En los tratamientos T1, T2 y T3 se evidenció que, entre mayor efectividad en controlar arvenses, se disminuyó la diversidad, ya que se evitó la presencia de hasta un 75% de las familias de arvenses presentes en testigo. Este efecto es muy similar de cuando se utilizan herbicidas, pero sin la desventaja de generar resistencia de plantas a moléculas (Aguilar et al., 2021).

El T1 (broza) y T4 (cartón) mejoraron significativamente los niveles de potasio (**Figura 4a**) en el suelo ($p < 0.05$). Este resultado en el T1 es similar a lo reportado por Khalajabadi et al. (2005), donde se demuestra que la pulpa es la parte constitutivas del fruto que presenta mayor cantidad de potasio, se pueden encontrar concentraciones de hasta 22 g/kg de pulpa.

La acidez (**Figura 4b**) mostró una disminución en todos los tratamientos, excepto en el testigo, donde no hubo una disminución significativa ($p > 0.05$). Según Meléndez y Molina (2002), los valores óptimos de acidez están en el rango debajo de 1 cmol (+) /L. Según Khalajabadi (2016), la posible causa de la reducción de acidez puede deberse a la descomposición de la materia orgánica; también se demostró que en los suelos derivados de cenizas volcánicas se da una mejor relación con la acidez por el aporte de materia orgánica.

Todos los tratamientos fueron igualmente eficaces en mantener los niveles de calcio en el suelo, para este elemento no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Lo mismo reportan Khalajabadi et al. (2005), ya que en su investigación el aporte de calcio y magnesio fueron 10 veces menor que el aporte de nitrógeno y potasio en residuos orgánicos en el suelo.

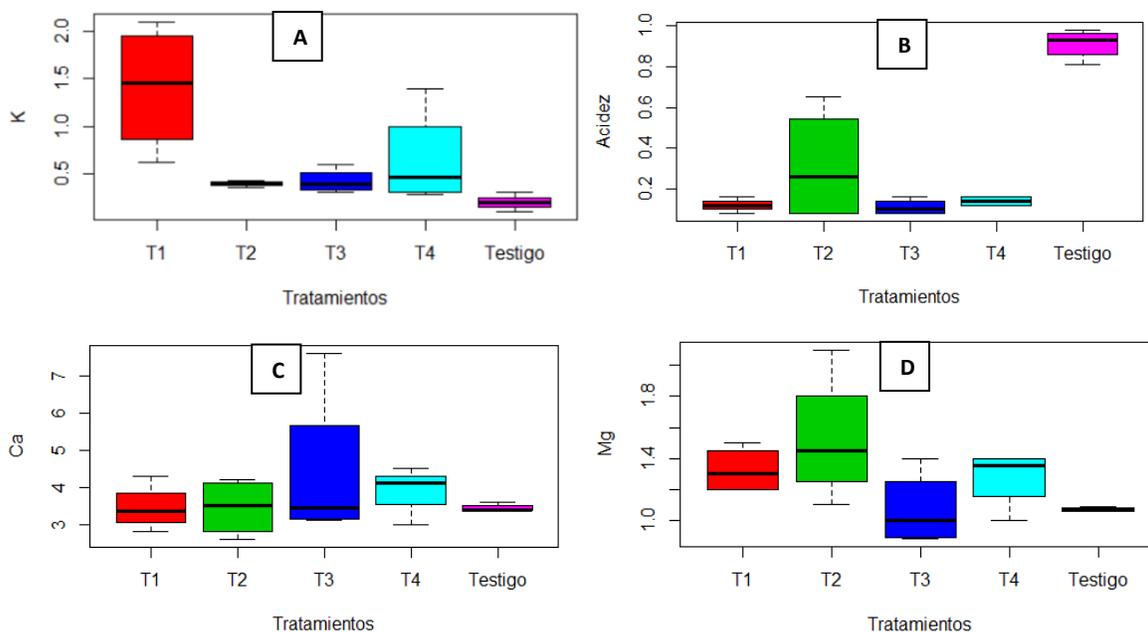


Figura 4. Concentraciones para tres elementos y acidez en cmol (+) /L, encontrados ocho meses después de establecido el ensayo (31/10/22). Fuente: elaboración propia.

En todos los tratamientos con *mulch* se redujeron significativamente las concentraciones de Mn^{+2} (Figura 5a), excepto en el testigo ($p < 0.05$). Aunque las concentraciones de Mn^{+2} en los suelos son variables, los valores óptimos en suelos van desde 0.55 hasta 8.9 mg/ L (Gómez & Sotés, 2014). El reciclaje de materia orgánica contribuye a la solubilidad del Mn^{+2} , sin embargo, se observó lo contrario en este estudio, pues con el aumento de materia orgánica en los tratamientos con *mulch* se redujeron las concentraciones solubles de magnesio en comparación al testigo. Este elemento podría estar formando complejos orgánicos (quelatos de Mn^{+2} no disponibles), junto con la materia orgánica.

García-Gallegos et al. (2014), demostraron que, en suelos con alto porcentaje de materia orgánica, hay baja movilidad y biodisponibilidad de metales como Mn^{+2} para las plantas, esto debido a la fuerza iónica. En el testigo, donde no se aumentaron las concentraciones de materia orgánica, se evidencia un alto nivel de Mn^{+2} soluble en comparación al resto de tratamientos. En la mayoría de los suelos ácidos ($pH < 5.0$), las concentraciones altas de Mn^{+2} solubles resultan tóxicas para las plantas; además, se reduce la disponibilidad de algunos nutrientes, principalmente calcio, magnesio, fósforo y nitrógeno. Los microorganismos del suelo participan convirtiendo el Mn^{+2} disponible en óxidos (no

disponibles) y alcanzan su eficacia máxima cuando el pH del suelo se acerca a 7.0 (Havlin et al., 2017).

Los niveles de fósforo y cobre (**Figura 5b y 5d**) se mantuvieron en una escala similar, sin diferencias significativas ($p>0.05$) en ninguno de los tratamientos para estos dos elementos. En cuanto a los niveles de zinc y hierro (**Figura 5c y 5e**), únicamente en el testigo (donde no se aplicó *mulch*) se evidenció un aumento significativo ($p<0.05$) en sus concentraciones.

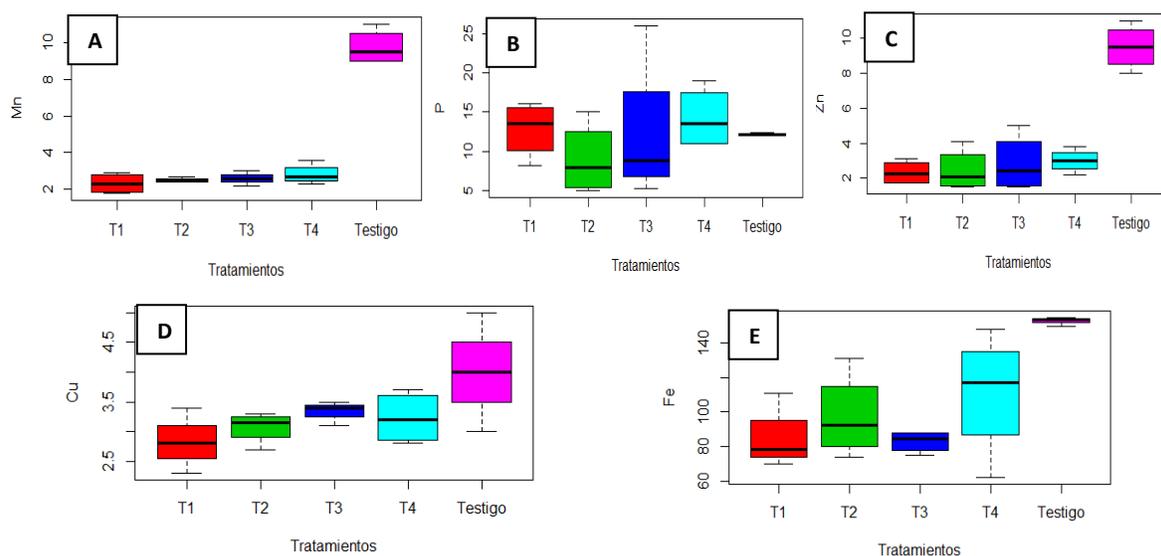


Figura 5. Concentraciones de: Mn (A), P (B), Zn (C), Cu (D) y Fe (E) en el suelo en mg/L, a los 256 días después de establecido el ensayo. Fuente: elaboración propia.

En las áreas donde se estableció el tratamiento testigo, durante el tiempo en que estuvo establecido el ensayo fue necesario realizar tres controles de plantas no deseadas, mediante técnicas mecánicas con guadaña y control químico con herbicidas. Esto demuestra que el uso de coberturas permite disminuir hasta tres controles de malezas al año (durante época lluviosa). En época seca este ciclo posiblemente se alargaría por la poca presencia de arvenses y la durabilidad de los materiales usados como coberturas.

Dependiendo de la especie de arvense que se trate, esta se verá favorecida por el tipo de cobertura; las plantas poco lignificadas y escandentes se mostraron más invasivas en la cobertura de broza, a causa de la humedad y el valor nutritivo de esta biomasa. La mayoría de los arvenses crecieron desde los márgenes de los tratamientos hacia el centro de este



(excepto en la cobertura de cartón); mientras que plantas como *Pennisetum purpureum* superaron las coberturas desde diversos lugares, debido a la alta tasa de crecimiento de esta especie.

La presencia de la planta *Arachis pintoii* (Fabaceae) se dio principalmente en los tratamientos de hojarasca y broza, por lo que estos dos tipos de materiales podrían considerarse para el establecimiento de combinaciones de *mulch* con el uso coberturas vivas, especialmente con plantas que ayuden con la fijación de nitrógeno atmosférico. *A. pintoii* es una alternativa como cobertura, pues se mantiene por debajo de los 20 cm gracias al crecimiento de ramas erectas cortas y ramas rastreras a partir de las yemas axilares, además, la fijación de nitrógeno atmosférico se da de forma progresiva conforme aumenta el crecimiento de la planta (Barrios et al., 2011).

El T2 (material de poda), fue el tratamiento que mostró mejor resultado sobre el control de arvenses, pero en sus repeticiones predominaron gramíneas como *P. purpureum*, probablemente por mantener partes reproductivas antes de la aplicación de la cobertura en los sitios y el poco grosor de la cobertura, lo que pudo favorecer su proliferación. Poaceae fue la segunda familia más importante asociadas al cultivo de café, después de Asteraceae, debido a sus diversos tipos de propagación, crecimiento rápido y vigoroso, además de plasticidad fenotípica (Cepero et al., 2019).

En lugares del ensayo donde había incidencia de sombra de “Cas”, se mostró una capa de mayor grosor de biomasa o *mulch* y una reducción en la presencia de arvenses. En general, una alternativa efectiva y con menor costo de mano de obra, sería la implementación de sombra en aquellos lugares que se requiera para el cultivo de cafeto, contando con el aporte de biomasa y el efecto que causa la disminución de la incidencia de luz al suelo, lo cual reduce la proliferación de plantas no deseadas. Las alternativas de sombra podrían ser frutales como el “cas”, árboles de sombra que produzcan biomasa, tales como *Erythrina* spp. o maderables que, además de reducir la presencia de arvenses, podría ser una fuente de ingresos para el productor.



Conclusiones

Las coberturas muertas son una alternativa para controlar arvenses sin el uso de equipos que requieran combustibles fósiles que contaminan el aire y sin productos sintéticos o herbicidas que pueden causar problemas de resistencia, contaminación de recursos naturales y problemas en la salud de los operadores y consumidores finales.

