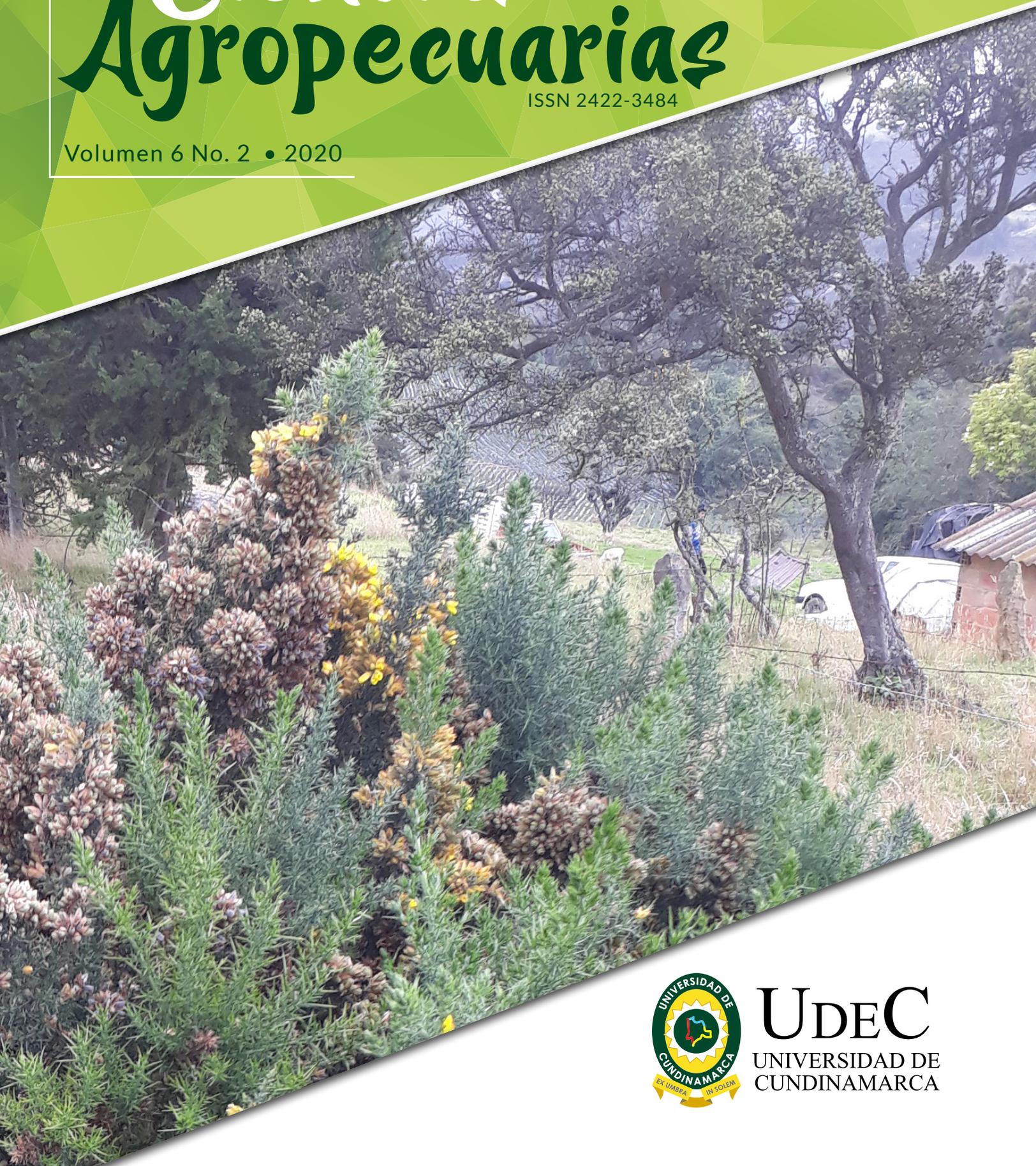


Revista

# Ciencias Agropecuarias

ISSN 2422-3484

Volumen 6 No. 2 • 2020



**UDEC**  
UNIVERSIDAD DE  
CUNDINAMARCA

Revista  
**Ciencias Agropecuarias**  
ISSN 2422-3484

Volumen 6 No. 2 • 2020

Adriano Muñoz Barrera  
**Rector**

María Eulalia Buenahora Ochoa  
**Vicerrectora Académica**

Vilma Moreno Melo  
**Decana**  
**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

Prof. Nelson Enrique Arenas Suárez,  
**Editor Revista de Ciencias Agropecuarias**

Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Sede Fusagasugá

© Universidad de Cundinamarca, 2020



**UDEC**  
UNIVERSIDAD DE  
CUNDINAMARCA

## COMITÉ EDITORIAL

Prof. Juan Camilo Álvarez Mahecha,  
Universidad de Cundinamarca, Colombia

Prof. Edwin Davier Correa Rojas,  
Universidad de Cundinamarca

Prof. Laura Inés Cuervo Soto,  
Universidad Antonio Nariño, Colombia

Prof. Sandra Milena Coronado,  
Universidad de Cartagena, Colombia

Dr. Juan Carlos Osma Rozo,  
Universidad Autónoma de Bucaramanga -  
Fundación Universitaria Monserrate,  
Colombia

Dra. Edna Rocío Cabrera Martínez,  
Universidad del Cauca, Colombia

Prof. César Augusto Prías Márquez,  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
(UNAD), Colombia

Prof. Julie Rosseli Suárez Vera,  
Corporación Universitaria Minuto  
de Dios CRS, Colombia

Prof. Diego Zanetti,  
IFSULDEMINAS - Federal Institute of  
Education, Science and Technology  
of the South of Minas Gerais, Brasil

Prof. Ayixon Sánchez Reyes,  
Instituto de Biotecnología, UNAM, México

Prof. Ramón Alberto Batista García,  
Universidad Autónoma del Estado  
de Morelos, México

Prof. María del Rayo Sánchez Carbente,  
Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Dr. Amador Goodridge,  
Instituto de Investigaciones Científicas y  
Servicios de Alta Tecnología INDICASAT-AIP,  
Panamá

Prof. Víctor Hugo Herrera Franco,  
Universidad Nacional de Colombia, sede  
Medellín

Prof. Benjamin Dias Osorio Filho,  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul,  
Brasil

Dra. Daiane Moreira Silva,  
IFSULDEMINAS - Campus Machado, Brasil

Prof. José Camilo Torres Romero,  
UNAD

Dr. Víctor Manuel Acero Plazas,  
Asociación Nacional de Médicos Veterinarios  
de Colombia (AMEVEC)



**Editorial**  
UCundinamarca



**UDEC**  
UNIVERSIDAD DE  
CUNDINAMARCA

## EDITORIAL

**Dirección editorial:** Jaime Augusto Porras Jiménez

**Editor:** Rosenberg López del Carpio Juarez

**Corrección de estilo:** Yesid Castiblanco Barreto

**Diseño editorial:** Zulma Milena Useche Vargas

**Registro digital:** Ana Milena Bejarano Torres

**Fotografía Portada:** Avance del retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en los páramos de Colombia. Fotografía del profesor Édier Fernando Ávila Vélez, Tecnología en Cartografía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá (Colombia)

## DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Universidad de Cundinamarca  
www.ucundinamarca.edu.co  
editorial@ucundinamarca.edu.co  
Diagonal 18 No. 20 - 29  
Fusagasugá - Cundinamarca

## Contenido

### Editorial

Retos y realidades para “Una Salud” .....	5
-------------------------------------------	---

### Artículos originales

Factores bióticos y abióticos que inciden en la calidad de suelo para el desarrollo de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth en cuatro zonas de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca (Colombia).....	9
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Presencia de <i>Escherichia coli</i> con resistencia extendida a los antibióticos en paloma doméstica ( <i>Columba livia</i> ) en una localidad de Bogotá, Colombia.....	21
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Aplicación de la metodología MESMIS para la evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción campesina en Sumapaz, Cundinamarca.....	31
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### Artículos de revisión

Efecto y mitigación de la toxicidad por arsénico y cadmio en cultivo de arroz .....	49
-------------------------------------------------------------------------------------	----

### **Artículos de reflexión**

Efectos del glifosato en la expresión de algunos genes y sus implicaciones en la salud humana .....	71
Interacción social universitaria y extensión agropecuaria: complemento para el desarrollo rural y la formación del zootecnista .....	83

### **Memorias de eventos académicos**

Semana Ingeambiental “En la ruta de un futuro sustentable” .....	91
Primer Congreso Internacional Lácteo y Segundo Congreso Departamental Lácteo “Desarrollo sostenible y modernización del sector lácteo” .....	103
II Congreso Nacional y I Congreso Internacional en Ciencias Ambientales .....	119

## Retos y realidades para “Una Salud”

Marco Tulio Cueva López<sup>1\*</sup>



<sup>1</sup> Médico veterinario, maestro en Ciencias de la Salud Pública. Director académico de la Escuela de Salud Pública Veterinaria, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Galileo de Guatemala, Chiquimula (Guatemala).

\* Autor de correspondencia:  
marcotuliocueva@galileo.edu.gt

El mundo actual, y posterior a la pandemia por COVID-19, nunca será igual. Ninguna enfermedad infectocontagiosa jamás había paralizado por más de ocho largos meses las actividades sociales, económicas, religiosas, financieras, comerciales y turísticas, ni los servicios de transporte aéreo, terrestre y marítimo, entre otros.

El confinamiento, el distanciamiento físico y social, las restricciones sanitarias y las cuarentenas son y serán la nueva normalidad, además de que ninguna enfermedad ha sido “tan estudiada” en tan corto tiempo, lo que implica una incidencia geopolítica y geoestratégica. El mundo se detuvo.

Pero aun en medio de la crisis y la emergencia sanitaria, cuatro actividades económicas, productivas y sociales de alta importancia estratégica, nunca se detuvieron:

1. La producción agropecuaria, es decir, la producción de alimentos naturales de origen animal (leche, carne, huevos, miel), la producción de hortalizas y vegetales en general (hojas, flores, frutos raíces y tubérculos) y la producción hidrobiológica de la acuicultura y la hidroponía.
2. Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) alcanzaron su máxima expresión, al convertirse las plataformas digitales de comunicación en el medio para acercar a las personas, las familias y la educación formal e informal en todos los niveles, desde la preprimaria hasta los posgrados superiores. Asimismo, para acercar los negocios, empleos, autoempleos, el teletrabajo necesario para la recuperación, el restablecimiento y la reconversión de las actividades económicas locales, territoriales, nacionales e internacionales.
3. Los servicios indispensables para el funcionamiento estratégico de los gobiernos corporativos privados y públicos, municipales, departamentales, nacionales y federales en los cuales aplican, que incluyen fuerzas de seguridad como ejército y policía, puertos, aeropuertos, importaciones y exportaciones.
4. Los servicios de salud para la atención primaria, la recuperación y la rehabilitación de la salud, públicos y privados, de seguridad social, cuerpos de bomberos, cruz roja, sanatorios y hospitales, que fueron rebasados en su capacidad, debido al agotamiento, cansancio o la falta de personal calificado, lo cual obligó incluso a los gobiernos y las autoridades de las escuelas y facultades de medicina y enfermería, a acreditar títulos de manera acelerada para su inserción en los servicios.

Importante señalar que, en todos los países, los “servicios veterinarios” fueron incluidos como servicios esenciales, lo cual es un antecedente y una condición favorable para impulsar su inserción en “Una Salud” como un bien público.

En la Cumbre para el Desarrollo Sostenible, realizada en septiembre de 2015, los Estados Miembros de la ONU aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye un conjunto de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para poner fin a la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático<sup>(1)</sup>.

En estas condiciones, se hace necesario replantear para los sectores agrícola, pecuario, forestal e hidrobiológico en toda Latinoamérica, la adaptación y reconversión de sus capacidades y competencias del recurso humano, mediante la formación de competencias operativas, técnicas y profesionales con técnicas andragógicas, innovación y responsabilidades compartidas en el proceso de enseñanza-aprendizaje con escuelas abiertas, asincrónicas y grupos focales, que incluyen las escuelas y facultades de ciencias agrícolas, pecuarias y veterinarias, hacia la gestión del conocimiento y la sociedad de la información, en este mundo ahora globalizado y “glocalizado”<sup>(2)</sup>.

Todo lo anterior basado en el concepto “Una Salud” que enfatiza la inevitable interacción entre la salud animal y humana en el entorno ambiental que cambia rápidamente y alienta la interacción sinérgica de varias disciplinas y profesiones a trabajar juntas para resolver los problemas de salud emergentes, relacionados con las poblaciones animales y humanas en todo el mundo<sup>(3)</sup>.