Todos los tratamientos donde se usó cobertura son fuentes de elementos usados para fertilización, además, mejoran las condiciones de suelo como la acidez, el contenido de materia orgánica y características físicas como la porosidad del suelo. La principal cobertura que aporta el elemento necesario para el llenado del grano (potasio) es el T1 y es una opción viable, ya que es un subproducto originado del mismo cultivo.

Se recomienda que en lugares donde se cuenta con arvenses difíciles de controlar como diferentes especies de la familia Poaceae, se realice una segunda aplicación del mismo material o aumentar el grosor de la capa de cobertura para disminuir el banco de semilla que pueda estar en la superficie del suelo.

Referencias

- Aguilar-González, X., Ronquillo-Cedillo, I., Ávila-Nájera, D. M., & Rodríguez-Hernández, C. (2021). Riesgos a la salud por el uso de herbicidas. www.camjol.info.
<https://n9.cl/i35vr>
- Barrios-Maestre, R., Fariñas, J., Silva-Acuña, R., & Sanabria, D. (2011). Comportamiento de cinco especies de leguminosas como cobertura viva en palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Idesia (Arica)*, 29(2), 29-37. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000200004>
- Cepero, V. C., Huamán, L. A., Ventura, R. V., Otiniano, A. J., & Soraluz, J. T. (2019). Comunidad de malezas asociadas al cultivo de «café» *Coffea arabica* (Rubiaceae) en la selva central del Perú. *Arnaldo*, 26(3), 977-990. <https://doi.org/10.22497/arnaldo.a.263.26308>
- Fazenda, A. J., & Tavares-Russo, M. A. (2016). Caracterización de residuos sólidos urbanos en Sumbe: herramienta para gestión de residuos. *Ciencias Holguín*, 22(4), 1-15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181548029002>
- García-Gallegos, E., Hernández-Acosta, E., Acevedo-Sandoval, O. A., Prieto-García, F., & Luna-Zendejas, H. S. (2014). Cu, Fe, Mn y Zn en suelos agrícolas localizados al noroeste de Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2), 205-212. <https://n9.cl/m4pzd>
- García-Fernández, B. (1999). Establecimiento de seis coberturas vivas en una plantación joven de café *Coffea arabica* L. en Juan Viñas, Cartago. Heredia, Costa Rica: B. García Fernández.
- Gómez, M. & Sotés, V. (2014). El Manganeso y la Viticultura: una revisión. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/publicaciones/MANGANESO%20Y%20VITICULTURA_tcm30-89512.pdf
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2017). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Eight Edition. Chennai-Delhi:

- 
- Pearson. <https://handoutset.com/wp-content/uploads/2022/05/Soil-Fertility-and-Fertilizers-John-L.-Havlin.pdf>
- Jaramillo-Robledo, Á. (2005). Agroclimatología del cafeto. Colombia: Editorial Blane color Ltda. <http://hdl.handle.net/10778/859>
- Khalajabadi, S. S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. Avances Técnicos 466. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/704/1/avt0466.pdf>
- Khalajabadi, S., Mejía-Muñoz, B., & Arcila-Pulgarín, J. (2005). Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetalera de Colombia. Cenicafé, 10. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/117/1/arc057%2804%29251-261.pdf>
- Meléndez, G., & Molina, E. (2002). Tablas de interpretación de análisis foliar. Laboratorio de Suelos y Foliars. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. <http://www.cia.ucr.ac.cr/sites/default/files/2021-09/05%20Tablas%20Interpretaci%C3%B3n%20An%C3%A1lisis%20Foliar.pdf>
- Mendoza-Rodríguez, L., Cabezas-Andrade, R., & Barroso-Grasa, R. (2011). La cobertura natural como reguladora de la humedad del suelo cultivado con plátano. Revista Agrisost, 17(1), 17-21. <https://1library.co/document/qoge3p0z-cobertura-natural-reguladora-humedad-suelo-cultivado-platano.html>
- Moreno-Ramón, H., Quizembe, S. J., & Ibáñez-Asensio, S. (2014). Coffee husk mulch on soil erosion and runoff: experiences under rainfall simulation experiment. Solid Earth, 5(2), 851-862. <https://doi.org/10.5194/se-5-851-2014>
- Peña-Calzada, K., Rodríguez-Fernández, J., & Olivera-Viciedo, D. (2013). Coberturas muertas y regulación de arvenses en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Agricultura orgánica, 19(4), 32-35.
- Pérez-Prado, V. J., & Cerón-Paredes, W. D. (2019). Sustentabilidad del uso de *mulch* orgánico y riego por goteo en cultivos asociados en Aloburo y Yahuarcocha, cantón

- 
- Ibarra. Tesis, Universidad Tecnológica del Norte, Ecuador.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9413>
- Ramírez-Muñoz, F., Bravo-Durán, V., & Herrera-Ledezma, G. (2017). Uso del herbicida glifosato en Costa Rica en el periodo 2007 a 2015. *Uniciencia*, 31(1), 59.
<https://doi.org/10.15359/ru.31-1.7>
- Rolnik, A., & Olas, B. (2021). The Plants of the Asteraceae Family as Agents in the Protection of Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3009.
<https://doi.org/10.3390/ijms22063009>
- Tabora, P. (2000). Práctica de coberturas muertas en el trópico húmedo para la actividad de microorganismos benéficos. Costa Rica: Universidad EARTH.
<http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000048.pdf>
- Yoplac, I., Yalta, J., Vásquez, H. V., & Maicelo, J. L. (2017). Efecto de la alimentación con pulpa de café (*Coffea arabica*) en los índices productivos de cuyes (*Cavia porcellus* L.) raza Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(3), 549-561.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v28n3/a08v28n3.pdf>

Efecto de fuentes fertilizantes nitrogenadas, diferencias en emisiones de CO₂, fertilidad del suelo, crecimiento y productividad en el cultivo de “culantro coyote” (*Eryngium foetidum* L.), en Turrialba, Costa Rica

Effect of nitrogenous fertilizer sources, differences in CO₂ emissions, soil fertility, growth and productivity in the cultivation of “spiritweed” (*Eryngium foetidum* L.), in Turrialba, Costa Rica



E & T

Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023: 67-86

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.4-1.4>

Recibido: 12/04/2023

Revisado: 16/05/2023

Aprobado: 30/06/2023

Andrés Barrantes Solano

Ingeniero Agrónomo, Costa Rica

andresbasol@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-6204-3283>

M. Sc. en Ingeniería Ambiental

Universidad Europea del Atlántico, Cantabria, España

M. Sc. en Gestión y Auditorías Ambientales

Universidad Internacional Iberoamericana, Palaches, Puerto Rico

Estudios cursados por convenio con FUNIBER Costa Rica

Resumen

Los fertilizantes sintéticos nitrogenados son importantes en la producción agrícola, no obstante, producen ciertos impactos ambientales. En el cultivo de “culantro coyote” (*Eryngium foetidum* L.), la cantidad de nitrógeno (N) disponible es relevante para la formación de la parte comercializable, sus hojas. Por este motivo, se investigó el uso de diferentes fuentes de N. Se buscó identificar y proponer programas de fertilización, determinar la productividad al reemplazar las fuentes de N tradicionales para reducir el impacto ambiental por emisión de CO₂, empleando los tratamientos: T1- Fertilización convencional, T2- Urea adicionada con el inhibidor de la enzima Ureasa (Agrotain 15% N), T3- Urea Formaldehído 10% N, y T4- Sin fertilización. Se evaluó semanalmente por 46 días el número total de hojas, largo y ancho de la hoja 3 y área foliar, junto a análisis químico de suelo y foliar. A la cosecha, se determinó producción, evaluación nutricional (foliar) de rollos completos y biomasa de cada tratamiento. Se confirmó que el “culantro coyote” requiere



fertilización constante y oportuna, ya que el T4 (sin fertilización) fue el de menor cantidad de rollos y de tamaño de hojas; el T1 (manejo convencional) fue superior en productividad, seguido de T2 (Agrotain) y T3 (urea formaldehído). A nivel foliar, este último mantuvo valores constantes superiores de N, P, K, Mg, S, Zn y Mn, con respecto a los otros tratamientos.

Palabras claves: Costo/Beneficio; Productividad; Impacto ambiental, Agrotain; Urea Formaldehído.

Abstract

Synthetic nitrogen fertilizers are important in agricultural production; however, they produce certain environmental impacts. In the cultivation of “coyote cilantro” (*Eryngium foetidum* L.), the amount of nitrogen (N) available is relevant for the formation of the marketable part, its leaves. For this reason, the use of different N sources was investigated. We sought to identify and propose fertilization programs, determine the productivity when replacing traditional N sources to reduce the environmental impact due to CO₂ emissions, using the treatments: T1- Fertilization conventional, T2- Urea added with the Urease enzyme inhibitor (Agrotain 15% N), T3- Urea Formaldehyde 10% N, and T4- Without fertilization. The total number of leaves, length and width of leaf 3 and leaf area were evaluated weekly for 46 days, along with soil and foliar chemical analysis. At harvest, production, nutritional evaluation (foliar) of complete rolls and biomass of each treatment were determined. It was confirmed that “coyote cilantro” requires constant and timely fertilization, since T4 (without fertilization) was the one with the smallest number of rolls and leaf size; T1 (conventional management) was superior in productivity, followed by T2 (Agrotain) and T3 (urea formaldehyde). At the foliar level, the latter maintained constant higher values of N, P, K, Mg, S, Zn and Mn, with respect to the other treatments.

Key words: Cost/Benefit; Productivity; Environmental impact; Agrotain; Urea-formaldehyde.

Introducción

El “culantro coyote” (*Eryngium foetidum* L.) es una planta que se emplea como ornamental, en la cocina y en medicina natural como antiinflamatorio y analgésico (Fonseca, 2010), e incluso con propiedades en investigación para la salud humana (Rojas, 2014). De acuerdo a lo reportado por Rodríguez (2018), esta hortaliza es cultivada en Puerto Rico, República Dominicana, Cuba, Islas de las Antillas, América Central, México, Brasil, Tailandia, Vietnam, Bangladesh y en India. La actividad como cultivo agrícola en Costa Rica ha sido desarrollada en varias partes del territorio nacional. Según lo reportado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (Servicio Fitosanitario del Estado, 2014), la producción se ha centrado en los distritos del Cantón de Turrialba y Siquirres, en comunidades como Tres Equis, Pión de Azúcar, La Flor, El Sol y Chitaría, todos de Turrialba, y Guayacán, Santa Marta, Los Ángeles, Morazán, Linda Vista y 52 Millas, del cantón de Siquirres.

Dentro de los requerimientos para la producción de culantro coyote, los aportes de nitrógeno son necesarios para su buen desarrollo, ya que este elemento es clave para el crecimiento de su follaje, que es la parte comercializable. Las fuentes sintéticas de nitrógeno se consideran importantes en las cuantificaciones de emisiones de CO₂, por la relación que tiene sobre el efecto invernadero y su relación con el cambio climático. En aras de procurar una producción de menor impacto ambiental, se deben buscar productos fertilizantes con propiedades diferenciadas, que permitan reducir la cantidad total de nitrógeno empleado en cada ciclo de cultivo. De acuerdo con el Sistema Español de Inventario de Emisiones (2018), la aplicación de la fuente de nitrógeno urea, tiene un factor de emisión de CO₂ de 0.2. Lo anterior significa que, por cada kg de urea aplicado, se emiten 0,2 kg de CO₂ al ambiente; por lo que se considera un factor promotor de la problemática del cambio climático (Montenegro, 2020). La problemática ha sido discutida en diferentes foros, pero con acciones parciales en resultados, por todas las aristas que conlleva los cambios productivos en los países. Se tiene el reto de poder alimentar cada día a más personas en el mundo, pero con menos recursos como agua y tierras aptas para la agricultura.



El presente estudio tuvo como objetivo, determinar el efecto en el suelo de fertilizantes nitrogenados y la productividad del “culantro coyote”, al reemplazar las fuentes de nitrógeno tradicionales.

Metodología

A continuación, se detalla cómo se procedió a evaluar las variables de suelo, follaje y las mediciones biométricas de las plantas de “culantro coyote”. Por otro lado, se especifican los procedimientos, equipos empleados y tamaño de muestra en la toma de datos.

Variables

Para cuantificar la respuesta de las fertilizaciones se establecieron las siguientes variables que consideraron el contenido nutricional del suelo, monitoreo nutricional del follaje y de crecimiento de las plantas:

1. Cuantificación del contenido de nutrientes en el suelo al inicio y al final del proyecto.
2. Cuantificación del contenido de nutrientes de la tercera hoja en diferentes etapas de crecimiento del cultivo, 25, 46 y 53 días después de la brotación.
3. Conteo total de hojas.
4. Medición de largo y ancho (cm) de la tercera hoja de manera semanal.
5. Medición del área foliar (cm²).
6. Medición biomasa fresca y seca (g/planta, kg/ha) a la cosecha.
7. Conteo/cálculo de días a floración y cosecha.
8. Peso/medición de kg/ha de producto fresco para comercialización.

Área experimental

El área de estudio presentaba una topografía semi ondulada, menos de 15% de pendiente, en dos bloques de tratamientos, mientras que los otros tres bloques presentaron topografía plana, menor a 5% de pendiente. El terreno se encontraba rodeado de arbustos y pastos, ninguna afectación de sombra a las parcelas de culantro, cuya clasificación a nivel de orden suelos se categoriza dentro de los Ultisoles y del Suborden Humults y se ubicó en Santa Marta, Siquirres, Limón, Costa Rica, con las coordenadas geográficas 10.003825990000001, - 83.57600309; finca administrada por don Franklin “Gatico” Abarca. La población estudio fue una plantación de “culantro coyote” posterior a la primera cosecha, con una densidad de 56 000 plantas/ha. Cada parcela o tratamiento, tuvo un área de 2 m².

Procedimientos y muestreos

Para la ejecución del proyecto se realizaron los siguientes procedimientos:

Modificación del programa de fertilización con la reducción de aportes de N entre 10 y 15%. Se partió de la toma de muestras de suelo previo a la brotación de la segunda generación de la plantación, con barreno de tornillo de 0 a 20 cm y otro muestreo de suelos al llegar a cosecha. Se monitoreó el contenido nutricional foliar, cortando con tijeras la tercera hoja de arriba hacia abajo de 10 plantas por parcela, a 25, 46 y 53 días.

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de suelos y foliares de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA), ubicado en La Rita, Pococí, Costa Rica. La materia orgánica de las muestras de suelos fue calculada a partir del valor de carbono total por combustión seca, pH por medio de extracción en agua (1:2.5), la acidez por medio de extracción en KCl 1 M; y la titulación Ca, Mg, K, P, Fe, Cu, Zn, Mn y B, extracción con disolución Mehlich 3 y lectura en ICP-OES.

Las muestras foliares se secaron a 70° C en horno de CORBANA, determinando el N por medio de combustión seca, mientras que P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B por medio de digestión en microondas con las soluciones de HNO₃ y H₂O₂ y la lectura en ICP-OES.

Para el primer ciclo de fertilización los tratamientos 1, 2 y 3 recibieron una fertilización similar y el tratamiento 4, testigo absoluto o sin fertilizante, se mantuvo todo el proyecto sin fertilización. Se establecieron tratamientos para el segundo ciclo de fertilización, los cuales se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1.

Detalle de los tratamientos (fertilizantes) aplicados en culantro coyote

Tratamiento	DDC*	Ciclo	Producto	Kg fertilizante/ha	Kg N por ciclo/ha
T1-SOP	8	1	10-30-10	225.0	22.5
	32	2	38-0-0-7.7(S)	272.3	103.5
T2-Urea con Agrotain	8	1	10-30-10	225.0	22.5
	32	2	Urea con Agrotain	204.6	88.6

T3-Urea Formaldehído	8	1	10-30-10	225.0	22.5
	32	2	Urea Formaldehído	310.5	93.2
T4- Sin Fertilización	8	1	-	0.0	0.0
	32	2	-	0.0	0.0

*DDC: Días después de cosecha, en este caso, la primera cosecha posterior a la siembra del almácigo

Fuente: elaboración propia.

Se midieron las emisiones de CO₂ (ton CO₂/año) empleando el Sistema Español, con la fórmula:

$$\text{ton Urea/año} \times (60.06/280134) \times 0.2 \text{ EF} \times (44.01/12.0107) = \text{ton CO}_2/\text{ha/año}$$

Así mismo, se obtuvieron las emisiones directas de gases de efecto invernadero N₂O, por medio de la categoría de fertilizantes sintéticos, empleando el consumo de N total (kg de nutrientes) que propone la FAO, se aplicó la fórmula (**Figura 1**):

$$\text{Kg N/año} \times \text{factor de emisión kg N}_2\text{O-N / kg N año}^{-1}$$



Figura 1. Fertilizantes evaluados en T1, T2 y T3, aplicados a los 32 días del inicio del estudio. Fuente: elaboración propia.

Se midieron las siguientes variables biométricas: conteo total de hojas por planta, medición (cm) semanal del tamaño de la tercera hoja de 25 plantas, largo (del peciolo a la punta del ápice) y ancho (centro de la hoja transversal a la vena foliar) (**Figura 2**). Se aplicó la fórmula del área largo x ancho para obtener una aproximación del área foliar en cm². Se realizaron cinco mediciones, una cada semana.

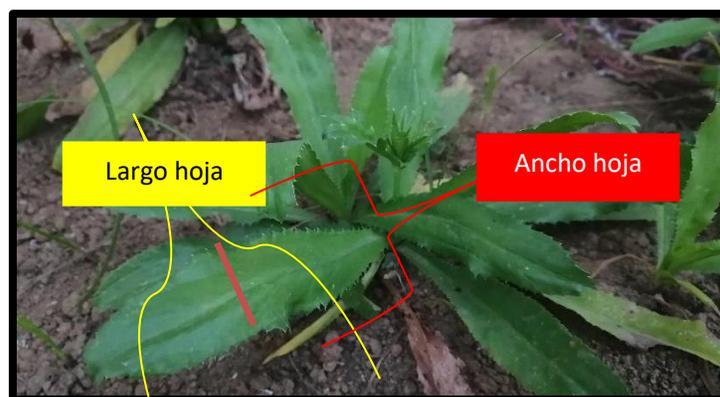


Figura 2. Ilustración de largo y ancho de hoja en planta de culantro coyote.
Fuente: elaboración propia.

Al momento de la cosecha, se realizó la medición de biomasa fresca o peso del tejido en el campo, y la materia seca al colocar las muestras anteriores en un horno hasta peso constante por 24 horas a 70 °C. Se registraron las fechas de floración, considerando cuando el 50% de las plantas presentaron inflorescencia. La cosecha de todos los tratamientos fue el mismo día. Para el análisis de datos se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) por la prueba de Duncan de cada variable, con un grado de confianza del 95%, por medio del programa Infostat.

Resultados y discusión

Crecimiento y desarrollo del cultivo

A nivel de crecimiento, todas las parcelas que se mantuvieron sin aportes adicionales de fertilizantes (T4- Sin fertilización), mostraron menor cantidad de hojas (**Figura 3**), largo y ancho de las mismas y, por ende, menor área foliar.

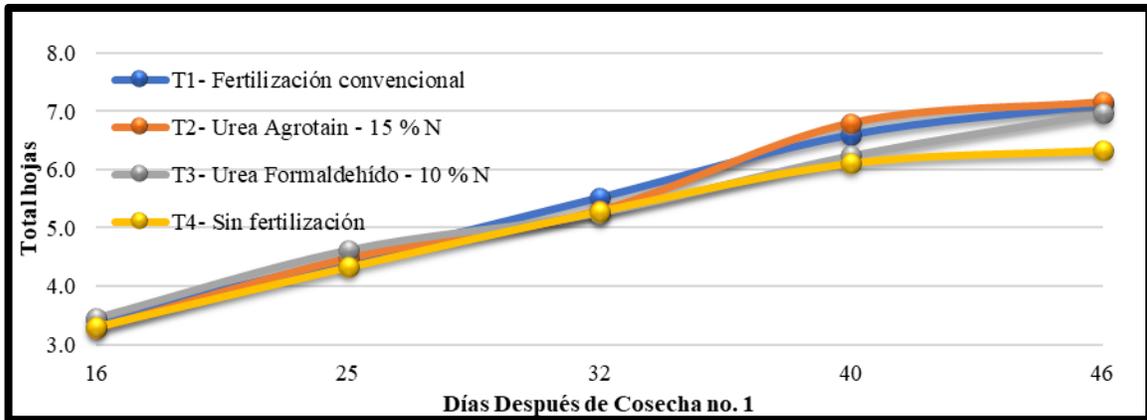


Figura 3. Total de hojas/semana en culantro coyote (*Eryngium foetidum*) de exportación al emplear diferentes fuentes fertilizantes de nitrógeno. Fuente: elaboración propia.

La cantidad de hojas fue similar entre tratamientos, sin embargo, el incremento en número de hojas fue mayor en los tratamientos fertilizados (**Figura 3**), siendo clara la necesidad de nutrientes adicionales a los que se puedan encontrar en el suelo. Tanto el largo como el ancho de las hojas se vieron afectadas por la omisión de la fertilización (**Figura 4**), pero entre fuentes y dosis de fertilizante, las diferencias visualmente fueron poco evidentes.

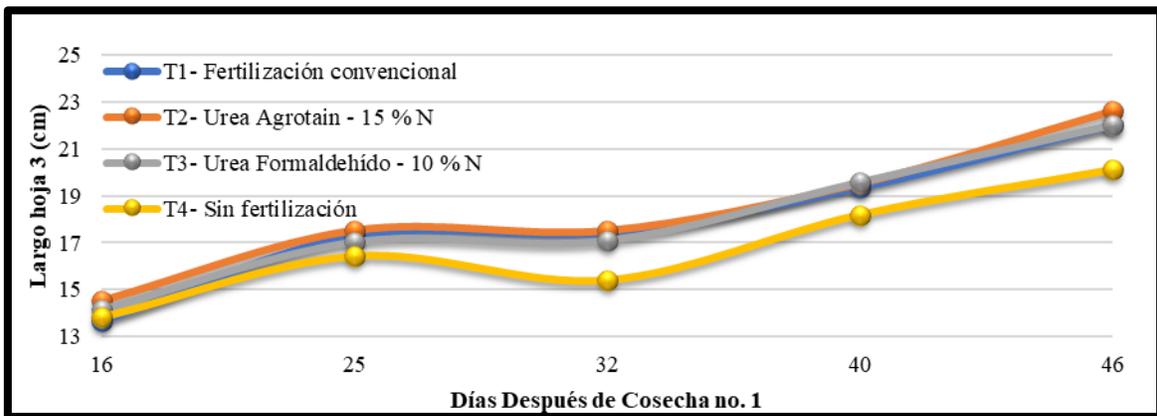


Figura 4. Largo de hoja 3 (cm) / semana en culantro coyote (*Eryngium foetidum*) al emplear diferentes fuentes fertilizantes de nitrógeno. Fuente: elaboración propia.

Por lo visualizado en la figura anterior, en las parcelas fertilizadas (T1, T2 y T3) el largo de la hoja fue similar, sin diferencias estadísticas significativas entre ellas, pero sí con respecto al tratamiento sin fertilización (T4).