Por último, me permito, de manera responsable desde Guatemala para el Latinoamérica y el

mundo, sugerir la cooperación con respeto y tolerancia a las diferencias entre los pueblos:

1. Desde esta ventana abierta, técnica y científica, la Revista Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca, contribuimos de manera colaborativa con ofertas y propuestas tecnológicas e innovaciones, fruto de la investigación y la competitividad escalonada en un marco de producción amigable con el medioambiente, de forma responsable, sostenible y sustentable.
2. Hacer incidencia local, nacional, regional y hemisférica para impulsar políticas públicas, nacionales e internacionales, que reconozcan la importancia de la investigación en salud;

fortalecer el nuevo paradigma mundial de "Una Salud" y unir esfuerzos teóricos y la práctica en equipos multidisciplinarios, transdisciplinarios e intersectoriales —con la participación de ambientalistas, biólogos, químicos, farmacéuticos, pedagogos, ingenieros, médicos y médicos veterinarios— con otras profesiones afines, para romper los moldes de la salud pública tradicional.

La sinergia lograda entre las diversas disciplinas puede llegar a mejorar la eficacia de la salud pública, así como la educación médica y la atención sanitaria. La implementación adecuada de este método educativo que se propone ayudará a proteger y salvar millones de vidas en las presentes y futuras generaciones.

## Referencias

1. Rubin C, Myers T, Stokes W, Dunham B, Harris S, Lautner B, Anelli J. Review of Institute of Medicine and National Research Council recommendations for one health initiative. *Emerg Infect Dis.* 2013;19(12):1913-1917. <https://doi.org/10.3201/eid1912.121659>
2. Robertson, R. Globalisation or glocalisation? *J Int Commun.* 1994;1(1):33-52. <https://doi.org/10.1080/13216597.1994.9751780>
3. Organización Mundial de la Salud, OMS. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Cumbre Mundial del 25 al 27 de septiembre de 2015, sede de las Naciones Unidas, Nueva York (Estados Unidos).



# Factores bióticos y abióticos que inciden en la calidad de suelo para el desarrollo de *Guadua angustifolia Kunth* en cuatro zonas de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca (Colombia)

Karol Lizarazo-Hernández<sup>1\*</sup> 

Juan Camilo Álvarez-Mahecha<sup>1</sup> 

Marco Eduardo Pachón-Suárez<sup>2</sup> 

Cómo citar este artículo: Lizarazo-Hernández K, Álvarez-Mahecha JC, Pachón-Suárez ME. Factores bióticos y abióticos que inciden en la calidad de suelo para el desarrollo de *Guadua angustifolia Kunth* en cuatro zonas de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca (Colombia). Revista Ciencias Agropecuarias. 2020;6(2), p 9-18. DOI: xxx-xxx

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Agrobiología Tropical (ABT), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia).

<sup>2</sup> Grupo de Investigación BioGuavio-AgroUdeC, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia).

\*Autor de correspondencia:  
klizarazo@ucundinamarca.edu.co

## Resumen

En cuatro puntos de las provincias de Gualivá y Bajo Magdalena del departamento de Cundinamarca, Colombia, se analizaron los principales componentes fisicoquímicos y microbiológicos de los suelos asociados a rodales de guadua (*Guadua angustifolia Kunth*). Los resultados obtenidos mostraron diferencias entre los suelos evaluados y su efecto en las medidas de diámetro a pecho en los tallos maduros. A pesar de la variabilidad altitudinal y biogeográfica, se evidenció que los guaduales poseen un rango amplio de crecimiento que va desde suelos franco-arenosos hasta suelos con mayor contenido de arcillas. El sitio de muestreo que presentó culmos con un mejor comportamiento vegetal, se evidenció en la vereda La Carbonera en el municipio de Guaduas, debido tal vez a su asociación con las prácticas de fertilización efectuadas en los cultivos de importancia

**Palabras clave:** análisis físico-químico, culmo, DAP, rodal, textura.

**Keywords:** Culms, DAP, Guadua forests, Physicochemical analysis, Texture.

agronómica de la zona. Este estudio contribuye a la comprensión de las características edáficas requeridas por la especie para futuros programas de propagación en campo, conservación de recursos naturales, sistemas de cultivos asociados y autoconsumo dentro de la unidad productiva.

## Abstract

Four points of the Gualivá and Bajo Magdalena provinces were analyzed in terms of the main soil physicochemical and microbiological components in guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) forests. The obtained results showed differences among analyzed soils and their effect on DAP (diameter to the chest) measurement on mature stems. Despite of the altitudinal and biogeographical variability, this study evidenced that Guadua forests have a wide growth range from Sandy loam to clayey soils. The sampling site that showed guadua culms with a better vegetative behavior was "La Carbonera" in the Guaduas municipality, due perhaps to the association with fertilization practices conducted in sites with local agronomic relevance crops. This study contributes with the understanding of the edaphological aspects surrounding this plant species needed to future field propagation programs, natural resources maintenance, associated crops systems design and self-consumption inside rural developmental processes.

## Introducción

En la actualidad, los recursos naturales se contemplan como elementos de gran valor que cubren la demanda alimentaria, económica y turística de varias regiones alrededor del mundo, lo cual beneficia al ser humano tanto a escala individual como colectiva<sup>(1)</sup>. En este sentido, las regiones del Gualivá y Bajo Magdalena, en el departamento de Cundinamarca, se caracterizan por su actividad agrícola, la cual tiene una representación del 30 % en cuanto a ingresos económicos se refiere. El beneficio generado de estas prácticas deriva de la diversidad climática propia de la región, que ha servido durante

mucho tiempo como base para el desarrollo de una gran diversidad vegetal puesta en riesgo año tras año, debido tanto al manejo inadecuado de los recursos, así como a las alteraciones dadas por el cambio climático<sup>(2)</sup>.

Una de las especies vegetales que se plantean como promisorias para muchos procesos locales es la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). Sus múltiples ventajas en lo medioambiental, industrial y agrícola se reflejan en un número importante de productos derivados previamente descritos<sup>(3)</sup>. La generación de programas de propagación de esta especie plantea como punto clave el estudio de las características ambientales que la rodean, a fin de conocer el área de distribución

permitida para su propagación, producción y posterior aprovechamiento. A pesar de la extensa distribución que posee la guadua en el territorio colombiano, se hace necesario adelantar estudios relacionados con los factores que determinan las condiciones del sitio en donde se desarrolla, lo que agronómicamente se denomina calidad de sitio<sup>(4,5)</sup>.

Debido a la complejidad estructural de la matriz suelo, los análisis fisicoquímicos van encaminados a establecer una correlación coherente de estos con la diversidad microbiana presente. Del monitoreo y la exploración de la diversidad edáfica se podrían establecer modelos de predicción de cambio en la calidad del suelo, ya que la composición biológica influye directamente con las diversas funciones, en el sentido que una variación de esta puede desencadenar cambios críticos tanto en la distribución de nutrientes como en las propiedades físicas de los suelos asociados<sup>(6)</sup>.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación consistió en determinar los principales factores fisicoquímicos y microbiológicos presentes en los suelos asociados a rodales de guadua, en zonas rurales de la región de Gualivá y Bajo Magdalena en el departamento de Cundinamarca.

## Materiales y métodos

### Zona de estudio y muestreo de rodales

Con el objetivo de determinar la calidad de sitio de los suelos donde se desarrolla *G. Angustifolia*, se analizaron rodales (agrupación de tallos de guadua) en cuatro puntos con distintas características biogeográficas de las provincias de Gualivá (Quebradanegra) y Bajo Magdalena (Guaduas y Caparrapí) en Cundinamarca.

*Bosque premontano*: vereda Verbenal (1244 m s. n. m., temperatura media de 22 °C y 71 % HR) en el municipio de Quebradanegra QN01 (5°04'11.2N 74°30'08.8W), el cual se caracterizó por estar aislado de cualquier cultivo y cerca de un cuerpo de agua. Vereda La Carbonera GSP01 (5°08'17.84N, -74°56'77.61W) perteneciente al municipio de Guaduas (1200 m s. n. m. con una temperatura media de 22 °C y 86 % HR), asociado a cultivos de café, caña de azúcar, plátano y cítricos. *Bosque húmedo tropical*: inspección de El Dindal CDINDAL01 (5°19'12.9N 74°31'47.3W), el gradual presente en este lugar se encontró ubicado a orillas del río Negro (350 m s. n. m., temperatura media de 30 °C) y aislado de cualquier tipo de cultivo. *Bosque húmedo montano bajo*: vereda Novilleros del municipio de Caparrapí (1300 m s. n. m., temperatura media 18 °C), con predominio de cultivos de café, se nombró como CPN01 (5°17'50.0N 74°31'15.0W) (Figura 1).

### Toma y análisis de muestras de suelo

En cada sitio de estudio se efectuaron muestreos de tipo zigzag, en donde se tomaron cinco submuestras de suelo y se homogenizaron completamente hasta obtener dos muestras representativas, las cuales fueron analizadas por el laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac), de Bogotá, para los siguientes parámetros:

*Análisis fisicoquímicos*. Se determinó la textura, pH, % carbono orgánico (CO), elementos mayores y menores (mg/kg), capacidad de intercambio catiónico (CIC).

*Análisis microbiológico*. Se estimó la carga microbiana en función de la población de micorrizas (#/g) y bacterias del ciclo del nitrógeno (oxidantes de nitrilo BON, oxidantes de amonio BOA, amonificantes AMO, denitrificantes DEN



**Figura 1.** Sitios de muestreo en guaduales seleccionados de la región del Gualivá y alto magdalena. A) Vereda el Verbenal (municipio de Quebrada Negra) QN01, B) vereda la carbonera (municipio de Guaduas) GSP01 C) vereda el Dindal (municipio de Guaduas) CDINDAL01, D) Vereda novilleros del municipio de Caparrapí CPN01

y respiración ( $\text{mg}/\text{CO}_2/\text{gr}/48 \text{ h}$ ) mediante la técnica de recuento del NMP (número más probable).

### Medición de material vegetal

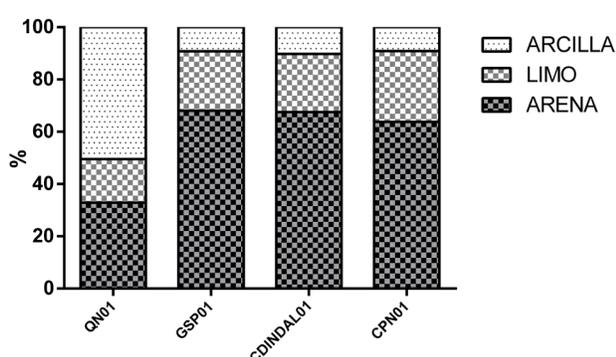
El método para poder determinar en campo la época de cosecha y los parámetros básicos de los culmos para la comercialización, y así obtener materiales más resistentes para la construcción, consistió en la medición de los tallos aéreos en la altura del diámetro a pecho - DAP (a una altura de superficie del suelo de 1.50 m, aproximadamente). Estos datos se tomaron en diez tallos vegetativos maduros. El comportamiento entre las medias del DAP del culmo se analizó mediante una prueba ANOVA con un nivel de significancia  $P \leq 0.05$ , para detectar diferencias estadísticamente significativas. Se utilizó el programa estadístico PAST 4 v4.02-2020.

## Resultados

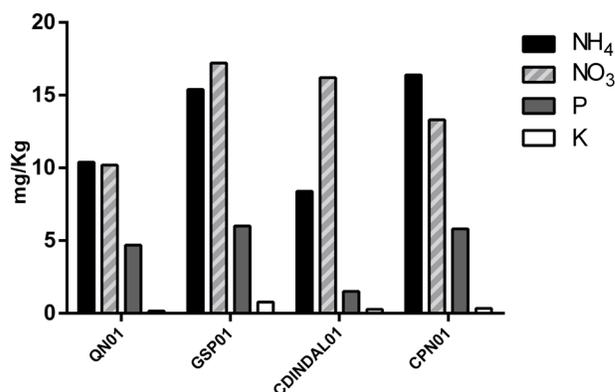
### Análisis fisicoquímico de la calidad de sitio

La Figura 2 muestra la comparación de los datos arrojados en los diferentes municipios, lo que evidencia el cambio en los porcentajes de textura, en los cuales se ve el predominio de arenas y limos en comparación con las arcillas. De acuerdo con el análisis de textura, los guaduales presentes en los puntos GSP01, CDINDAL01 y CPN01 se desarrollan en suelos de tipo franco-arenoso donde predomina el porcentaje de arenas, a diferencia del punto QN01 donde se evidenció un suelo de tipo más arcilloso.