La combinación de largo y ancho de la tercera hoja mostró resultados similares a los anteriores, con diferencias significativas solamente entre los tratamientos aplicados con respecto al testigo sin fertilización (T4) (**Tabla 2**). En la evaluación de los 14 días, el testigo

sin fertilización y los fertilizantes alternativos mostraron mayor similitud en largo y ancho de la hoja 3, sin embargo, existieron diferencias significativas entre el tratamiento convencional (T1) y testigo sin fertilización (T4) ($p > 0.05$).

En cuanto a la medición de área foliar, los resultados fueron muy similares a los de largo y ancho de hoja por razones obvias. El tratamiento convencional (T1) fue el de mayor área, muy similar a los otros dos fertilizados, pero estadísticamente diferentes ($p > 0.05$); y el tratamiento de menor área fue el T4 (sin fuente de N) (**Tabla 2**).

Tabla 2.

Resultados de la prueba de Duncan para las variables de crecimiento a 46 días de la primera cosecha, correspondiendo a 14 días posterior a la fertilización evaluada

Tratamiento	Total hojas	Largo hoja 3 (cm)	Ancho hoja 3 (cm)	Área foliar (cm ²)
T1- Fertilización convencional	7.12 A	22.01 AB	4.46 A	98.99 A
T2- Urea Agrotain - 15% N	7.16 A	22.65 A	4.25 AB	97.45 AB
T3- Urea Formaldehído - 10% N	6.96 A	22.02 AB	4.34 AB	96.23 AB
T4- Sin fertilización	6.32 B	20.11 B	4.00 B	82.01 B
P-valor	0.0117	0.0103	0.1187	0.0355

Nota: * $p > 0.05$; Fuente: elaboración propia.

Determinaciones de laboratorio a nivel de suelo y foliares

De la **Tabla 3** se puede evidenciar que los elementos P, S, Cu y B mantuvieron valores relativamente constantes en cada muestreo y para cada tratamiento, mientras que el K, Ca, Zn y Mn presentaron una disminución en su contenido conforme creció el cultivo. Por otro lado, el N y el Mg fueron aumentando su contenido conforme creció el cultivo, en especial posterior a los 32 días, momento de la aplicación de los fertilizantes evaluados; a los 53 días el tratamiento testigo absoluto (T4) también aumentó, pero no al mismo contenido que los otros tratamientos.

Tabla 3.

Resultados del contenido foliar de nutrientes en el muestreo de la tercera hoja de “culantro coyote” (*Eryngium foetidum*), a 25, 46 y 53 días de la primera cosecha

Tratamiento	DDI	%		cmo(+)/L				mg/L					
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
T1- Fertilización convencional	25	3.90	0.38	5.10	1.09	0.12	0.29	137	12	58	108	20	
	46	3.43	0.32	4.51	0.73	0.20	0.22	152	11	47	53	23	
	53	4.00	0.38	4.34	0.74	0.21	0.27	186	11	50	64	21	
T2- Urea Agrotain - 15% N	25	3.87	0.4	5.15	1.22	0.13	0.29	177	12	57	89	21	
	46	3.53	0.33	4.08	0.76	0.19	0.22	178	11	48	54	23	
	53	3.77	0.35	3.87	0.74	0.20	0.25	236	10	49	55	21	
T3- Urea Formaldehído - 10% N	25	3.93	0.37	5.15	1.17	0.14	0.26	155	11	61	78	20	
	46	3.72	0.37	4.32	0.77	0.18	0.23	143	11	50	45	23	
	53	3.82	0.37	4.09	0.76	0.20	0.25	194	10	49	48	20	
T4- Sin fertilización	25	3.57	0.37	5.04	1.08	0.14	0.29	161	12	57	88	20	
	46	2.86	0.35	3.82	0.76	0.19	0.21	171	11	44	37	22	
	53	3.13	0.35	3.74	0.71	0.20	0.23	215	10	41	44	20	

DDI: Días después del inicio. Fuente: elaboración propia.

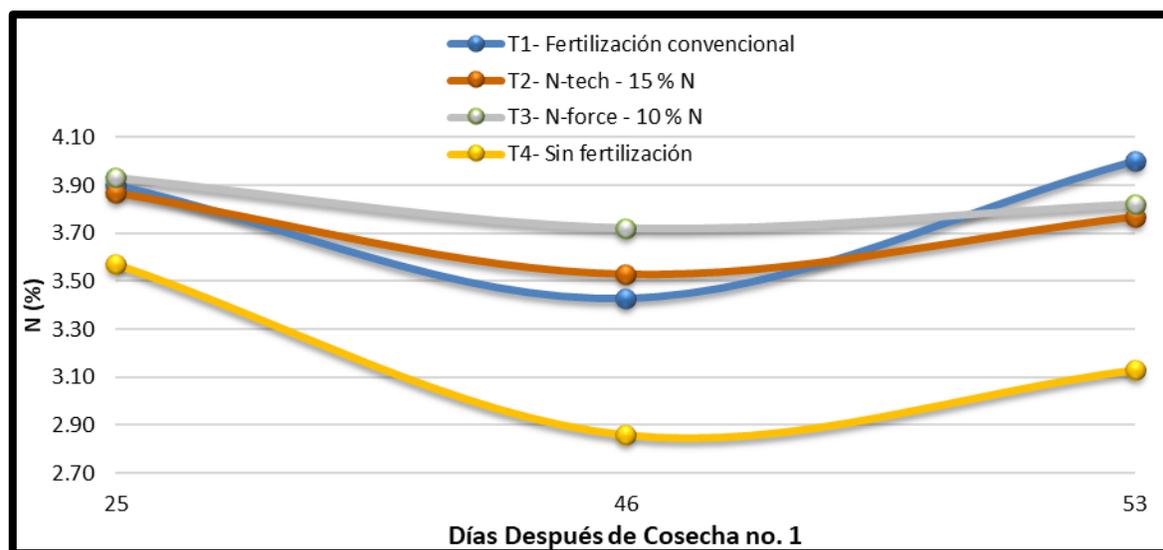


Figura 5. Contenido foliar de N (%) de hoja 3 en “culantro coyote” (*Eryngium foetidum*) al emplear diferentes fuentes fertilizantes de nitrógeno. Fuente: elaboración propia.

En todos los tratamientos el comportamiento fue ascendente en el contenido de N en la hoja 3 (**Figura 5**), en especial el T4 (sin fertilizante). Lo anterior se debe a la alta capacidad de movilidad de N en la planta, pasando de un sector a otro según su necesidad (Molina, 2003). Por otra parte, en estos contenidos a nivel foliar, se evidenció que los aportes de N y S eran necesarios, ya que el omitir la fertilización significó niveles inferiores respecto a los tratamientos fertilizados y cuyo contenido en el suelo fue insuficiente para igualarlos, tal como lo obtuvo en un sistema hidropónico. Rodríguez (2018), partiendo de almácigo, obtuvo en promedio 3.43% N, lo cual representa un valor de referencia o mínimo a considerar en este cultivo. En las parcelas sin fertilizar (T4), se dio un menor crecimiento, conllevando a menor producción de rollos.

Se debe destacar que el resultado foliar de N a los 46 días se puede explicar debido a la precipitación de 30 mm ocurrida a los 5 dda de los fertilizantes, lluvia que acumuló más de 100 mm, entre los 32 a los 40 días de iniciado el proyecto (**Figura 6**), lo que pudo haber interrumpido las pérdidas e incorporado al suelo el nutriente, tal como lo reportó Gambaudo y López (2005), en su estudio sobre el manejo del N en maíz, con el aditivo Agrotain.

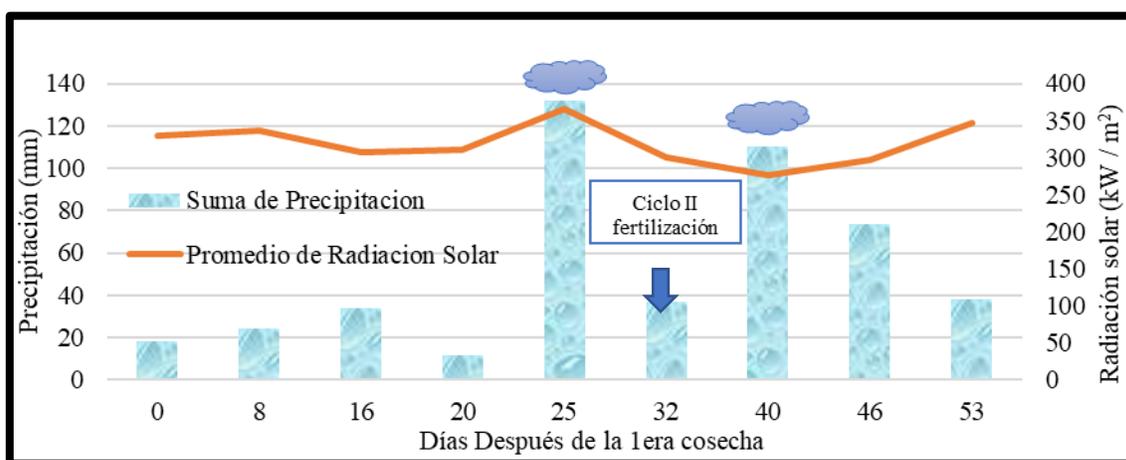


Figura 6. Precipitación acumulada semanal (mm) y radiación solar (kW / m²) en estación climática Siquirres, semana 20 a 28 del año 2020. Fuente: Finca Bananera Siquirres.

Por otra parte, el contenido de Mg en el suelo, presentó valores similares, tanto en el muestreo inicial como final, sin embargo, los valores de la hoja 3 mostró valores ascendentes

conforme se dio el crecimiento de las plantas, lo cual puede ser explicado por el mismo fenómeno del aumento de pH que promueve su disponibilidad (**Figura 7**), aun cuando en ningún tratamiento se dieron aplicaciones adicionales de Mg. La falta de fertilización promovió en menor medida la falta de azufre (S) para el T4, ya que el contenido foliar no aumentó como en los tratamientos aplicados con fertilizante, más bien, estos se mantuvieron constantes, puesto que a valores cercanos de pH 6, la disponibilidad aumenta.

A nivel de suelo, los tratamientos presentaron valores de pH similares al inicio, con cambios en los contenidos al finalizar la evaluación, en especial, un incremento del pH y reducción de la acidez, esto para las áreas de T2 y T3 y en áreas sin fertilizante (**Tabla 4**). En cuanto a la materia orgánica, esta se presentó en la mayoría de muestras sobre el nivel crítico de 5%, previo al inicio del ensayo.

Tabla 4.

Resultados del contenido de nutrientes en el muestreo de suelos al inicio del proyecto y a la cosecha

Tratamiento	DDI	-		cmo(+)/L					mg/L				%
		pH	Acid	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn	B	M.O.
T1- Fertilización convencional	4	5.05	1.19	10.7	1.7	0.51	22	147	1.5	2.1	15	0.22	7.44
	53	5.33	0.65	11.3	1.7	0.38	30	182	1.8	2.4	22	0.17	7.24
T2- Urea Agrotain - 15% N	4	5.08	1.11	13.3	1.9	0.61	22	181	1.9	3.8	22	0.25	7.74
	53	5.71	0.25	14.6	1.6	0.33	41	215	2.6	4.2	30	0.17	4.58
T3- Urea Formaldehído - 10% N	4	5.28	0.67	12.1	1.8	0.50	25	186	1.9	2.9	17	0.22	6.8
	53	5.47	0.51	14.8	1.9	0.50	31	178	2.2	4.5	27	0.25	6.92
T4- Sin fertilización	4	5.26	0.83	11.7	1.7	0.49	22	172	1.9	2.7	20	0.2	5.12
	53	5.88	0.22	16.7	1.8	0.53	31	197	2.7	5.5	31	0.23	6.44
Niveles críticos		5.50	0.50	4.0	1.0	0.20	10	10	1.00	3.00	5	0.20	5.00

DDI: Días después de iniciado el proyecto (brotación). Fuente: elaboración propia.

El contenido de Mg en el suelo se mantuvo con pocas variaciones, mientras que K y B disminuyeron. Lo contrario ocurrió con Ca, P, Zn, Mn y Fe en casi todos los tratamientos,

excepto en T3, no obstante, valores fueron superiores al nivel crítico. Sobre el contenido de P, este mostró un incremento, favorecido por la aplicación de este elemento en el fertilizante del ciclo I de fertilización, a los 18 días.

Para el caso del pH y acidez intercambiable, se presentó una reducción en la acidez, en mayor medida en los tratamientos T3 y T4. Al inicio del proyecto se partió de valores de pH inferiores a 5.28, mientras que al finalizar, los valores fueron superiores o cercanos a 5.5, por lo que sin aplicar los elementos Fe, Cu, Zn y Mn, estos mostraron valores mayores respecto al inicio en la mayoría de los tratamientos, explicado por el incremento en el pH del suelo. La **Figura 7** representa en verde el rango de pH con mayor disponibilidad para cada nutriente.

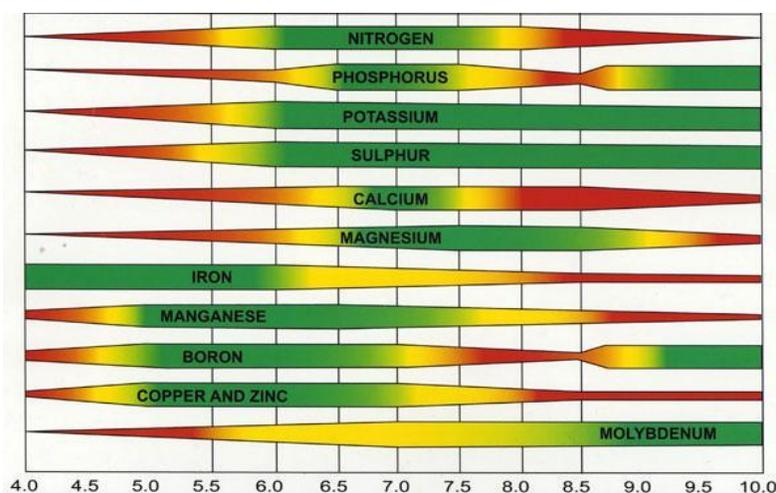


Figura 7. Disponibilidad de nutrientes para las plantas en el suelo de acuerdo al pH. Fuente: AEFA, s.f.).

Biomasa

Sobre la respuesta en tejido seco de la hoja 3 (**Tabla 5**), la fertilización convencional (T1) produjo el mayor peso seco por cada hoja, tanto a los 46 días después de la primera cosecha (14 días de la fertilización) como a los 53 días de esa cosecha (21 días de la fertilización evaluada).

Tabla 5.

Peso seco (g) de hoja 3 posterior a 14 y 21 días de la fertilización evaluada, 46 y 53 días de la cosecha anterior

Tratamiento	Peso seco de hoja 3 (g/hoja)	
	46 días	53 días
T1- Fertilización convencional	0.486	0.656
T2- Urea Agrotain reducción 15% N	0.484	0.573
T3- Urea Formaldehído reducción 10% N	0.472	0.546
T4- Sin fertilización	0.397	0.538

Fuente: elaboración propia.

La venta comercial para exportación de culantro coyote, se hace por medio de rollos de 210 g, agrupando hojas. El experimento mostró mayores valores en el T1 (tratamiento de fertilización convencional) (**Tabla 6**), seguido de la reducción del 15% de dosis de N con Urea Agrotain. Si bien no hubo diferencias significativas entre los tratamientos con reducción de fertilizante, a nivel productivo se observa una disminución de peso fresco y rollos/ha o m² en estos tratamientos con respecto a la fertilización convencional y sobre todo contra el testigo sin fertilización (T4).

Tabla 6.

Resultados de la prueba de Duncan para los valores productivos

Tratamiento	Promedio de Peso total (kg/ha)		Promedio de Peso rollo (g)		Promedio de Rollos de 210 g /ha		Promedio de Rollos de 210 g/m ²	
T1- Fertilización convencional	23362.2	A	222.2	A	111248.6	A	11.1	A
T2- Urea Agrotain – 15% N	19290.5	AB	195.6	AB	91859.5	AB	9.2	AB
T3- Urea Formaldehído – 10% N	18493.1	AB	208.3	AB	88062.4	AB	8.8	AB
T4- Sin fertilización	16320.5	B	160.4	B	77716.7	B	7.8	B
P-valor	0.0004		0.0004		0.0004		0.0004	

Nota: * $p > 0.05$. Fuente: elaboración propia.

Análisis costo/beneficio

Por medio del análisis de costo/beneficio de los resultados productivos, se determinó, con respecto a los fertilizantes alternativos (de mayor costo) y las áreas sin fertilizar, que las diferencias fueron entre 19 000 y 33 000 rollos menos/ha, mientras que al fertilizar, el incremento en producción fue entre 10 000 y 33 000 rollos/ha de 210 g (Tabla 7).

Tabla 7.

Resultados productivos a cosecha (número de rollos)

Tratamiento / Fertilizante empleado	Rollos de 210 g/ha	Costo Beneficio (unid/ha)	Diferencia rollos/ha respecto T1	Diferencia rollos/ha respecto T4
T1- Fertilización convencional 38-0-0-7.7(S)	111 000	367	-	33 000
T2- Fert. reducción 15% (Urea Agrotain) 43.3-0-0-2.9(S)	92 000	352	-19 000	14 000
T3- Fert. reducción 10% (Urea Formaldehído) 30-0-0-10(S)	88 000	1212	-23 000	10 000
T4- Sin Fertilización	78 000	0	-33 000	-

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados, pioneros en el cultivo, indican que con la fertilización alternativa o reducida en el cultivo de culantro coyote, la producción se vio disminuida. Por lo anterior, este estudio da pie a ampliar mejoras en el cultivo a nivel de nutrición, aun cuando resultados como los de Pérez-Berges (2004), en el cultivo de maíz en la región de Aragón, España, son similares e indican pocos beneficios de utilizar fertilizantes nitrogenados con inhibidores de la nitrificación, comparándolos con fertilizantes convencionales; es preciso valorar su efecto sobre las pérdidas de N por lavado y no solamente su efecto sobre el rendimiento del cultivo (Andreu, 2006).

Emisiones de CO₂

Dado que los tres fertilizantes poseen N y una parte a base de Urea, son fuentes de impacto para los gases de efecto invernadero (GEI), por lo que una reducción en las dosis significó una disminución en las emisiones de GEI. N₂O y CO₂ (**Tabla 8**).

Tabla 8.

Emisiones de CO₂ y N₂O-N en cada tratamiento

Tratamiento / Fertilizante empleado	Cant. fert. (kg/ha)	Aporte N (Kg/ha)	% Urea	Urea (Kg/ha)	Emisión C-CO ₂ /kg fert. Urea/ha	Emisión N ₂ O- N/kg/ha	Emisión CO ₂ (ton/ha)	% Reducción emisiones CO ₂ /ha
T1- Fert. convencional 38-0-0-7.7(S)	272.2	104	68.01	185.16	37.03	1.04	0.136	0
T2- Fert. reducción 15% (Urea Agrotain) 43.3-0-0-2.9(S)	204.6	88	88.02	180.10	36.02	0.88	0.132	3
T3- Fert. reducción 10% (Urea Formaldehído) 30-0-0-10(S)	310.5	93	24.00	74.52	14.90	0.93	0.055	60
T4- Sin Fertilización	-	-	-	-	-	-	-	-

*Factor de conversión C-CO₂ a C₂ fue 3.6642 =44.01/12.0107- Fuente: elaboración propia.

La fuente Urea Formaldehído, por su menor proporción de Urea, mostró la menor emisión de CO₂, aunque volumétricamente significa emplear dosis altas de fertilizante para poder aportar el N requerido en el cultivo; aun con la reducción de dosis del 10%, se obtuvo la reducción de un 60% de emisiones de CO₂, respecto al T1.

Las fuentes alternativas a la fertilización convencional (T1) tuvieron un costo menor, como se observa en la **Tabla 9**. Si bien se logró el objetivo de reducir emisiones, el aspecto económico de la fuente Urea Formaldehído es muy significativo, ya que representa incrementar los costos de insumos en más de un 300% con respecto a T1 y T2, lo que hace esta alternativa de alto impacto en costos.

Tabla 9.

Aporte de N (kg/ha) y costo (\$/ha) de fertilizantes en el ciclo II del cultivo de culantro coyote

Tratamiento	Aporte Kg N en II ciclo/ha	Costo II ciclo (\$/ha)
T1- Fertilización convencional	104	122
T2- Fertilización reducción 15 % (Urea Agrotain)	88	117
T3- Fertilización reducción 10 % (Urea Formaldehído)	93	402
T4- Sin Fertilización	-	-

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los fertilizantes pueden ser comparados por su costo de unidad de elemento que aportan en función del costo por ton y, en este caso, precio de unidad de N (\$/ton N) (**Tabla 10**), De esta forma, igualmente se obtuvo un menor costo con el fertilizante convencional usado.

Tabla 10.

Análisis de precio unidad de N en el ciclo II según las fuentes aplicadas en cada tratamiento

Tratamiento	Fertilizante empleado	Peso saco (Kg)	Precio (\$/saco)	Precio fertilizante (\$/Kg)	Precio unidad N (\$/ton N)
T1- Fertilización convencional	38-0-0-7.7(S)	45	20.11	0.45	1176.0
T2- Fertilización reducción 15% (Urea Agrotain)	43.3-0-0-2.9(S)	45	25.84	0.57	1326.1
T3- Fertilización reducción 10% (Urea Formaldehído)	30-0-0-10(S)	25	32.36	1.29	4314.7
T4- Sin Fertilización	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

De la **Tabla 10**, se desprende que por su costo (\$/kg), la Urea Formaldehído presenta la limitación de precio, lo cual debe ser considerado en otros ciclos de fertilización de manera individual, siendo posible su evaluación según su compatibilidad física y química con otros



fertilizantes, pues los valores de N y S se mantuvieron en niveles satisfactorios con esta materia prima.

Por el costo de los fertilizantes para el ciclo II, se obtuvo que, este se cubre con la producción de más de 352 rollos/ha, de lo que produce sin este ciclo de fertilizante; a su vez, en el T3 por su precio y volumen de fertilizante, el equilibrio costo-beneficio triplicó a los otros tratamientos con fertilizante.

Conclusiones

En el cultivo de culantro coyote debe de haber biodisponible una fuente nitrogenada en el suelo, debe ser fertilizado de manera oportuna, o en caso contrario, la productividad se verá disminuida drásticamente.

Los resultados de esta investigación demuestran que, aun cuando los programas alternativos solo tuvieron la reducción del 10 y 15% en el aporte de N del ciclo II, la productividad del cultivo se vio afectada.

La fuente fertilizante Urea con Agrotain, presentó ser una opción aceptable para reducir las dosis de fertilizante, las emisiones de CO₂, los costos y obtener una productividad relativamente aceptable, respecto al manejo convencional y con el ciclo de Urea a dosis completa y sin el aditivo evaluado.

Por la capacidad de reducir las emisiones de CO₂ de la Urea Formaldehído, pero por su alto costo, este debe ser introducido en cultivos de bajo aporte de N y S y/o combinarlo con otros fertilizantes para aprovechar estos beneficios y bajar el costo.

Según el mercado destino del culantro coyote, se puede modificar la fertilización, reduciendo costos, pero obteniendo hojas de menor tamaño, destinadas al mercado local y no al de exportación.