En cuanto al pH del suelo en las zonas GSP01 y CPN01, se presentó una tendencia ácida (5.1 fuertemente ácido y 5.9 medianamente ácido,



**Figura 2. Análisis de textura del suelo.** Cambios en la granulometría del suelo en los sitios de muestreo con base a su contenido de arenas, limos y arcillas



**Figura 3. Distribución de elementos mayores en los suelos asociados a *G. angustifolia*.** Reporte de la concentración en mg/Kg de amonio NH<sub>4</sub>, nitrato NO<sub>3</sub>, fósforo P y potasio K en los sitios analizados

respectivamente) en comparación con QN01 y CDINDAL01 que presentaron un suelo de tipo neutro (7.2 neutro y 7.5 ligeramente alcalino, respectivamente).

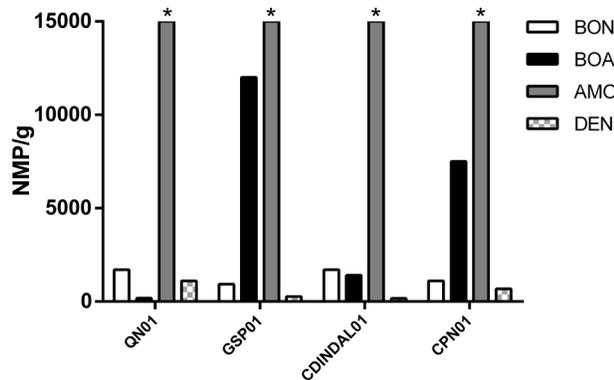
## Análisis de elementos mayores y menores

Los elementos nutricionales son importantes para el normal funcionamiento de los guaduales. En los muestreos realizados se encuentran los elementos mayores (nitrógeno, fósforo y potasio). Como se muestra en la Figura 3, los valores más representativos de NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, P y K fueron encontrados en los suelos de las localidades de Guaduas y Caparrapí. Sin embargo, según los rangos de apreciación para cada elemento reportados por el Igac, los valores de los niveles de fósforo son bajos para todas las localidades (< 15 mg/kg). En cuanto al potasio, El Dindal y Caparrapí se encuentran en el rango medio (0.2-0.4 mg/kg), y sobresale Guaduas con un rango alto (> 0.4 mg/kg).

Para los valores correspondientes a elementos menores, en términos generales los suelos presentaron comportamientos heterogéneos en las diferentes zonas. Los elementos analizados fueron boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y zinc (Zn). Para el Mn y B las cantidades estuvieron por debajo de los contenidos óptimos en ese tipo de suelos Mn (15-30 mg/kg), B (0.6-1.0 mg/kg). En cuanto a elementos como el Fe, se registraron valores por encima del óptimo (20-30 mg/kg) en Quebradanegra, Guaduas y Caparrapí. Para el zinc (Zn), los valores óptimos en el suelo son 3-6 mg/kg; en las localidades de Quebradanegra y El Dindal, los análisis arrojan valores muy por encima del óptimo, contrario a Guaduas y Caparrapí que registran valores por debajo de 3 mg/kg. El cobre (Cu) dentro de su óptimo en el suelo tiene valores de 1.5-3.0 mg/kg, lo cual indica, según los resultados, que todos los puntos de muestreo, a excepción de Quebradanegra, registran valores por debajo del óptimo (Suplementarios: Tablas S1, S2 y S3).

## Análisis microbiológico

La Figura 4 muestra los datos arrojados en referencia a bacterias asociadas al ciclo del nitrógeno en los suelos analizados. Se evidenció un comportamiento similar de BON y DEN a lo largo de los sitios analizados y una presencia alta de bacterias AMO. La diferencia más marcada se encontró en la distribución de BOA, la cual tuvo una representación considerable en GSP01 y CPN 01, y muy baja en QN01 y CDINDAL01.



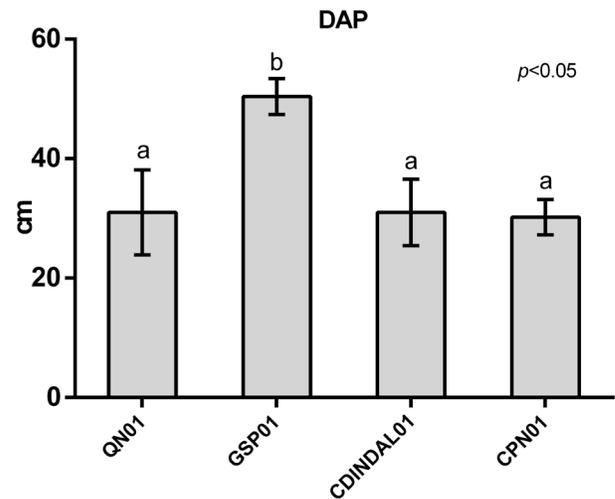
**Figura 4.** Perfil microbiológico de los suelos de guaduales en los sitios analizados en función de bacterias relacionadas con el ciclo del Nitrógeno. Bacterias oxidantes de Nitrito (BON), Bacterias oxidantes de Amonio (BOA), Bacterias Amonificantes (AMO), Bacterias Denitrificantes (DEN). \*Valores alrededor de 180000 NMP/g

## Parámetros morfológicos

En la medición del DAP del culmo, los diámetros con los valores más altos fueron de los rodales del municipio de Guaduas (GSP01), y sobresalen dichos datos con los demás sitios de muestreo con tallos vegetativos de 50.4 cm, como lo muestra la Figura 5. Entre los sitios CPN01, CDINDAL01 y QN01 no se encontraron diferencias significativas.

## Discusión

La guadua es una especie de fácil adaptación en el neotrópico con rangos de distribución en Colombia en departamentos de las regiones



**Figura 5.** Estado morfológico de *G. angustifolia* en los sitios de estudio. Valores de diámetro a pecho (DAP) realizados sobre tallos maduros

Andina y Pacífica y en algunos de los llanos orientales como Casanare. Según lo reportado previamente<sup>(7)</sup>, los guaduales tienden a lograr un mejor desarrollo en lugares con altos contenidos de arena 63.11 %, en comparación con los limos y las arcillas 19.30 % y 17.94 %, respectivamente.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se entiende como aquella propiedad que posee el suelo tanto para retener como para liberar iones del suelo, y se encuentra influenciada por el porcentaje de arcilla y la disponibilidad de materia orgánica presente. En el análisis realizado, se correlacionaron datos de CIC, textura y porcentaje de materia orgánica (expresada en porcentaje de carbono orgánico) para establecer un mejor criterio. Los puntos de muestreo en Caparrapí y Guaduas presentaron los mayores valores de CIC (41.5 cmol (+)/kg y 35.4 cmol (+)/kg, respectivamente) seguido de Quebradanegra (28.4 cmol (+)/kg) y El Dindal con el menor valor (8.60 cmol (+)/kg). Aunque los mayores valores de CIC en Caparrapí y Guaduas

no se correlacionan con el porcentaje de arcillas de estos suelos, se puede evidenciar que estos sitios son los que presentan mayor contenido de materia orgánica total al arrojar valores de 10.5 % y 6.9 %, respectivamente, lo que puede explicar estos valores de CIC. En el caso de El Dindal, el porcentaje de arenas es el mismo que en Caparrapí y Guaduas, pero en este sitio los valores de materia orgánica son bajos (2.6 %), lo que confirma su baja CIC.

Según López, en el 2005<sup>(8)</sup> la materia orgánica del suelo confiere importantes atributos a este, y se destacan entre estos: el poder de tipo amortiguador y la capacidad de afectar las propiedades físicas del suelo (estructura, consistencia, densidad, espacio poroso, temperatura y color). El mismo autor referencia que la materia orgánica puede servir como fuente de algunos macronutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre) y por su acción quelante también de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre y zinc); finalmente, ser fuente de ácidos fúlvicos y húmicos que participan de la fisicoquímica del suelo y la fisiología de las plantas. Dado su nivel de importancia, surgió la necesidad de conocer su determinación (considerándose especialmente al carbono y nitrógeno). Con el tiempo se desarrollaron diferentes métodos que, de acuerdo con su precisión y menor cantidad de variables (o mayor facilidad para el manejo y control de ellas), perduraron o fueron descartados. Esto evidencia que las localidades con mayor contenido de materia orgánica (Caparrapí y Guaduas) tienen los valores más altos con respecto a los elementos mayores.

Para los elementos menores, el comportamiento en la región fue heterogéneo dependiendo del elemento (datos suplementarios). Dentro de los denominados elementos menores o micronutrientes, se incluyen el boro (B), el cloro (Cl), el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso

(Mn), el molibdeno (Mo), el níquel (Ni) y el zinc (Zn). Dichos elementos tienen funciones variadas tales como la producción de la clorofila, intervienen en la conservación de las hormonas de crecimiento vegetales y en el balance adecuado de los bioelementos que regulan la transpiración, y estimulan el crecimiento de las plantas al promover la división de las células, la floración y la producción de semillas<sup>(9)</sup>.

Las mejores plantaciones comerciales de guadua se desarrollan eficientemente cuando el pH del suelo se encuentra en rangos de 6.3-6.5 <sup>(10)</sup>. El grado de adaptabilidad y desarrollo en condiciones ácidas por debajo de 5.5 se ve notablemente afectado y se vuelve crítico con valores mucho menores. Los datos generados en este estudio evidencian que el pH fluctúa entre los sitios analizados dentro del rango en el que la guadua crece en condiciones normales.

En cuanto a los elementos estructurales, cabe resaltar que el ciclo del nitrógeno permite su incorporación en estructuras biológicas tales como proteínas y ácidos nucleicos al regular múltiples procesos en plantas y demás organismos. Las etapas de este ciclo involucran: 1. la fijación del nitrógeno realizada por bacterias amonificantes AMO en forma de amonio ( $\text{NH}_{4+}$ ), 2. la mineralización que consiste en generar formas de nitrógeno asimilables por las plantas ( $\text{NH}_{4+}$  y  $\text{NO}_{3-}$ ), 3. la nitrificación realizada por las bacterias oxidantes de nitrito BON, y 4. la denitrificación que producen los gases  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$  para retornar el elemento de nuevo a la atmósfera <sup>(11)</sup>.

Los microorganismos del suelo funcionan como un indicador de calidad tan relevante o incluso mayor que los parámetros fisicoquímicos de este <sup>(12)</sup>, que a su vez viene influenciado por los procesos y las actividades a las cuales está expuesto <sup>(13)</sup>. Una mayor presencia de bacterias

relacionadas con el ciclo de nitrógeno en los sitios GSP01 y CPN01, en especial las de tipo AMO y BOA, podría estar vinculada a que estos rodales están asociados a cultivos de café, plátano y caña de azúcar, los cuales son representativos de la región. Según Cañón-Cortázar <sup>(14)</sup>, la aplicación de fertilizantes para fines agrícolas (NPK) y algunas labores culturales podría facilitar los procesos de mineralización de estos nutrientes y ponerlos a mejor disponibilidad tanto para los microorganismos como para los organismos vegetales. Aun así, en el caso de áreas poco intervenidas o boscosas, como es el caso de los suelos de los guaduales no asociados a cultivos, los menores valores para estos microorganismos no significan que su presencia o actividad en el metabolismo del nitrógeno sea baja.

A través de la denitrificación, las formas oxidadas de nitrógeno como el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y el nitrito ( $\text{NO}_2$ ) se convierten en dinitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y, en menor medida, en gas óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Este proceso anaeróbico es llevado a cabo por bacterias que utilizan compuestos nitrogenados como aceptores de electrones en la respiración anaeróbica, y que pueden convertir el nitrato en formas más reducidas de nitrógeno ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ) que se van a la atmósfera. El óxido nítrico y el óxido nitroso son gases importantes para el ambiente. La denitrificación es la única transformación del nitrógeno que remueve el nitrógeno del ecosistema (que es en esencia irreversible), y aproximadamente balancea la cantidad de nitrógeno fijado por los microorganismos. En el caso de los suelos analizados, los guaduales presentaron valores para microorganismos denitrificantes en el rango de suelos en condiciones naturales de bosque o con buenas prácticas de manejo.

Al realizar un balance general, se podría decir que la movilización de nutrientes, en especial aquellos con formas químicas nitrogenadas, es favorable para el desarrollo de los guaduales en los sitios seleccionados. La población microbiana asociada a los rizomas realiza recambios adecuados de los nutrientes, tal como se correlaciona con los datos de respiración, los cuales se encuentran alrededor de los valores de respiración de suelos dentro del tipo de suelo en condiciones naturales  $0,1-2,0 \text{ mgCO}_2/\text{gr}/48 \text{ h}$  (material suplementario). Los valores más altos con respecto al diámetro de tallo se registraron en los rodales del municipio de Guaduas, con tallos vegetativos maduros de 50.4 cm. Cabe resaltar que dicho diámetro es un indicador del momento de la cosecha, la cual se hace al realizar un corte tradicionalmente a las primeras horas para evitar que los tallos queden con altos contenidos de humedad; este factor es una limitante en durabilidad de los materiales en el futuro <sup>(15)</sup>.

Los suelos con texturas arcillosas, menor acumulación de materia orgánica y baja fertilidad pueden tener cultivos o zonas de la finca con miras al aprovechamiento de esta especie como material utilizado en el sistema productivo, tal como construcción de infraestructuras de bajos requerimientos en cuanto al grosor y la calidad del tallo. Es de resaltar que en los sitios donde esta especie tuvo mejores características de tallo comercial, se presentó en áreas donde la guadua estaba incluida dentro del sistema denominado cultivo asociado, para este caso con el cultivo del café y plátano. La guadua es utilizada en algunas regiones como el Eje Cafetero, en asocio con cultivos de cítricos, piña y otras actividades agropecuarias como la ganadería <sup>(16)</sup>. En el caso del café, por naturaleza alguna de sus requerimientos para ciertas

variedades es la calidad del sombrero, y este es un parámetro para lograr una óptima producción. El rodal implementado y conservado de la forma estandarizada sirve como buen complemento en dicho sistema productivo.

## Conclusiones

La especie *Guadua angustifolia* es nativa del trópico americano, con una amplia adaptabilidad a distintos tipos de suelo y pisos térmicos. Aun así, se debe tener en cuenta a la hora de emprender un sistema productivo de guadua cuáles son los rangos de desarrollo óptimo para esta especie. Es importante resaltar que la guadua es una especie con gran porcentaje de ciclaje de nutrientes debido a la considerable cantidad de desprendimiento de hojas, y estas son acumuladas en la capa superficial del suelo, lo que aumenta la generación de materia orgánica como medio propicio para el desarrollo de una gran variedad de microorganismos.

En las zonas de la región del Bajo Magdalena de Cundinamarca, analizadas en este proyecto (Guaduas y Caparrapí), se evidenció que los suelos asociados a los guaduales se encuentran dentro de los parámetros óptimos tanto para la producción industrial como para el aprovechamiento local de los proyectos productivos. Dependiendo de la finalidad para la utilización de la guadua, se debe entender que para cumplir con las condiciones de parámetros de calidad y tamaño, esta especie se debe

ajustar a las condiciones agroecológicas óptimas. Incluso así, si el destino es el autoconsumo, la guadua presenta un rango amplio de adaptación, lo que la hace flexible cuando se sale de sus condiciones ideales, lo cual influirá con su calidad y tamaño. La guadua se puede implementar dentro del sistema rural tradicional para lograr que los productores puedan diversificar sus productos ante los cambios de la comercialización tradicional, además de ser un cultivo con amplio reconocimiento en la conservación del ecosistema local.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a las entidades que participaron en el marco del proyecto denominado “Estrategias de valoración y apropiación de los recursos naturales, como mecanismo de adaptación al cambio climático - Región del Bajo Magdalena”, de la Gobernación de Cundinamarca en el componente “Estudio sobre principales factores bióticos y abióticos que influyen en la calidad de sitio para guadua e identificación de clones adaptables a la zona de estudio y paquete tecnológico para manejo de cosecha y poscosecha en las zonas de estudio”, en especial al Centro Internacional de Física (CIF) y la Universidad de Cundinamarca.

Agradecimiento especial a los productores agrícolas de los diferentes municipios por haber permitido los espacios en los que se desarrolló esta investigación.

## Referencias

1. Aguilar Aguilar E, Reyes Erreyes K, Ordóñez Contreras O, Calle Iñiguez M, Reyes K. Uso y valoración de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico: caso Casacay, cantón Pasaje, El Oro - Ecuador. Rev Interam Ambient Tur. [Internet]. 2018;14(1):80-8. <https://doi.org/fwyr>
2. Carrizosa J. Análisis de las principales dinámicas regionales asociadas a la variabilidad y al cambio climático. 2012. Disponible en: <https://bit.ly/3dxBfZy>
3. Bedoya Montoya C. Construcción sostenible para volver al camino [Internet]. Biblioteca Jurídica Dike: Mares Consultoría Sostenible, Medellín, Colombia; 2011.
4. García JH, Camargo JC. Condiciones de calidad de guadua angustifolia para satisfacer las necesidades del mercado en el Eje Cafetero de Colombia. Recur Nat y Ambient [Internet]. 2010;(61):67-76. Disponible en: <https://bit.ly/3pldiB4>
5. Camargo JC, Morales T, García JH. Términos de referencia para la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible de guaduales. 2008. 1-70 pp. Disponible en: <https://bit.ly/2OZqmp5>
6. Orozco Corral AL, Valverde Flores MI, Téllez RM, Bustillos CC, Hernández RB. Physical, chemical and biological soil properties with biofertilization in apple orchards. Terra Latinoam. 2016;34(4):441-56. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n4/2395-8030-tl-34-04-00441.pdf>
7. Rugeles-Silva P, Posso-Terranova A, Londoño X, Barrera-Marín N, Muñoz-Florez J. Caracterización molecular de Guadua angustifolia Kunth mediante marcadores moleculares RAMs. Acta Agronómica. 2012;61(4):325-30. Disponible en: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/38132](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/38132)
8. López AJ. Manual de edafología. Media [Internet]. 2006;806(enero):1-92. Disponible en: <https://bit.ly/3uiwDMU>

9. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Plant physiology and development [Internet]. Sinauer Associates. 2015. Disponible en: <http://6e.plantphys.net/>
10. Botero LF. Reproducción de la Guadua angustifolia por el método de chusquines. *Int Netw Bamboo Ratt.* 2004;Guayaquil. Disponible en: <https://www.inbar.int/wp-content/uploads/2020/05/1489453532.pdf>
11. Paredes MC. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas [Internet]. Pontificia Universidad Católica Argentina. 2013. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/393>
12. Acosta-Martínez V, Acosta-Mercado D, Sotomayor-Ramírez D, Cruz-Rodríguez L. Erratum to “Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils” [*Appl. Soil Ecol.* 38 (2008) 249-260]. *Appl Soil Ecol.* 2008;39(3):358. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.01.004>
13. Han X, Wang R, Guo W, Pang X, Zhou J, Wang Q, et al. Soil microbial community response to land use and various soil elements in a city landscape of north China. *African J Biotechnol.* 2011;10(73):16554-65. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1682>
14. Cañón-Cortázar RG, Avellaneda-Torres LM, Torres-Rojas E. Associated microorganisms to the nitrogen cycle in soils under three systems of use: potato crop, livestock and páramo, in Los Nevados National Natural Park, Colombia. *Acta Agron.* 2012;61(4):371-9. Disponible en: <https://bit.ly/3aDt0Jt>
15. Maya Echeverry JM, Camargo García JC, Marino Mosquera O. Characteristics of Guadua culms according to site and stage of maturity. *Colomb For.* 2017;20(2):171-80. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a06>
16. Mejía L. Pasado y futuro de los bosques de guadua en el Eje Cafetero colombiano. El caso de Yarima Guadua. *Recur Nat y Ambient.* 2011;(61):6-10. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/6973?show=full>

## Datos suplementarios

**Tabla S1. Contenido de elementos menores en suelos asociados a rodales de guadua. \*Escala del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac)**

Sitio de muestreo	mg/kg				
	Mn	Fe	Zn	Cu	B
Quebradanegra QN01	5,10	54,10	26,50	2,00	0,02
Guaduas GSP01	1,50	52,00	0,33	0,81	0,27
Dindal CDINDAL01	4,30	23,00	18,40	1,40	N. D.
Caparrapí CPN01	3,20	73,80	0,64	0,27	0,16
Contenido óptimo en el suelo*	15-30	20-30	3,00-6,00	1,50-3,00	0,60-1,00

### Datos suplementarios

**Tabla S2. Porcentaje de materia orgánica presente en suelos asociados a rodales de guadua en la región de Gaulivá y Bajo Magdalena (Cundinamarca). \*Interpretación del laboratorio de suelos del Igac**

Sitio de muestreo	C. O. %	Clima	Apreciación*
Quebradanegra QN01	4,80	Medio	Alto
Guaduas GSP01	6,90	Medio	Alto
Dindal CDINDAL01	2,60	Cálido	Alto
Caparrapí CPN01	10,50	Medio	Alto

**Tabla S3. Relación del estado de respiración de los suelos analizados en este estudio**

Punto	mg/CO <sub>2</sub> /gr/48 h
Quebradanegra	0,225
Guaduas	0,103
Dindal	0,126
Caparrapí	0,174

# Presencia de *Escherichia coli* con resistencia extendida a los antibióticos en paloma doméstica (*Columba livia*) en una localidad de Bogotá, Colombia

Paula A. Barbosa-Brugés<sup>1,3</sup> , Víctor M. Acero-Plazas<sup>2,3\*</sup> , Nelson E. Arenas<sup>4</sup> 

Cómo citar este artículo: Barbosa-Brugés PA, Acero-Plazas VM, Arenas NE. Presencia de *Escherichia coli* con resistencia extendida a los antibióticos en paloma doméstica (*Columba livia*) en una localidad de Bogotá, Colombia. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2020;6(2), p 21-30. DOI: xxx-xxx

<sup>1</sup>Animals Center, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Asociación Nacional de Médicos Veterinarios de Colombia (Amevec), Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Fundación Universitaria Agraria de Colombia (Uniagraria), Bogotá, Colombia.

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia.

\*Autor de correspondencia:  
sepulvic@hotmail.com

## Resumen

La paloma doméstica (*Columba livia*) es considerada un reservorio potencial de diferentes agentes zoonóticos, que pueden representar problemas mayores en la salud pública. El objetivo fue determinar la presencia de cepas de *Escherichia coli* y caracterizar su perfil de susceptibilidad a los antibióticos en muestras de pulmón e intestino de palomas circulantes en una plaza de mercado de Bogotá. Se tomaron muestras directamente del intestino, hisopados de tejido pulmonar y bronquial de cuatro especímenes que fueron enviadas a un laboratorio de diagnóstico microbiológico, para cultivo y antibiograma. En las muestras de tejido respiratorio se detectaron bacilos ácido alcohol resistentes (+). En el tejido intestinal, aunque las muestras fueron negativas para *Salmonella* sp., se identificaron cepas de *Escherichia coli* resistentes a cefalotina, ceftiofur, ampicilina,

**Palabras clave:** paloma, salud pública, zoonosis, antibiótico resistencia, *Escherichia coli*.

**Keywords:** Pigeon, Public health, Zoonosis, Antibiotic resistance, *Escherichia coli*.

amoxicilina/ácido clavulánico, trimetoprim sulfametoxazol y tetraciclina. La presencia de *E. coli* multirresistente a antibióticos podría constituir un riesgo potencial de transmisión de este patógeno a los alimentos, personas o animales, en especial, en aquellos lugares públicos como centros de almacenamiento, distribución y comercialización de alimentos o sitios de recreación.

## Abstract

Domestic pigeon (*Columba livia*) is considered a potential reservoir of different zoonotic pathogens which could represent a public health threat. Our aim was to detect the presence of *Escherichia coli* in lung and intestine tissues obtained from domestic pigeons and its drug susceptibility profile. Stool samples were taken from four *C. livia* individuals in a marketplace in the town of Kennedy in Bogotá, Colombia, by pest control's company. Samples were recovered from intestine, lung and bronchial tissue swabs and processed routinely in a microbiological diagnostic laboratory. Bacteria cultures and antibiograms were performed for each sample. Acid-alcohol resistant bacilli (+) were detected in respiratory tissue samples. In the intestinal tissue although samples were negative for *Salmonella* spp., *Escherichia coli* strains resistant to cephalothin, ceftiofur, ampicillin, amoxicillin + clavulanic acid, trimethoprim sulfamethoxazole and tetracycline were detected. The presence of pigeons infected with *E. coli* multidrug resistant could constitute a potential risk of spread of these bacteria, since several mammals including human could be infected by the consumption of contaminated food with faeces or secretions from infected pigeons. Public places such as storage food house, food distribution centers, food marketing or recreation sites, are favorable areas to spreading of *E. coli* strains.

## Introducción

Actualmente el problema de sobrepoblación de palomas afecta tanto el medioambiente como el entorno urbano, ya que se ha reportado que estas aves son portadoras de numerosos patógenos tales como la tuberculosis, clamidiosis y otros agentes infecciosos<sup>(1,2)</sup>. Dichas enfermedades constituyen una amenaza continua para las poblaciones humanas, independientemente de edad, género, estilo de vida, antecedentes étnicos y nivel socioeconómico. Este problema de palomas en sitios públicos podría aumentar el riesgo que implica esta especie para personas, animales o alimentos debido a los agentes infecciosos. Cuando las aves han alcanzado la condición de plaga urbana, debido a la sobrepoblación, existen pérdidas económicas aun no cuantificadas, por los riesgos que representa esta especie<sup>(3)</sup>.