Referencias

- AEFA (2022). Clasificación del pH, Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes. Valencia, España. <https://aeфа-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/clasificacion-del-ph>
- Andreu, J., Betrán, J., Delgado, I., Espada, J., Gil, M., Gutiérrez, M., Iguácel, F., Isla, R., Muñoz, F., Orús, F., Pérez, M., Quílez, D., Sin, E., & Yagüe, M. (2006). Fertilización Nitrogenada, Guía de actualización. Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura y Alimentación. Aragón, España. https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf
- Fonseca, J. (2010). Culantro coyote. Artículo electrónico. <https://www.hortalizas.com/cultivos/culantro-coyote/>
- Gambaudo, S., & López, O. (2005). Eficiencia en el uso de los fertilizantes: efecto del inhibidor de la enzima Ureasa. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Rafaela, Argentina. http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/104/cultivos_p14.pdf
- Molina, E. (2003). Fertilizantes: conceptos básicos y definiciones. Material de estudio del curso: fertilizantes y enmiendas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Montenegro, J. (2020). Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno en la emisión de óxido nítrico en plantaciones de café en Costa Rica. Revista de Ciencias Ambientales 54(2), 111-130. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.6>
- Pérez-Berges, M. (2004). Abonos estabilizados. Avance de resultados de ensayos en cultivo de maíz. Informaciones Técnicas. Gobierno de Aragón. N° 137. https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf
- Rodríguez, G. (2018). Evaluación de la dinámica del agua y nutrientes en la producción de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) bajo dos ambientes diferentes y dos soluciones nutritivas en un sistema hidropónico. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Agronómica con énfasis en fitotecnia, Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4903/1/42291.pdf>



Rojas-Silva, P. (2014). Leishmanicidal, anti-inflammatory and anti-obesity properties of natural products from common medicinal and edible plants. The State University of New Jersey - New Brunswick, ProQuest Dissertations Publishing. <https://rucore.libraries.rutgers.edu/rutgers-lib/45447/>

Servicio Fitosanitario del Estado (2014). Manual Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Culantro Coyote. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG-SFE). San José, Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10801.pdf>

Sistema Español de Inventario de Emisiones. (2018). Emisiones de CO₂ debidas a la fertilización con urea. Metodologías de estimación de misiones. España. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/100101-6-emisiones-fertilizacion-urea_tcm30-481947.pdf

Islas de calor urbano en el municipio de Santa Cruz de Lorica, Colombia, entre los años 2001, 2007 y 2021, caso de aplicación con imágenes satelitales ASTER

Urban heat islands in the municipality of Santa Cruz de Lorica, Colombia, between the years 2001, 2007 and 2021, application case with ASTER satellite images



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023: 87-101

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.4-1.5>

Recibido: 30/03/2023

Revisado: 30/04/2023

Aprobado: 12/06/2023

Andrés Felipe Del Toro Pérez

Estudiante de pregrado en Geografía

Facultad de Ciencias Básicas

Departamento de Geografía y Medio Ambiente

Universidad de Córdoba

adeltoroperez21@correo.unicordoba.edu.co

<https://orcid.org/0009-0005-9419-9077>

Colombia

Libia Liliana Julio Galvis

Doctora en química

Docente de la Corporación Universitaria Remington – Seccional Montería

libia.julio@uniremington.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-4213-1271>

Colombia

Pedro Luis Payares Ramos

Ingeniero Sanitario y Ambiental

Environment and Technology Foundation

etf_@environmenttechnologyfoundation.org

<https://orcid.org/0000-0003-4564-7118>

Colombia

Hugo Alberto Villadiego Martinez

Ingeniero Sanitario y Ambiental

Resumen

Las islas de calor urbana son un fenómeno global que impacta principalmente a los espacios urbanos, concentrando altas temperaturas en zonas muy específicas de las ciudades donde hay mayor presencia de edificaciones y calles construidas con materiales altamente absorbentes de la radiación y que convierten esa energía en calor superficial. Este fenómeno es medible y cuantificable por medio del uso de imágenes satelitales como las ASTER, de Terra nivel 1 de precisión del terreno corregido y radiancia registrada en el sensor, equipadas con una serie de bandas termales de 90 m de resolución espacial. Preprocesando y procesando estas imágenes satelitales por medio de softwares como QGIS y ArcMAP se puede determinar la temperatura superficial terrestre a través del algoritmo SCP de QGIS. Lo anterior permitió concluir que las islas de calor urbana en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica han aumentado en temperatura y en porcentaje de ocupación en la superficie, para los años 2001, 2007 y 2021.

Palabras claves: Cambio climático, temperatura superficial terrestre, espacios urbanos.

Abstract

Urban heat islands are a global phenomenon that mainly affects urban spaces, concentrating high temperatures in very specific areas of cities where there is a greater presence of buildings and streets built with materials that highly adsorb radiation and convert that energy into superficial heat. This phenomenon is measurable and quantifiable through the use of satellite images such as Terra's ASTER Level 1 accuracy of the corrected terrain and radiance recorded in the sensor, equipped with a series of thermal bands of 90 m spatial resolution. By preprocessing and processing these satellite images using software such as QGIS and ArcMAP, the Earth's surface temperature can be determined through the QGIS SCP algorithm as implemented in this work. Finally, the above led to the conclusion that the urban heat islands in the urban area of the municipality of Santa Cruz de Lorica have been



increasing over the years both in degrees Celsius and in surface area, specifically between the time period of the years 2001, 2007 and 2021.

Keywords: Climate change, land surface temperature, urban spaces.

Introducción

El cambio climático es considerado un fenómeno antropogénico producto de las actividades industriales humanas que originan emisiones de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) ozono (O₃), óxido nitroso (N₂O) y clorofluorocarbonos (Huang & Lu, 2015a). Dichas emisiones desencadenan diversos cambios fisicoquímicos en el aire, la tierra y el mar (He & Silliman, 2019; Pörtner et al., 2022). Su impacto es un riesgo para la vida y subsistencia de las personas, lo que genera una amenaza para el desarrollo sostenible y los esfuerzos mundiales para mantener el estado natural del planeta (Rising et al., 2022).

El rápido desarrollo urbano y el crecimiento demográfico, en la mayoría de las naciones que están en vías de desarrollo, viene acompañado con cambios en el uso y la cobertura del suelo, lo que genera variaciones en el clima local alterando el balance energético y el agua superficial (Guo et al., 2022; Ren et al., 2023; Swamy et al., 2017; Ulpiani, 2021; Yang et al., 2019; Zhou & Chen, 2018). Como consecuencia de estas transformaciones la temperatura de la superficie terrestre (LST) en las zonas urbanas incrementa, dando lugar al fenómeno denominado isla de calor urbana (UHI) (Dutta et al., 2019; Shahfahad et al., 2020).

La Isla de Calor Urbana (UHI) impactan a millones de personas a nivel global y generan necesidades energéticas que refuerzan el calentamiento en áreas urbanas, generando consecuencias ambientales y para la salud y el bienestar de las personas, al afectar el medio ambiente circundante y los ecosistemas naturales y sociales (Hong et al., 2019; Huang & Lu, 2015b; Mohajerani et al., 2017; Yang et al., 2019).

Lograr comprender la dinámica temporal de la isla de calor urbano contribuirá a una planificación urbana sostenible que impactará en los niveles de temperatura atmosférica dentro y alrededor de las áreas urbanas (Hong et al., 2019).



En tal sentido este artículo tiene como propósito identificar las islas de calor urbano en el municipio de Santa Cruz de Lorica, Córdoba, Colombia, mediante el uso de imágenes satelitales ASTER y mediante el análisis estadístico de la dinámica multitemporal de las islas de calor urbanas respecto al área que ocupan entre los años de 2001, 2007 y 2021.

Metodología

Área de estudio

El casco urbano de Santa Cruz De Lorica se encuentra ubicado hacia la zona nororiental del municipio de Lorica, al norte del departamento de Córdoba, Colombia. Específicamente en las coordenadas geográficas 9° 14' 23.01" N y 75° 49' 03.23" O, en el margen derecho del río Sinú, sobre el noroccidente del complejo cenagoso del Bajo Sinú (**Figura 1**), limitando con los municipios de San Antero y San Bernardo del Viento al norte, al sur con los municipios de Cotorra y San Pelayo, al occidente con el municipio de Moñitos y al oriente con los municipios de Purísima, Momil y Chimá. El clima en general del municipio es semiseco, con una humedad relativa de más del 80%, las precipitaciones medias multianual comprenden cantidades de más o menos 1350 mm y la temperatura promedio ambiente en la zona es aproximadamente 27.6° C (Salazar-Mejía, 2011). El municipio de Santa Cruz de Lorica cuenta con una población total de 98,491 personas censadas en el Censo Nacional de Población y Vivienda llevado a cabo por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el año 2018. Del anterior total, la población se distribuye entre cabecera municipal (49,577) y zonas rurales (48,914) (DANE, 2019).

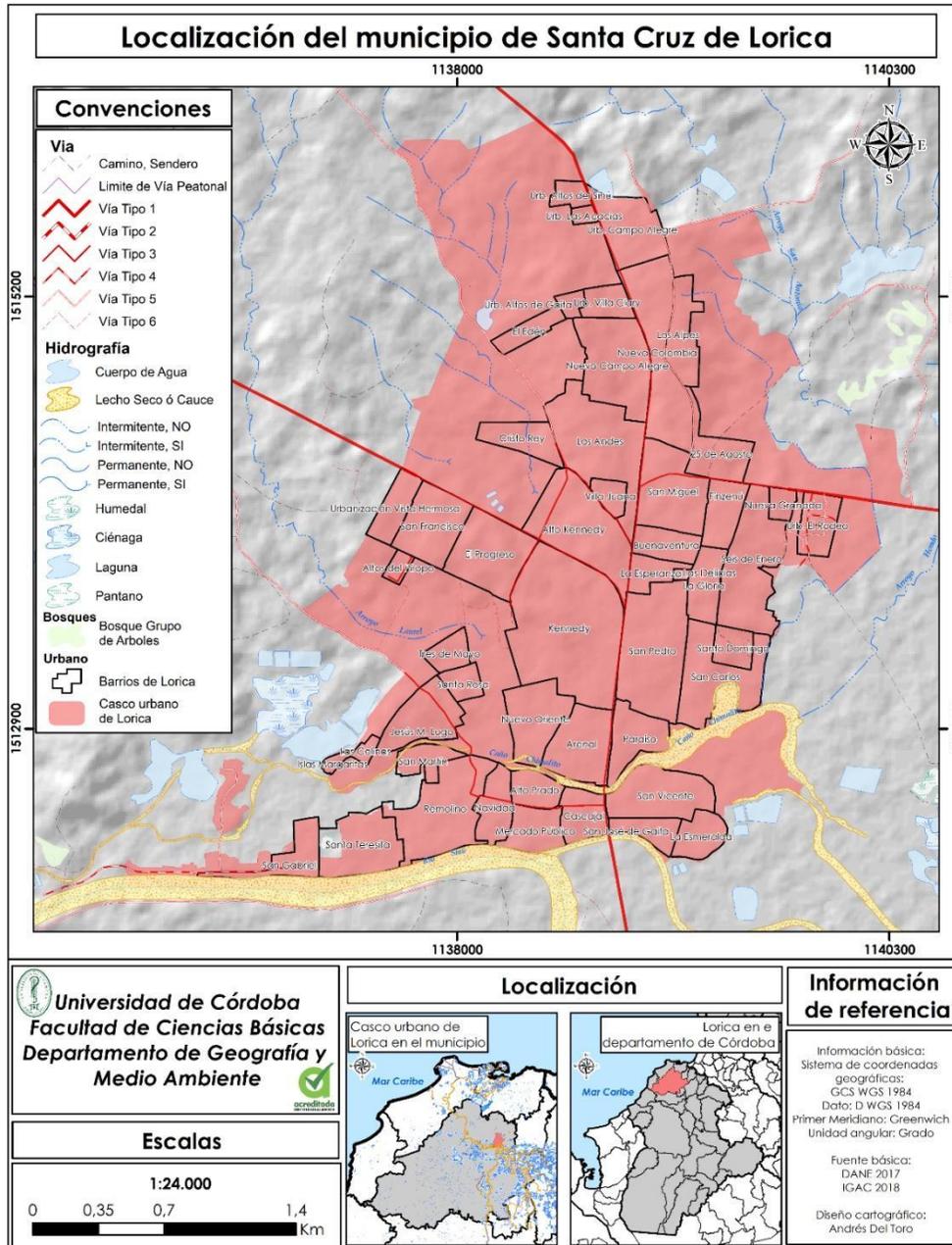


Figura 1. Mapa de localización del casco urbano de Santa Cruz de Lórica. Fuente: Elaboración propia con datos del DANE 2017 e IGAC, 2019. Nota: la figura muestra la localización del Casco urbano en el municipio de Santa Cruz de Lórica y en el departamento de Córdoba.