Estudios epidemiológicos en poblaciones de paloma doméstica (*Columba livia*) han detectado cerca de 110 microorganismos que son patógenos humanos, entre ellos 41 bacterias, 55 hongos y 6 protozoos, de los cuales los más relevantes son *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Chlamyphila psittaci*, *Aspergillus* spp., *Candida* spp., *Cryptococcus neoformans*, *Histoplasma capsulatum* y *Toxoplasma gondii*<sup>(4,5)</sup>. Asimismo, la presencia de parásitos y enterobacterias de importancia en salud pública en poblaciones ferales de *C. livia* en zonas urbanas del municipio de Envigado, Colombia. En dicho estudio se identificó *Escherichia coli* (95 %), *Haemoproteus* spp. (73 %), *Columbicola columbae* (64 %), ooquistes compatibles con *Eimeria* spp. (55 %), *Pseudolynchia canariensis* (52 %), *Trichomonas* spp. (40 %), *Capillaria* spp. (28 %), *Menopon gallinae* (24 %), *Ascaridia* spp. (8 %) y un caso de *Enterobacter cloacae*<sup>(6)</sup>. En los últimos 25 años, los casos de criptococosis humana y animal han aumentado de forma considerable. Las palomas

raramente desarrollan signos clínicos asociados a esta enfermedad y sirven como un reservorio potencial de infección en humanos, la cual no sucede por la transmisión directa a través de las aves sino más bien de la exposición a los organismos a las heces de las palomas en el medioambiente<sup>(7)</sup>. El objetivo fue determinar la presencia de cepas de *Escherichia coli* multirresistente a los antibióticos en muestras de *C. livia*.

## Materiales y métodos

La localidad de Kennedy, en Bogotá, está ubicada a 2600 m s. n. m. con una temperatura promedio de 14 °C, se ubica en el sector suroccidental de la ciudad y está demarcada de la siguiente manera: por el oriente, limita con la avenida Congreso Eucarístico (carreta 68); por el norte, con el río Fucha y la calle 13; por el sur, con la Autopista Sur, el río Tunjuelito y la avenida calle 40 sur; y por el occidente, con Camino Osorio Bosa y el municipio de Mosquera<sup>(8)</sup>.

## Presencia de Bacilos Ácidos Alcohol Resistentes

Se capturaron cuatro ejemplares en un dispositivo de icopor (poliestireno expandido), y posteriormente se realizó la necropsia de cada ejemplar teniendo en cuenta el protocolo reportado por Valladares de la Cruz<sup>(9)</sup>. Luego se expuso la cavidad torácica y se tomó la muestra de tejido pulmonar por medio de un hisopo (Figura 1), para tinción Ziehl-Neelsen para identificación de Bacilos Ácidos Alcohol Resistentes (BAAR) en cien campos observados. Los BAAR tras la unión de fucsina, resistentes en el tratamiento orgánico, se verán teñidos de rosado/fucsia para definirse como BAAR positivo y el resultado en número de cruces (+) representa la carga bacilar.

La presencia de dichos bacilos no indica que sean necesariamente tuberculosos, pero sugieren la presencia de micobacterias <sup>(10,11)</sup>.



Figura 1. Procedimiento de necropsia para toma de muestras en un ejemplar de paloma

### *Salmonella* sp. y *Escherichia coli*

Se tomaron muestras de heces directamente del intestino para cultivo y antibiograma (Figura 2). Las cepas de *E. coli* y *Salmonella* sp. fueron identificadas mediante cultivos de aislamiento primario (agar sangre, MacConkey y chocolate), se incubaron a 37 °C por 24 horas, siguiendo la metodología de Sánchez <sup>(12)</sup>. Posteriormente se realizó el Enteropluritest, el cual consiste en un sistema de medios de cultivo especiales para identificar enterobacteriácea y otras bacterias gram negativas mediante 15 pruebas bioquímicas evaluando el cambio de color de los diferentes medios de cultivo, después de 18-24 horas de incubación a  $36 \pm 1$  °C y mediante un número de código obtenido de la interpretación de la reacción bioquímica. Para la prueba de sensibilidad se realizó un inóculo bacteriano en solución salina usando el patrón de turbidez 0.5 Mcfarland (a partir de la placa de cultivo se toman cuatro a cinco colonias bien aisladas, del mismo tipo morfológico, con un asa de siembra). Dentro de los 15 minutos siguientes al ajuste de la turbidez del inóculo, se sumerge un hisopo estéril en la suspensión y se rota el hisopo varias veces presionando firmemente sobre

la pared interior del tubo por encima del nivel del líquido para remover el exceso de inóculo. Luego se inocula la superficie seca de la placa de Mueller Hinton, distribuyendo el hisopo en tres direcciones por siembra masiva para asegurar una distribución uniforme del inóculo. Antes de colocar los discos, se deja secar la placa a temperatura ambiente durante 3 a 5 minutos para que cualquier exceso de humedad superficial sea absorbido. La sensibilidad a antibióticos se evaluó por el método de difusión en disco de Kirby-Bauer y se aplicaron discos conteniendo los antibióticos cefalotina, ceftiofur, ampicilina, amoxicilina + ácido clavulánico, trimetoprim sulfametoxazol y tetraciclina para determinar los halos de inhibición respectivos <sup>(13,14)</sup>.



Figura 2. Procedimiento de necropsia para toma de muestras en el sistema digestivo en un ejemplar de paloma

### Aspectos bioéticos

Los animales se sacrificaron de acuerdo con la Ley 84 de 1989, mediante eutanasia con sobredosis de barbitúricos, por medio de una inyección intraperitoneal a dosis de 200 mg/

kg <sup>(15)</sup> y se tuvo en cuenta la Ley 576 de 2000, en la cual se establece que un profesional en medicina veterinaria es la persona autorizada para realizar este procedimiento.

## Resultados

A dos de las muestras de palomas se les aplicó una tinción Ziehl-Neelsen que permitió indicar la presencia de BAAR y se observó menos de un bacilo en 100 campos observados (+) en ambas muestras. Adicionalmente, se observaron formas bacilares y cocobacilares compatibles con BAAR que fueron compatibles con la coloración de Ziehl-Neelsen. En las otras dos muestras, se identificó la presencia de *E. coli* y ausencia

para *Salmonella* sp. de acuerdo con las pruebas de aislamiento e identificación fenotípica. Las muestras sembradas en medios de aislamiento primario (agar sangre, chocolate y MacConkey) a las 24 horas de incubación a 37° evidenciaron colonias brillosas de tamaño mediano con aspecto blanquecino; posterior a la tinción de Gram se observaron bacilos Gram negativos no esporulados. Se realizó el Enteropluritest con resultado positivo para *E. coli* y se descartó *Salmonella* debido a los resultados obtenidos en las pruebas bioquímicas de Enteropluritest que fueron negativos para indol y lactosa. De acuerdo con las pruebas de susceptibilidad a los antibióticos, se pudo establecer que una cepa de *E. coli* fue resistente para seis antibióticos y la otra para cuatro (Tabla 1).

**Tabla 1. Pruebas de identificación microbiana y susceptibilidad a los antibióticos en muestras de paloma**

Muestra	Patógeno	Pruebas de susceptibilidad	
		Sensible	Resistente
1	<i>Escherichia coli</i>	Enrofloxacina	Cefalotina, ceftiofur, ampicilina, amoxicilina + ácido clavulánico, trimetoprim sulfametoxazol, tetraciclina.
2	<i>Escherichia coli</i>	Enrofloxacina, Ceftiofur, Trimetoprim Sulfametoxazol	Amoxicilina + ácido clavulánico, ampicilina, cefalotina, tetraciclina.

## Discusión

En este trabajo, se determinó la presencia de BAAR y cepas de *E. coli* con resistencia extendida a los antibióticos en palomas urbanas. La identificación de estos patógenos humanos potenciales permitió demostrar que estas aves podrían ser reservorios. En otros estudios similares de muestras de palomas en parques y jardines, los hallazgos son equivalentes y demostraron la presencia de micobacterias como

*M. avium-intracellulare*, *M. terrae*, *M. gordonae*, *M. szulgai*, *M. hiberniae* y *M. porcinum* <sup>(16)</sup>. En Colombia, se ha reportado que la tuberculosis aviar causada por *M. avium* es un patógeno frecuente en población aviar <sup>(17)</sup>.

Los resultados sugieren que las heces de la paloma presentan agentes zoonóticos en las cuatro muestras de la localidad de Kennedy. Schmidt <sup>(18)</sup> determinó que las palomas son potenciales reservorios de bacterias y

patógenos como la *E. coli*, perteneciente a la cepa productora de Shiga toxina en un 12 % de las muestras de ese estudio; esta cepa puede producir en los humanos colitis hemorrágica y síndrome urémico hemolítico. Villalba-Sánchez *et al.* <sup>(19)</sup> en un estudio en Colombia determinaron *E. coli* en el 95 % de las muestras (40 palomas en 6 lugares distintos). Abulreesh <sup>(20)</sup> demostró en 400 muestras de heces de palomas que el 2,55 % correspondían a *E. coli* perteneciente a la cepa productora de Shiga toxina. En ese estudio, la cepa *E. coli* O157 mostró un patrón de resistencia del 30 % contra 8 antibióticos, similar a este estudio en el cual se utilizaron 7 antibióticos en el antibiograma. Vasconcelos <sup>(21)</sup>, en Brasil, reportó el hallazgo de cepas causantes de cuadros gastrointestinales graves en palomas en libertad, similar a lo encontrado en este estudio. En comparación con los hallazgos de este análisis, en el cual se determinó la presencia de *E. coli* en dos muestras, existe la posibilidad de transmisión al hombre, animales, medioambiente y alimentos de este agente. El origen de este patógeno en las palomas puede deberse en parte al consumo de alimentos contaminados como basura, alimentos en descomposición, agua no potable o aguas estancadas o invertebrados que pueden llevar consigo esos agentes, en este caso *E. coli* <sup>(22-24)</sup>. Existen más de 60 enfermedades transmisibles de las palomas a humanos y más de 10 enfermedades que pueden contagiar a otros animales, tales como clamidiasis, criptococosis, aspergilosis, salmonelosis, listeriosis, estafilococosis y diversas infecciones virales, incluyendo algunas de notificación obligatoria en animales de producción, las cuales pueden ser transmitidas por las heces <sup>(24-27)</sup>. Estudios similares en Colombia acerca de los riesgos potenciales en salud pública de palomas demuestran la presencia de *Escherichia coli*, *Pseudomonas* spp. y *Salmonella choleraesuis*, además de otros parásitos, hongos y *Toxoplasma gondii* <sup>(28)</sup>.

Se recomienda el abordaje, la prevención, el control y la vigilancia de esta problemática con los lineamientos de “Una Salud”, enfoque recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), teniendo en cuenta los factores medioambientales, humanos y animales que facilitan la circulación de estos agentes zoonóticos en el medio y podrían provocar la emergencia de cepas con antibiótico de resistencia extendida <sup>(29)</sup>.

En conclusión, se demostró que las palomas de una plaza de mercado de Bogotá podrían ser portadoras de cepas de *E. coli* multirresistentes a los antibióticos y las micobacterias. Este hallazgo sugiere que existe un factor de riesgo para otras aves, animales de producción y de compañía, humanos y alimentos. Es pertinente profundizar en estudios microbiológicos de estas aves al aumentar el tamaño de la muestra, el cual es una limitante junto con el bajo número de medios de cultivo para diagnóstico en este tipo de estudios con animales sinantrópicos. Este trabajo se constituye como el primer reporte en el país de un patógeno con resistencia a múltiples antibióticos en palomas urbanas.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos a Zoolab S. A. S. y a Paula Luque Isaza, por el procesamiento, análisis de las muestras y apoyo en la construcción de los datos, y a la Corporación de Abastos de Bogotá (Corabastos S. A. S.) por el apoyo en el desarrollo del proyecto. Además, se agradece el apoyo de funcionarios de la empresa de control de plagas de la plaza de mercado de la localidad de Kennedy, Bogotá.

## Referencias

1. Gargiulo A, Russo TP, Schettini R, Mallardo K, Calabria M, Menna LF *et al.* Occurrence of enteropathogenic bacteria in urban pigeons (*Columba livia*) in Italy. *Vector-Borne and zoonotic diseases*. 2014;14(4):251-255. <https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0943>
2. González D, Castillo G, López J, Moreno L, Donoso S, Skewes O, Martínez R, Cabello J. Parásitos gastrointestinales y externos de la paloma doméstica (*Columba livia*) en la ciudad de Chillán, Chile. *Agro-Ciencia*. 2004;20(2),107-112.
3. Vasconcelos RH, Teixeira RS D, Silva IN, Lopes ES, Maciel WC. Feral pigeons (*Columba livia*) as potential reservoirs of *Salmonella* sp. and *Escherichia coli*. *Arquivos do Instituto Biológico*. 2018;85:1-6. <https://doi.org/fwj9>
4. Haag-Wackernagel D, Moch H. Health hazards posed by feral pigeons. *J Infect*. 2004;48(4):307-313. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2003.11.001>
5. Méndez V, Villamil L, Buitrago D, Soler D. La paloma (*Columba livia*) en la transmisión de enfermedades de importancia en salud pública. *Revista Ciencia Animal*. 2013;6:177-194. <https://bit.ly/3uuk7dg>
6. Pérez J, Monsalve D, Márquez C. Presencia de parásitos y enterobacterias en palomas ferales (*Columba livia*) en áreas urbanas en Envigado, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 2015;33(3):370-376. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v33n3a06>
7. Vallejo D, Benavides C, Chaves C, Morillo M, Castillo A. Aislamiento de *Cryptococcus neoformans* en heces de palomas (*Columba livia*) en el casco urbano del municipio de Pasto, Colombia. *Revista Biosalud*. 2016;15(1):62-71. <https://doi.org/10.17151/biosa.2016.15.1.7>
8. Alcaldía Mayor de Bogotá. Caracterización del Sector Educativo. Kennedy, Localidad 8. Secretaría de Educación. 2017. Disponible en: <https://bit.ly/3dy0iLX>
9. Valladares de la Cruz J. Necropsias en aves. Los avicultores y su entorno. 2014;15(86):122-136. Disponible en: <https://bit.ly/2NJLtLp>

10. Duizer G, Bowen G, Hutchison TW. Avian chlamydiophilosis in a Manitoba farmed pigeon flock. *Can Vet J.* 2010;51(6):605-606. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20808570/>
11. Martínez-Acevedo LS. Técnica de necropsia en aves. *Mem Conf Interna Med Aprovech Fauna Silv Exót Conv.* 2012;8(1):4-15. Disponible en: <http://www.veterinariosvs.org>
12. Sánchez MP, Guzmán Urrego MA. Manual de procedimientos en bacteriología clínica. *Biobacter: Colombia.* 2007.
13. Amosun E, Aweda DI, Ojo O. Multidrug resistant enterohaemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in pigeons in Ibadan, Nigeria. *Bulletin of Animal Health and Production in Africa.* 2017;65(4):607-613. Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/bahpa/article/view/167668>
14. Ledwoń A, Rzewuska M, Czopowicz M, Kizerwetter-Świda M, Chrobak D, Szeleszczuk, P. Occurrence and antimicrobial susceptibility of *Salmonella* spp. isolated from domestic pigeons *Columba livia* var. domestica in 2007-2017 in Poland. *Medycyna Weterynaryjna.* 2019;75(12):735-737. <https://doi.org/10.21521/mw.6280>
15. Kummerfeld N, Legler M, Wohlsein P, Kummerfeld M. Morphological studies in different avian species on artefacts induced by euthanasia with T 61" or Pentobarbital (Narcoren). *Berl Munch Tierarztl Wochenschr.* 2012;125(1-2):27-31. Disponible en: <https://bit.ly/3kbnbX2>
16. Tanaka C, Miyazawa T, Watarai M, Ishiguro N. Bacteriological survey of feces from feral pigeons in Japan. *J Vet Med Sci.* 2005;67(9):951-953. <https://doi.org/10.1292/jvms.67.951>
17. Neira-Rairán R, Rodríguez-Martínez G, Silva-Igua A, Arias-Bernal L, Guerrero MI, León-Franco CI. Estudio macro y microscópico de la tuberculosis aviar en un zoológico de la Sabana de Bogotá. *Revista de Medicina Veterinaria.* 2006;12:7-21. <https://doi.org/10.19052/mv.2050>
18. Schmidt H, Scheef J, Morabito S, Caprioli A, Wieler LH, Karch H. A new Shiga toxin 2 variant (Stx2f) from *Escherichia coli* isolated

from pigeons. *Appl Environ Microbiol*. 2000;66(3):1205-1208. <https://doi.org/br8wtk>

19. Villalba-Sánchez C, De la Ossa-Lacayo A, De la Ossa VJ. Densidad de paloma doméstica (*Columba livia* doméstica Gmelin, 1789) en el nuevo mercado público de Sincelejo, Sucre, Colombia. *Rev. UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 2015;18(2):497-502. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n2.2015.265>
20. Hussein HA. Free living rock pigeon (*Columba livia*) as an environmental reservoir of enteric bacterial pathogens resistant to antimicrobial drugs in Saudi Arabia. *Current Research in Bacteriology*. 2011;4(1):28-33. <https://doi.org/10.3923/crb.2011.28.33>
21. Vasconcelos R, De Castro R, Goes I, De Souza E, Cardoso W. Feral pigeons (*Columba livia*) as potential reservoirs of *Salmonella* sp. and *Escherichia coli*. *Arquivos do Instituto Biológico*. 2018;85:1-6. <https://doi.org/fwj9>
22. Kramarova E. The food of a feralized population of *Columba livia* forma doméstica in Borno. *Folia zoologica*. 1991;40(1):47-66.
23. Gargiulo A, Russo TP, Schettini R, Mallardo K, Calabria M, Menna LF *et al*. Occurrence of enteropathogenic bacteria in urban pigeons (*Columba livia*) in Italy. *Vector-Borne and zoonotic diseases*. 2014;14(4):251-255. <https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0943>
24. Swinne-Desgain D. The pigeon as reservoir for *Cryptococcus neoformans*. *Lancet*. 1974;304(7884):842-3. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(74\)91106-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(74)91106-4)
25. Teske L, Ryll M, Rautenschlein S. Epidemiological investigations on the role of clinically healthy racing pigeons as a reservoir for avian paramyxovirus-1 and avian influenza virus. *Avian Pathology*. 2013;42(6):557-565. <https://doi.org/10.1080/03079457.2013.852157>
26. Allison AB, Mead DG, Gibbs SE, Hoffman DM, Stallknecht DE. West Nile virus viremia in wild rock pigeons. *Emerging Infectious Diseases*. 2004;10(12):2252. <https://doi.org/10.3201/eid1012.040511>

27. Casanovas L, De Simón M, Ferrer MD, Arqués J, Monzón G. Intestinal carriage of campylobacters, salmonellas, yersinias and listerias in pigeons in the city of Barcelona. *Journal of Applied Bacteriology*. 1995;78(1):11-13. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1995.tb01666.x>
28. Acero-Plazas VM, Ramírez IF, Sierra KN, Oliveros JL, Suárez FM, Muñoz GD, Ávila JA, Hernández DA. Determinación del estado sanitario e identificación de los riesgos potenciales en salud pública de la paloma doméstica, *Columba livia* doméstica, en Bogotá, Colombia: resultados preliminares. *Revista Panamericana de Enfermedades Infecciosas*. 2019;2(2):e1. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/panamericana/article/view/24441>
29. Chávez de Pop VJ, Estol L, Cueva MT, Acero VM. Zoonosis: enfoque dentro del concepto de una salud. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2020;6(1):87-95. <https://doi.org/10.36436/24223484.307>

# Aplicación de la metodología MESMIS para la evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción campesina en Sumapaz, Cundinamarca

Nelson E. Fonseca-Carreño<sup>1</sup> , Carlos A. Narváez-Benavides<sup>1\*</sup> 

Cómo citar este artículo: Fonseca-Carreño, NE, Narváez-Benavides, CA. Aplicación de la metodología MESMIS para la evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción campesina en Sumapaz, Cundinamarca. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2020;6(2), p 31-48. DOI: xxx-xxx

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Administrativas, Económicas y Contables, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia).

\* Autor de correspondencia:  
nefonseca@ucundinamarca.edu.co

## Resumen

En este estudio se valoraron indicadores de sustentabilidad en cinco Sistemas de Producción Campesina (SPC) de la provincia del Sumapaz, a través del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) compuesto por las variables: productividad, equidad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad y autodependencia evaluados durante las prácticas agropecuarias en la producción primaria. Nuestra metodología fue participativa mediante procesos de observación, entrevistas y encuesta semiestructurada, de carácter probabilístico estratificado a través del conocimiento de la familia rural, en los cuales se identificaron las prácticas productivas y los indicadores de medición. Los resultados evidencian la interrelación de los SPC que permiten la caracterización de aspectos

**Palabras clave:** adaptación, agroecología, cambio climático, disponibilidad del agua, seguridad alimentaria.

**Keywords:** *Adaptation, Agroecology, Climate change, Food security, Water availability.*

socioeconómicos, biofísicos, componentes bióticos, de tecnología y manejo. Con base en veinte indicadores de medición, se interpreta la dinámica productiva y económica de los SPC; se obtuvieron resultados con puntajes de 64 a 70 puntos de 100 posibles, lo que establece que los SPC son “medianamente sustentables”. Se concluye que los SPC están conformados por varios componentes o subsistemas que interactúan entre sí y cumplen funciones de producción y reproducción, lo que permite a la familia campesina trabajar con escasos recursos económicos y mano de obra familiar, lo cual reduce costes y aumenta beneficios. De esta manera, se sostiene la productividad agropecuaria en el mediano y largo plazo y depende de recursos de suelo, agua y biodiversidad que se deben conservar o regenerar sosteniblemente.

## Abstract

In this study, we assessed sustainability indicators in five Rural Production Systems (RPS) through the Framework for the Evaluation of Management Systems Incorporating Sustainability Indicators (FEMSISI), composed by the variables: productivity, equity, stability, resilience, reliability, adaptability, and self-reliance through agricultural practices in primary production. Our methodology was participatory including observations, interviews and a semi-structured survey classified as stratified probabilistic mode that compile the knowledge of rural family, production practices and quantitative indicators. Our results showed that interrelationship between RPS and their socioeconomic and biophysical features, biotic components, technology and management. Based on 20 measurement indicators, the productive and economic dynamics of RPS are interpreted. Results were obtained with scores of 64 to 70 points out of 100 possible, which establishes that RPS are “moderately sustainable”. It is concluded that RPS are made up of several components or subsystems that interact with each other and fulfill production and reproduction functions, allowing the peasant family to work with scarce economic resources and family labor, which reduces costs and increases benefits. In conclusion, the agricultural productivity might be threatened in the medium and long term due to resources availability including soil, water and biodiversity which need to be conserved and/or regenerated sustainably.

## Introducción

En el mundo los sistemas productivos agropecuarios ejecutan prácticas destructivas que afectan y alteran los ecosistemas, como principal causa del detrimento ambiental <sup>(1)</sup>. A estos efectos negativos ambientales, se suman los aportados por la “revolución verde” como modelo productivo dominante, el cual ha generado una degradación de prácticas productivas y pérdida irremediable de la biodiversidad, integrando el uso de tecnologías y semillas modificadas orientadas a optimizar la productividad y el rendimiento agrícola en aras del beneficio económico agrícola y la intervención humana en los ecosistemas <sup>(2)</sup>. En tal sentido, se critica dicha intervención, al considerar que no se evaluaron los efectos económicos, sociales y ambientales que soportaría el excesivo uso de insumos agroquímicos en la producción primaria, ni se razonó sobre la importancia de salvaguardar la biodiversidad de cada región; los autores mencionan que los sistemas agrícolas con modelos de revolución verde poseen una serie de prácticas que tienen efectos negativos en la agricultura que incluyen una dependencia de tecnología, materia prima e insumos externos <sup>(3)</sup>. Además, los agroecosistemas siguen deteriorándose a través de las prácticas convencionales propias de la revolución verde, que causan un deterioro del capital natural en nombre de la producción.

Sin embargo, a pesar de las consecuencias de la revolución verde, los sistemas de producción campesina (SPC), conformados por componentes o subsistemas que interactúan entre sí y cumplen funciones de producción y reproducción, han preservado prácticas ancestrales y culturales con modelos agroecológicos adaptados al medio y mantienen una alta diversidad de cultivos y baja dependencia de insumos externos, lo que permite a la familia campesina trabajar con escasos

recursos económicos y mano de obra familiar, lo cual reduce costes y aumenta beneficios <sup>(4)</sup>. De ahí que se señala que dichos modelos permiten concebir una producción sustentable gracias a la disminución de los llamados “paquetes tecnológicos” (insumos agroquímicos y material genético) para establecer un cultivo y la incorporación de prácticas agroecológicas y ecoagrícolas, tecnologías apropiadas al territorio y fuentes renovables de energía que tienen efectos en la preservación de la biodiversidad <sup>(5,6)</sup>.