Para el desarrollo de esta investigación, se efectuó una revisión y selección de fuentes secundarias, considerando a la vez un enfoque inductivo de aspectos cualitativos y cuantitativos (Abreu, 2014). Con los que se pudo comprender los factores físicos que influyen

en el comportamiento de la variable, la extensión que el fenómeno de las islas de calor urbano abarca en la zona de estudio y la evolución ha tenido a lo largo del tiempo.

Los resultados fueron obtenidos a partir de imágenes satelitales ASTER de Terra Nivel 1 de precisión del terreno corregido y radiancia registrada en el sensor, corregidas geométrica y topográficamente, del portal de United States Geological Survey (USGS - Earth Explorer) correspondientes a los años 2001, 2007 y 2021 del casco urbano de Santa Cruz de Lorica (**Tabla 1**). Dichas imágenes corresponden a los meses entre diciembre y marzo, debido a que están registrados como los meses en los que se desarrolla la temporada seca en Colombia (IDEAM, 2012).

Tabla 1.

Identificación y fecha de adquisición de las imágenes ASTER

Nombre de las imágenes	Fecha de adquisición
AST_L1T_00302042001155314_20150414171527_17577	4/02/2001
AST_L1T_00301132007153503_20150517202307_20875	13/01/2007
AST_L1T_00303242021153346_20220320134807_15560	24/03/2021

Fuente: Elaboración propia con datos USGS. Nota: la tabla muestra el nombre de las imágenes satelitales ASTER utilizadas y su fecha de adquisición sobre el área de estudio.

Posteriormente, las imágenes fueron preprocesadas en el software de licencia libre QGIS, a través del módulo de SCP para convertir la información de la radiancia calibrada en las bandas termales (para este caso se implementó la banda 11 de 90 m de resolución espacial) de cada imagen a información térmica, teniendo así la capacidad de realizar la conversión de Niveles Digitales (DN) a Temperatura de Brillo (TB) en el satélite y a la vez realizar un cálculo de estos mismos, por medio de la fórmula que propone Congedo (2021):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \left[\left(\frac{K_1}{L_\lambda} \right) + 1 \right]}$$

Donde:

K_1 = Constante de conversión térmica específica de la banda (en vatios/metro cuadrado * ster * μm).

K_2 = Constante de conversión térmica específica de la banda (en kelvin).

L_λ es la radiación espectral en la apertura del sensor, medida en vatios/ (metro cuadrado * ster * μm).

Para ASTER, K_1 y K_2 , las constantes de los sensores Landsat se proporcionan en la **Tabla 2**.

Tabla 2.

Constantes de conversión térmica para ASTER

Constante	Banda 10	Banda 11	Banda 12	Banda 13	Banda 14
K_1	3.024*1033. 024*103	2.460*1032.460 *103	1.909*1031.909 *103	8.900*1028.900 *102	6.464*1026.464 *102
K_2	1.733*1031. 733*103	1.663*1031.663 *103	1.581*1031.581 *103	1.357*1031.357 *103	1.273*103

Fuente: elaboración propia con datos de Congedo (2021). Nota: se muestran las constantes de conversión térmica para las bandas termales de ASTER.

En simultáneo, la temperatura superficial terrestre se estima por medio de la temperatura de brillo en el satélite, como lo propone Weng et al. (2004):

$$T = \frac{T_B}{\left[1 + \left(\lambda * \frac{T_B}{c_2}\right) * \ln(e)\right]}$$

Donde:

λ = longitud de onda de la radiación emitida.

$c_2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2} \text{ mK}$

h = constante de Planck = $6.626 * 10^{-34} \text{ Js}$

s = Constante de Boltzmann = $1.38 * 10^{-23} \text{ J/K}$

c = velocidad de la luz = $2.998 * 10^8 \text{ EM}$

Finalmente, a través del software ArcMAP (ArcGIS 10.8) se hizo la reclasificación Raster, para convertir la información a formato shapefile en geometría polígono y poder así calcular las áreas en hectáreas (ha) de los distintos rangos de temperatura estudiadas, que fueron clasificadas a través del método de valores únicos con muchos campos. El esquema metodológico seguido en esta investigación se muestra en la **Figura 2**.

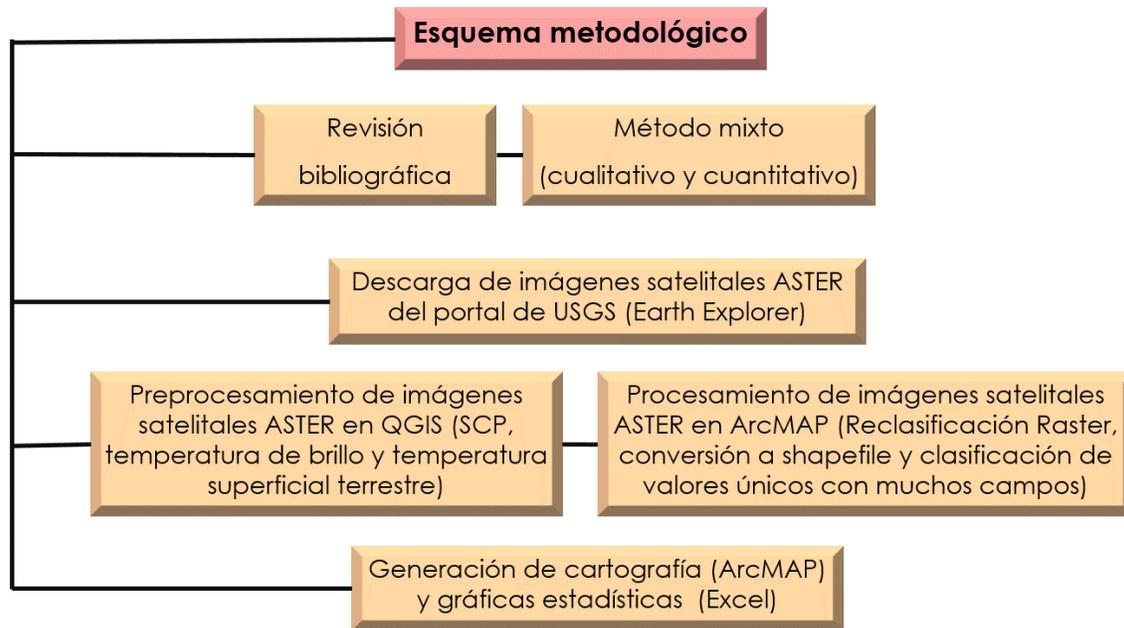


Figura 2. Esquema metodológico. Fuente: elaboración propia.

Resultados

Variación de la temperatura superficial terrestre

En esta investigación se obtuvieron resultados de la variabilidad térmica en la temperatura superficial terrestre en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica entre los años de 2001, 2007 y 2021 para los meses de febrero, enero y marzo, respectivamente.

Tal como se puede apreciar en la **Figura 3**, en el año 2021, la mayoría de las áreas dentro de la zona de estudio presentaron temperaturas que oscilan entre 27.5° C y 35.5° C. Estas áreas son principalmente ocupadas por edificios y calles urbanas, que están construidas con materiales que tienen una alta capacidad de absorción de la radiación solar. Sin embargo,

existen algunas zonas en el nororiente y sur (extremos oriental y occidental) que registran temperaturas en el rango de 16.41° C a 27.49° C. Estas zonas están ligeramente cercanas a cuerpos de agua como el río Sinú y algunos estanques, pozos o lagunas de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú.

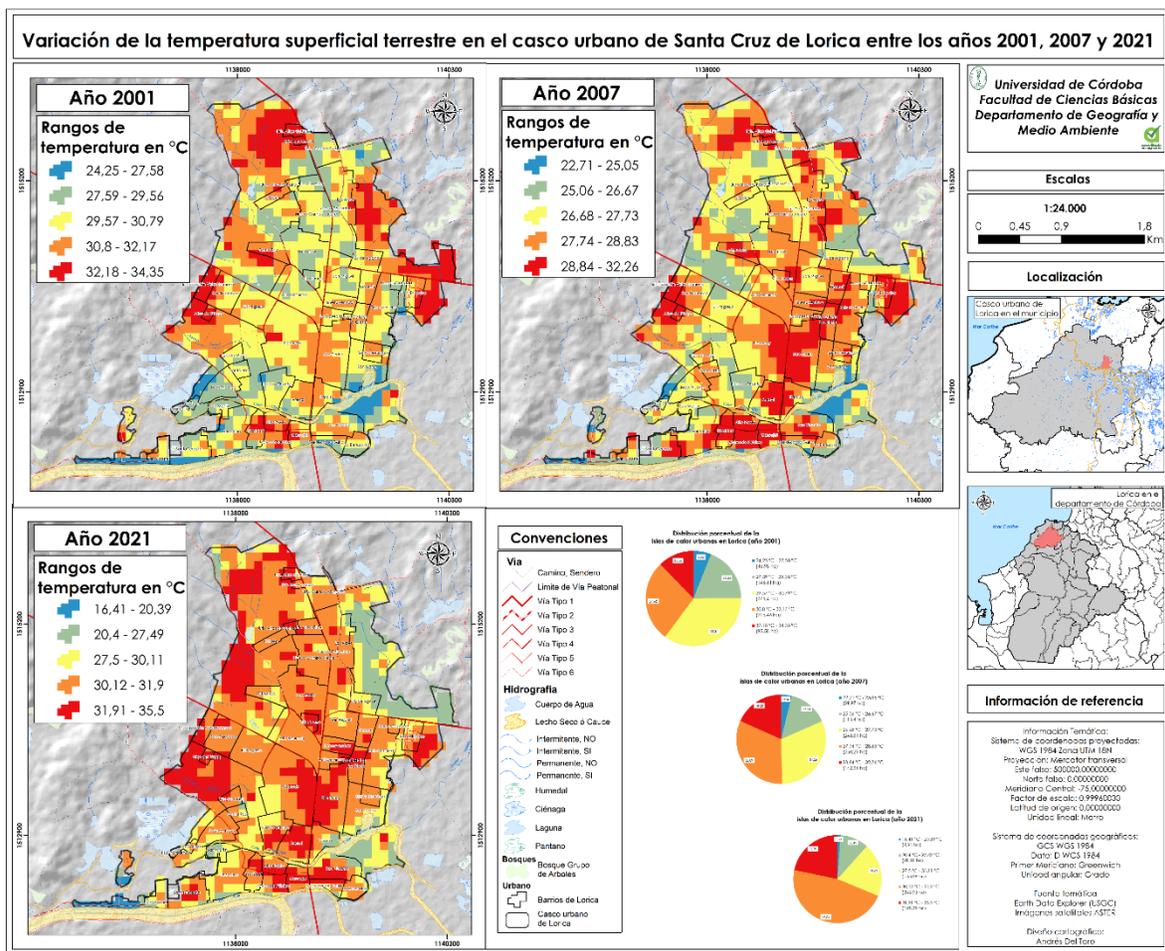


Figura 3. Mapa de la variación de la temperatura superficial terrestre en el casco urbano de Santa Cruz de Lorica entre los años 2001, 2007 y 2021, junto con las gráficas de tortas que indican los cambios en la ocupación de las áreas por cada rango de temperatura. Fuente: elaboración propia con datos derivados de los preprocesamientos y procesamientos de las imágenes satelitales ASTER.

En comparación con años anteriores, para el año 2007 se registraron temperaturas significativamente altas que oscilaron entre 26.68° C y 32.26° C en las áreas del suroriente y sur de la ciudad. Por su parte, en el año 2001 la concentración de los valores más altos fue



menor a la del año 2007, aunque con rangos de temperatura más altos en ese mismo año, pero más bajos en relación el año 2021, donde se obtuvieron temperaturas que oscilaron entre 29.57° C y 34.35° C sobre los extremos oriental, occidental y norte de la ciudad.

La disminución de la temperatura superficial terrestre entre 2001 y 2007 puede deberse a que la variable es muy sensible a los cambios del ambiente, dado que se trata del grado de calor de las cubiertas en el casco urbano de Santa Cruz de Lorica, de modo que para esa fecha (año 2007), durante la recolección de datos se presentaron fuertes vientos, precipitaciones o alta nubosidad, situación que pudo influir en la disminución de la temperatura.

Por otro lado, se destaca que los rangos de temperaturas representados en los colores amarillo y naranja fueron los que más ocuparon superficie en hectáreas a lo largo del periodo de tiempo estudiado, abarcando proporciones porcentuales del área total del municipio de 35.31% y 27.62% en el años 2001, para el año 2007 fueron del 31.26% y 32.09%, mientras que para los años 2021 las proporciones fueron del 19.63% y del 47.04%, lo anterior respectivamente a los rangos de temperaturas entre los colores amarillo y naranja. Para el caso de las temperaturas más altas y que conforman las islas de calor urbana en la ciudad, su porcentaje de ocupación en la superficie corresponde al 12.25% para el año 2001 y del 21.70% para el 2021, esto corresponde a un total de 199.29 hectáreas (**Figura 3**).

Ahora bien, de las anteriores observaciones se deriva el análisis multitemporal de las islas de calor urbana en la zona de estudio entre los años de 2001, 2007 y 2021 (**Figura 4**).

Es claro apreciar que se mantiene un patrón de concentración de las islas de calor urbana en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica entre los años de 2001, 2007 y 2021 hacia la zona sur, occidental y norte, representando el color rojo los rangos de temperatura que demarcan las islas de calor urbana en el año 2021 y que en comparación con los otros años, pasaron a ocupar el 41.55% de la zona urbana.

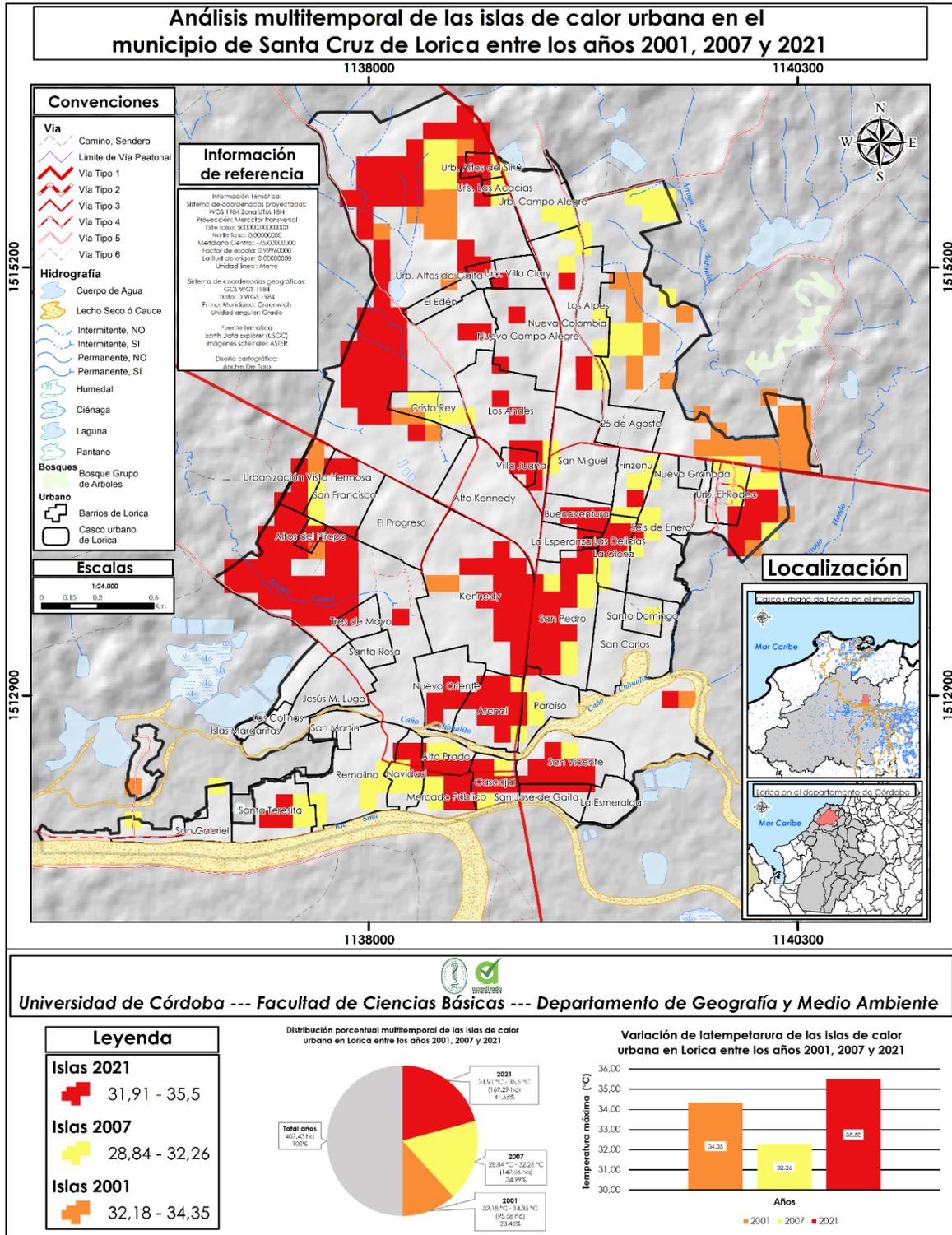


Figura 4. Análisis multitemporal de las islas de calor urbana en el casco urbano de Santa Cruz de Lorica entre los años 2001, 2007 y 2021, junto con la gráfica de ocupación del área



del municipio para cada rango de temperatura. Fuente: elaboración propia con datos derivados de los preprocesamientos y procesamientos de las imágenes satelitales ASTER.

Conclusiones

Partiendo del anterior análisis de resultados, se considera que el fenómeno de las islas de calor urbana en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica ha tendido a incrementar tanto en superficie como en grado de calor, debido principalmente a que los materiales de construcción de las edificaciones y calles son grandes acaparadores de la energía solar. Las islas de calor urbana en la ciudad, para el año 2021, presentan un porcentaje de ocupación en la superficie de 199.29 hectáreas.

En virtud del análisis multitemporal se mantiene la concentración de las islas de calor urbana en el casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica en los años 2001, 2007 y 2021 hacia la zona sur, occidental y norte. Esto indica que el entorno urbano al poseer edificaciones y el concreto tienen la capacidad de retener la radiación solar y aumentar la temperatura del aire, lo cual se aumenta si sumamos el calor emitido por el tráfico vehicular, aires acondicionados y la escasa vegetación en la ciudad.

Teniendo en cuenta el patrón climático actual a nivel mundial, se espera que las temperaturas y las islas de calor urbanas sigan en constante aumento, lo cual afectará de forma negativa la calidad de vida de los habitantes en todo el mundo.

Referencias

- Abreu, J. L. (2014). El Método de la Investigación. *International Journal of Good Conscience*, 9(3), 195-204. <http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9%283%29195-204.pdf>
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). (2019). Censo Nacional de Población y Vivienda (p. 1). Gobierno de Colombia. <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/fichas/23417.pdf>
- Dutta, D., Rahman, A., Paul, S. K., & Kundu, A. (2019). Changing pattern of urban landscape and its effect on land surface temperature in and around Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 551. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7645-3>
- Guo, L., Di, L., Zhang, C., Lin, L., Chen, F., & Molla, A. (2022). Evaluating contributions of urbanization and global climate change to urban land surface temperature change: A case study in Lagos, Nigeria. *Scientific Reports*, 12, 14168. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18193-w>
- He, Q., & Silliman, B. R. (2019). Climate Change, Human Impacts, and Coastal Ecosystems in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R1021-R1035. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.042>
- Hong, J.-W., Hong, J., Kwon, E. E., & Yoon, D. K. (2019). Temporal dynamics of urban heat island correlated with the socio-economic development over the past half-century in Seoul, Korea. *Environmental Pollution*, 254, 112934. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.102>
- Huang, Q., & Lu, Y. (2015a). The Effect of Urban Heat Island on Climate Warming in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration in China. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health, 12(8), 8773-8789. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808773>

Huang, Q., & Lu, Y. (2015b). The Effect of Urban Heat Island on Climate Warming in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 8773-8789. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808773>

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2012). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos (p. 10). IDEAM. <https://n9.cl/xdz9>

Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>

Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M. M. B., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (Eds.). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Citation.pdf

Ren, Y., Laforteza, R., Giannico, V., Sanesi, G., Zhang, X., & Xu, C. (2023). The unrelenting global expansion of the urban heat island over the last century. *Science of The Total Environment*, 880, 163276. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163276>

Rising, J., Tedesco, M., Piontek, F., & Stainforth, D. A. (2022). The missing risks of climate change. *Nature*, 610, 643-651. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05243-6>

Salazar-Mejía, I. (2011). La economía de la ciénaga Grande del Bajo Sinú: Lugar encantado de las aguas (P.p. 96-134). En: Aguilera-Díaz, M. (Ed.). *La economía de las ciénagas*



del Caribe colombiano. Colección de Economía Regional. Bogotá, Colombia: Banco de la República. <https://doi.org/10.32468/Ebook.664-245-3>

Shahfahad, Kumari, B., Tayyab, M., Ahmed, I. A., Baig, M. R. I., Khan, M. F., & Rahman, A. (2020). Longitudinal study of land surface temperature (LST) using mono-and split-window algorithms and its relationship with NDVI and NDBI over selected metro cities of India. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19), 1040. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06068-1>

Swamy, G., Nagendra, S. M. S., & Schlink, U. (2017). Urban heat island (UHI) influence on secondary pollutant formation in a tropical humid environment. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 67(10), 1080-1091. <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1325417>

Ulpiani, G. (2021). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. *The Science of the Total Environment*, 751, 141727. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141727>

Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>

Yang, C., Wang, R., Zhang, S., Ji, C., & Fu, X. (2019). Characterizing the Hourly Variation of Urban Heat Islands in a Snowy Climate City during Summer. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(14), 2467. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142467>

Zhou, X., & Chen, H. (2018). Impact of urbanization-related land use land cover changes and urban morphology changes on the urban heat island phenomenon. *Science of The Total Environment*, 635, 1467-1476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.091>