En efecto, se funda la necesidad de adoptar un modelo de sustentabilidad, sin disipar los beneficios de las prácticas tradicionales de los sistemas agrícolas, los cuales generan una serie de procesos productivos primarios que protegen la biodiversidad. Por tanto, se contrasta la información recolectada por medio de los diferentes instrumentos de captura con los cuales los campesinos identifican los puntos críticos del sistema (actividades o procesos que ponen en peligro o que refuerzan la productividad de los SPC) —según su modo de percibir y entender su entorno— para establecer la relación de los ecosistemas, las prácticas agroecológicas y los beneficios que se producen a partir de la identificación y medición de indicadores de sustentabilidad <sup>(7)</sup>.

De ahí que la sustentabilidad es entendida como un término en constante evolución con un origen tan antiguo que ha generado que varios autores rediseñen su concepto de acuerdo con las necesidades del entorno y a los cambios que estos tengan, ya que mide la relación entre los subsistemas familiares, agrícolas, pecuarios y agroforestales, manteniendo, al mismo tiempo, la estructura, las funciones y la diversidad de los sistemas que sustentan la vida <sup>(6)</sup>. En ese sentido, la sustentabilidad está en un proceso de evolución que requiere cambios constantes

en su definición de forma tal que se adapte a los entornos o las épocas desde las cuales se analiza <sup>(7)</sup>. Por lo tanto, el estudio pretende valorar los SPC de la provincia del Sumapaz a través del MESMIS “Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad”, para determinar los beneficios recibidos y percibidos de los campesinos a través de las prácticas agropecuarias.

## Materiales y métodos

### Ubicación geográfica

La investigación se desarrolló en la provincia del Sumapaz, la cual se encuentra ubicada al suroccidente del departamento de Cundinamarca y está conformada por los municipios de Arbeláez, Cabrera, Granada, Pandi, Pasca, San Bernardo, Sylvania, Tibacuy, Venecia y Fusagasugá como su capital <sup>(8)</sup>. Todos los municipios forman parte de la cuenca hidrográfica del río Sumapaz, que nace en el páramo de Sumapaz. Se encuentra a 4° 20' 14" latitud norte y 74° 21' 52" longitud oeste, con precipitaciones medias anuales de 916 mm, altitud de 1000 a 3800 m, temperatura media de 19 °C, una superficie de 1670 km<sup>2</sup>, una población de 185 453 habitantes y una densidad de 111,05 hab/km<sup>2</sup> <sup>(7)</sup>.

### Selección de la muestra

La metodología empleada fue participativa, de carácter probabilístico estratificado a través del conocimiento de la familia rural, en la cual se identificaron las prácticas productivas desde los subsistemas familiar, agrícola, pecuario y agroforestal, así como los beneficios recibidos y percibidos de los campesinos. Se estudiaron veinte fincas y se priorizaron cinco, según los criterios: participación de género, tamaño de las

fincas, inventario de ganado bovino y especies menores, producción agrícola permanente, acceso a fuentes de agua, accesibilidad y vías de comunicación <sup>(7)</sup>.

### Procedimientos y métodos de captura de información

Se capturó información a través de métodos participativos como procesos de observación, entrevistas <sup>(9)</sup> y una encuesta semiestructurada, a partir de los componentes: a) familiar (integrantes, escolaridad, rol); b) finca (tamaño, tendencia de tierra, permanencia, instalaciones sanitarias, suministro de electricidad, fuentes de combustible); c) área sembrada; d) comportamiento del volumen de producción; e) conducta de los ingresos agropecuarios; f) componente agrícola (manejo agrícola y de suelos, prácticas culturales, manejo y disposición de residuos); g) componente forestal (usos y beneficios, inventario forestal y de especies endémicas de fauna y flora); h) componente hídrico; i) componente pecuario <sup>(7)</sup>.

### Atributos para la evaluación de los SPC a través del MESMIS

Los atributos utilizados se basan en las características de sustentabilidad de los sistemas productivos (Figura 1), los cuales son: a) **Productividad**: capacidad del sistema productivo para mantener a la familia residente mediante el abastecimiento de bienes y servicio necesarios; b) **Equidad**: capacidad de distribuir responsabilidades y beneficios entre los miembros, así como la participación de estos en la toma de decisiones referentes al sistema productivo; c) **Estabilidad**: capacidad del sistema productivo para continuar en funcionamiento durante un largo tiempo al someterse a condiciones climáticas, económicas, de mercado,

tecnológicas y mano de obra; d) **Resiliencia:** capacidad de origen del sistema productivo que le permite estar en equilibrio, después de haber estado expuesto a perturbaciones causadas por aspectos como el clima y el cambio en el mercado; e) **Confiability:** la capacidad de autorregulación del sistema productivo, es decir, que la probabilidad de modificación ante perturbaciones del ambiente sea mínima; f)

**Adaptabilidad:** capacidad del sistema productivo para realizar ajustes internos, posterior a afectaciones y alteraciones; g) **Autodependencia:** capacidad del sistema productivo para abastecerse en gran parte de los insumos, procesos y recursos, de tal manera que pueda llevar a cabo una estructura adecuada, así como un funcionamiento eficiente <sup>(10)</sup>.

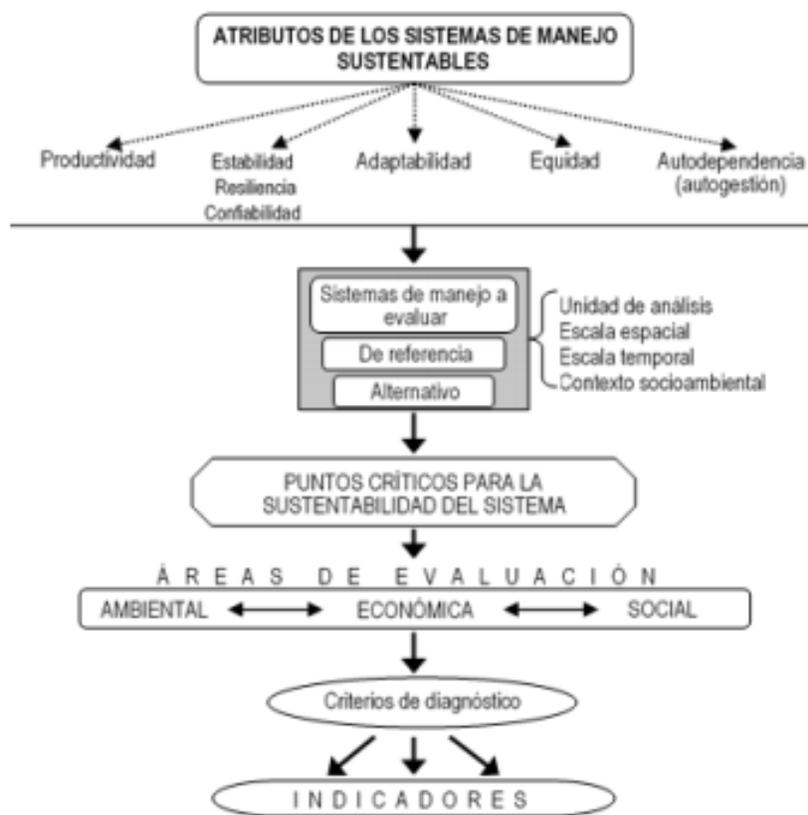


Figura 1. Atributos y dimensiones de evaluación MESMIS.

Fuente: <sup>(11)</sup>.

### Determinación de los puntos críticos e indicadores de sustentabilidad

El ejercicio participativo permite conocer las condiciones de los SPC, desde la perspectiva socioeconómica y biofísica para determinar los puntos críticos. Se utilizó el diagnóstico FODA

(Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) para identificar, analizar y visualizar la situación actual de la familia rural campesina <sup>(12)</sup>. Con esta información se detectaron los puntos críticos que fueron enmarcados en cada categoría de análisis (atributos y dimensiones).

## MESMIS para la evaluación de sustentabilidad

El MESMIS se desarrolla en seis pasos secuenciales, en los cuales se determina el sistema objeto de estudio, se analizan las fortalezas y oportunidades, se seleccionan los criterios de diagnóstico e indicadores estratégicos, se evalúan y monitorean los indicadores y, así mismo, se integran los resultados en las dimensiones económicas, sociales y ambientales y, finalmente, se generan conclusiones y recomendaciones (7).

Para la validación de indicadores de sustentabilidad se utiliza el coeficiente alfa de Cronbach como índice de consistencia interna, el cual toma valores entre 0 y 1, y comprueba si los instrumentos por evaluar contienen datos o información inválida que afecte los resultados o, por el contrario, son confiables y las mediciones son consistentes; por tanto, alfa ( es un coeficiente de correlación que mide la uniformidad de preguntas: cuanto más se aproxime a 1, mayor confiabilidad tendrá. Se considera que valores por encima de 0,80 son confiables (13).

Los indicadores para seleccionar pueden tener varias unidades de medida (valores cualitativos o cuantitativos), que no permiten una comparación. Se construye una escala de valor que representa el peso de cada indicador en proporción a la realidad anhelada, y la suma total de los indicadores es equivalente al 100 %. Por tanto, cada indicador estará conformado por un conjunto de variables con situaciones propias según el criterio. Los cuales se pueden indagar a través de:

- Preguntas de frecuencia (determina la duración o el período de un indicador, con categóricos procesos productivos); la escala de calificación será de 0 a 5, y es 5 la mejor situación.
- Preguntas marca-puntaje (con múltiples opciones de respuesta), en las cuales el mejor escenario estará determinado por el mayor número de respuestas elegidas. La ponderación está dada por la ecuación, en la que:

$$P_{preg} = \left[ \frac{Fv}{n} \right] * 5$$

$P_{preg}$  = puntaje obtenido de una pregunta determinada;  
 $F_v$  = número de variables consideradas por un indicador;  $n$  = número total de variables que hacen parte de un indicador;  
 \*5 = escala de calificación.

Los resultados se agrupan a través de los indicadores propuestos en los atributos mencionados, mediante una escala de valorización. Las mediciones se establecen con rangos de 1, valor mínimo y 5 valor máximo de la evaluación (7). Haciendo uso de la escala tipo Likert, se pretende evaluar el cumplimiento de indicadores que apunten a percibir el grado de sustentabilidad. La ponderación de indicadores se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Escala Likert para ponderación de indicadores de sustentabilidad**

Porcentaje de cumplimiento	Grado	Eficiencia del sistema	Definición
Valores de 71 a 100 %	5	Estable	Sustentable
Valores de 31 a 70 %	3	Sensible	Medianamente sustentable
Valores de 0 a 30 %	1	En peligro	No sustentable

Fuente: (7).

## Resultados

### Descripción de los sistemas de producción

Los SPC interrelacionan por medio de flujos las entradas y salidas de cada subsistema, que proporcionan bienestar al núcleo familiar, en las actividades: a) agrícolas (hortalizas para consumo, plantas de vivero para el mercado y residuos de cosecha para el subsistema pecuario); b) pecuario (carne, leche y huevos

para el consumo, leche, huevos y ganado en pie para el mercado y abonos orgánicos para el subsistema agrícola); c) agroforestal (madera para construcciones, cercas y combustible y forraje para el subsistema pecuario), además, flujo de dinero por medio de venta al mercado y trabajos no agropecuarios realizados por la familia que trabajan dentro y fuera de finca. Igualmente, se caracterizaron los SPC a través de aspectos biofísicos, socioeconómicos, componentes bióticos, tecnología y manejo, como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Caracterización de los SPC**

	Características	Asocrecer	Asoproapas	El huerto	Aduc	Agromilko
Biofísicas	altura	2560 m	2180 m	2450 m	1650 m	2300 m
	precipitación	1200 mm	873 mm	873 mm	916	873 mm
	pendiente agrícola	20 - 35 %	30 - 40 %	20 - 30 %	25 - 30 %	20 - 30 %
	pendiente pecuaria	35 - 45 %	30 - 40 %	20 - 30 %	25 - 30 %	20 - 30 %
	tipo de suelo	franco arenoso	franco arcilloso	franco arenoso	franco arenoso	franco arenoso

	Características	Asocrecer	Asoproapas	El huerto	Aduc	Agromilko
Componente biótico	producción	agropecuaria	agropecuaria	agropecuaria	agropecuaria	agropecuaria
	cultivo de interés	papa, tomate,	papa, cebolla,	hortalizas	hortalizas	hortalizas
	especies forestales	8	7	5	5	5
	tipo de bosque	nativo, reforestación				
Socioeconómico	área finca	7,0 ha	1,7 ha	2,5 ha	3,5 ha	1,7 ha
	integrantes	4	6	3	4	5
	mano de obra familiar	90 %	75 %	100 %	100 %	100 %
	tenencia tierra	propia	aparcería	propia	propia	propia
	destino de la producción	100 % plazas de mercado	50 % plazas y 50 % intermediario	70 % cliente final, 30 % plazas mercadeo	30 % cliente final, 70 % plazas de mercado	50 % cliente final, 50 % plazas de mercado
	seguridad alimentaria	30 % excedentes de producción para consumo	20 % excedentes de producción para consumo	22 % excedentes de producción para consumo	22 % excedentes de producción para consumo	10 % excedentes de producción para consumo
Tecnología y manejo	arreglos productivos	franjas, relevo, intercalado	relevo, franjas	franjas, relevo, barreras vivas	franjas, relevo, intercalado	relevo, franjas
	preparación del suelo	herramientas convencionales	herramientas convencionales	herramientas conservacionistas	herramientas conservacionistas	herramientas convencionales
	tipo de tracción	tracción mecánica, tracción animal	tracción animal	tracción mecánica, tracción animal	tracción mecánica, tracción animal	tracción mecánica, tracción animal
	uso de abonos orgánicos	abonos orgánicos, fertilización química	abonos orgánicos, fertilización química	abonos orgánicos, biofertilizantes,	abonos orgánicos, biofertilizantes,	abonos orgánicos, biofertilizantes,
	control de plagas	manejo químico, control cultural				

A partir de la determinación de los puntos críticos, se definieron criterios de diagnóstico e indicadores para evaluación, a partir de los siete atributos de MESMIS, con base en las dimensiones de la sustentabilidad (económica, social y ambiental). Este proceso garantiza una relación coherente entre los indicadores y los atributos generales, diseñados para un sistema de manejo concreto, en un lugar y tiempo

determinados, con un entorno específico. La Tabla 3 ilustra los indicadores de medición para evaluar la sustentabilidad de los SPC. Cada uno de los siete atributos de sustentabilidad está compuesto por una serie de indicadores y métodos de medición; la calificación de la escala establecida {5}, {3}, {1} representa el desempeño del indicador.

**Tabla 3. Atributos e indicadores de medición**

Atributos	Indicadores	Método de medición	Escala
PRODUCTIVIDAD	Producción por ha de cultivos	kg/ha agrícola	{5} ≥ promedio nacional {3} ≥ promedio departamental {1} ≥ promedio regional
	Carga por ha sistema ganadero	Unidades de gran ganado (UGG)/ha	{5} ≥ 2 {3} ≥ 1 {1} ≤ 1
	Rentabilidad	Utilidad/Ventas*100	{5} ≥ 6 % {3} ≥ 5 % {1} ≤ 4 %
ESTABILIDAD, RESILIENCIA, CONFIABILIDAD	Educación formal y no formal de la familia	Existencia de centros educativos en la vereda	{5} ≥ 5 {3} ≥ 3 {1} ≤ 1
	Medidas de conservación de suelos	% área con prácticas agroecológicas	{5} ≥ 80 % {3} ≥ 50 % {1} ≤ 49 %
	Evolución de malezas problema	% de potreros invadidos por gramilla	{5} ≤ 10 % {3} ≥ 20 % {1} ≥ 50 %
	Grado de cobertura del suelo	% de predio con suelo cubierto por año	{5} ≥ 80 % {3} ≥ 50 % {1} ≤ 49 %
	Calidad del agua	Grado de potabilidad del agua	{5} ≥ 80 % {3} ≥ 50 % {1} ≤ 49 %
	Prácticas manejo de residuos	% de envases que se reciclan	{5} ≥ 80 % {3} ≥ 50 % {1} ≤ 49 %

Atributos	Indicadores	Método de medición	Escala
EQUIDAD	Toma de decisiones conjuntas	Participación en la toma de decisiones grupales	{5} Núcleo familiar {3} Esposos/ pareja {1} Administrador
ADAPTABILIDAD	Distribución del ingreso	Concentración de ingreso según rubros	{5} ≥ 3 rubros {3} ≥ 2 rubros {1} ≤ 1 rubro
	Integración vertical	Asociación eslabones cadena productiva	{5} ≥ 5 eslabones {3} ≥ 3 eslabones {1} ≤ 1 eslabón
	Presencia y acceso al mercado	Grado de control sobre los precios de los productos	{5} Fijan precios con convenios {3} Posibilidad de negociación {1} A través oferta y demanda
	Disponibilidad mano de obra calificada	Requerimientos mano de obra en labores de finca / agroecosistema	{5} Mano de obra familiar + jornal + minga {3} Familiar + jornal {1} Mano de obra jornal
	Diversidad animal presente	Composición ganadera (inventario)	{5} Especies mayores y menores {3} Especies menores {1} Sin inventario animal
	Diversidad vegetal cultivada	Composición agrícola	{5} Cultivos permanentes + transitorios {3} Cultivos transitorios {1} Monocultivo
AUTOGESTIÓN	Capacidad financiera	Capital de giro	{5} Capital propio {3} Capital familiar + propio {1} Entidades financieras
	Autoabastecimiento	Autoabastecimiento de semillas e insumos	{5} De finca {3} De finca y casa comercial {1} Casa comercial
	Pertenencia a grupos y redes locales	Número de grupos asociativos que integra	{5} ≥ 5 {3} ≥ 3 {1} ≤ 1
	Participación actividades de capacitación	Capacitación recibida año/persona	{5} ≥ 5 {3} ≥ 3 {1} ≤ 1

Fuente: elaboración propia a partir (7).

## Presentación e integración de resultados

Los resultados se presentan en la Tabla 4, la cual contiene la puntuación respectiva según el indicador. El grado máximo de sustentabilidad se obtiene cuando todos los indicadores adquieren un valor igual a cinco. Se puede observar que los SPC independiente del municipio de origen, su desempeño general en la medición de indicadores fue calificado con tres, posiblemente por la avanzada edad de los campesinos, plantaciones y semovientes sobreexplotados, reducción en la disponibilidad de mano de obra en su entorno,

sobrecosto de insumos, fraccionamiento de tierra y crecimiento demográfico.

No obstante, los indicadores rentabilidad (relación de los beneficios que suministra la producción agropecuaria con la inversión realizada); distribución del ingreso (los SPC emplean los ingresos para educación, vivienda, salud, mantenimiento de finca y seguridad alimentaria) y la participación en actividades de capacitación (utilizadas para tecnificación de finca, asociatividad, comercialización, fortalecimiento productivo), fueron calificados con puntuaciones  $\geq 3$  y  $\leq 5$ .

**Tabla 4. Resultados indicadores de sustentabilidad en los SPC en Sumapaz, Cundinamarca**

Atributo	Indicador	SPC				
		Asocrecer	Asoproapas	El huerto	Aduc	Agromilko
PRODUCTIVIDAD	Producción por ha de cultivos	3	5	3	5	3
	Carga por ha sistema ganadero	3	5	3	5	3
	Rentabilidad	5	5	3	5	3
ESTABILIDAD, RESILIENCIA, CONFIABILIDAD	Educación formal y no formal	3	3	5	3	5
	Medidas de conservación de suelos	3	5	3	3	3
	Evolución de malezas	3	5	3	3	3
	Grado de cobertura del suelo	3	3	3	3	3
	Calidad del agua	3	3	3	3	3
	Prácticas manejo de residuos	3	3	3	3	3
EQUIDAD	Toma de decisiones conjuntas	5	3	5	3	5
ADAPTABILIDAD	Distribución del ingreso	5	5	5	3	3
	Integración vertical	1	1	1	3	3
	Presencia y acceso al mercado	3	3	3	3	3
	Disponibilidad mano de obra	3	3	3	3	3
	Diversidad animal presente	3	3	3	3	1
	Diversidad vegetal cultivada	3	3	5	3	3

Atributo	Indicador	SPC				
		Asocrecer	Asoproapas	El huerto	Aduc	Agromilko
AUTOGESTIÓN	Capacidad financiera	3	3	3	3	3
	Autoabastecimiento	1	3	5	3	3
	Pertenencia a grupos locales	3	1	3	1	3
	Participación actividades de capacitación	5	5	5	5	5
PUNTAJE TOTAL		64	70	70	66	64

Con base en los indicadores de medición, se interpreta la dinámica productiva y económica de los SPC. En la Tabla 4, se aprecia la evaluación de indicadores en la cual se obtuvieron resultados con puntajes de 64 a 70 puntos de 100 posibles; es decir, que los SPC son “medianamente sustentables”. Los resultados indican la importancia del análisis y estudio de los SPC, a partir de la identificación de indicadores de sustentabilidad <sup>(6)</sup>, que permitan indagar las principales falencias que afectan negativamente la agricultura, según la carencia de cada territorio, para satisfacer las necesidades presentes sin perturbar las posibilidades futuras y así fortalecer la economía del sector primario a través de una producción agroecológica, con efectos positivos para la familia rural, con precios justos y razonables, tanto en la compra como la venta <sup>(13)</sup>.

## Discusión

Con relación a los resultados de la investigación, el 100 % de los SPC fueron evaluados como “medianamente sustentables”; posiblemente, se deba a la tenencia de tierra, prácticas agropecuarias instauradas, saberes culturales y área de terreno establecido para la producción agropecuaria. Según estudios <sup>(6)</sup>, está comprobada

la precisión de los indicadores seleccionados y medidos por los propios agricultores. En este sentido, se sostiene que la producción campesina opera con pocos recursos de tierra, mano de obra, capital e información <sup>(16)</sup>.

En cuanto a los indicadores que determinan la sustentabilidad de los SPC, se menciona que existen una serie de cualidades ecológicas, ambientales y culturales que contribuyen a una producción sustentable <sup>(14)</sup>, por esto, se evaluaron los atributos del MESMIS como la productividad, en la cual la provincia del Sumapaz establece una producción agropecuaria diversificada en hortícola y frutícola como arveja, papa, fríjol, tomate de árbol y mora de castilla, cultivos representativos con producción superiores al promedio nacional <sup>(6)</sup>; de ahí que, los sistemas agrícolas representan uno de los sectores que más incidencia tiene en el PIB de un país, especialmente el caso de Sumapaz, donde el sector agropecuario es punta de lanza para la economía regional <sup>(6)</sup>. Por tanto, la agricultura se posiciona como una de las actividades más atractivas financieramente, dada su participación en la generación de recursos en todas sus dimensiones (ambientales, económicas y sociales) <sup>(13)</sup>.

En los atributos estabilidad, resiliencia y confiabilidad, los SPC adoptan mecanismos de contingencia que garantizan un flujo permanente de oferta y demanda de productos y servicios en cada subsistema. Dicha adaptación e implementación de prácticas agropecuarias se retribuye en la mejora de los procesos productivos, aumentando la cantidad, calidad y frecuencia de sus productos, lo cual genera un aumento de ingresos, adecuación de infraestructura, compra de tecnología, materia prima e insumos agropecuarios entre otros, además, de brindar bienestar a los asociados y núcleos familiares<sup>(16)</sup>.

La percepción de los campesinos indica la presencia de conflictos, los cuales están asociados a épocas de sequía e insuficiencia hídrica, que restringe la producción agropecuaria y sitúa en riesgo la permanencia de los SPC. Dichos riesgos se relacionan con acontecimientos adversos generados por fuertes precipitaciones que provocan derrumbes y dificultan el transporte y la comercialización de los productos agropecuarios<sup>(10)</sup>. De igual manera, los efectos antrópicos causados por la ampliación de la frontera agrícola, que ocasionan erosión y deforestación en zonas de ladera, cerros y relictos de bosque <sup>(17)</sup>.

En el atributo equidad, los integrantes de cada SPC realizan toma de decisiones conjuntas, se expresa la vinculación de la familia rural a organizaciones comunitarias, en las cuales el 100 % de los SPC pertenece a juntas de acción comunal y asociaciones sin ánimo de lucro. Por esto, se forjan uniones temporales de la comunidad para procesos agropecuarios internos y externos en la finca, se mantienen lazos de unión y se favorece la participación de los agricultores en varios sucesos culturales, que generan resiliencia mediante la incorporación de prácticas y saberes ancestrales en el

conocimiento geográfico de la zona, limitaciones y potencialidades <sup>(18)</sup>.

En el atributo adaptabilidad, el 100 % de los SPC distribuye los ingresos para mejoramiento de infraestructura, optimización de capital (materia prima, insumos, infraestructura), adquisición de tecnología y nuevas especies vegetales y animales, las cuales producen y comercializan en los grupos asociativos de trabajo con presencia en mercados regionales y nacionales; dichos productos agropecuarios tienen como finalidad la venta de los excedentes para salvaguardar su estabilidad socioeconómica <sup>(15)</sup>, lo cual minimiza el abastecimiento de alimentos externos y empleo por jornal, haciendo a estos sistemas productivos menos vulnerables<sup>(6)</sup>.

Así mismo, se evidencia una diversificación de los sistemas de producción agrícola, al pasar de monocultivos a cultivos asociados, en los cuales se observan estrategias para el manejo y uso del suelo como la labranza mínima y las prácticas de incorporación de materia orgánica, a través de la implementación de policultivos, sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles, presentando así un cambio sustancial en transición de nuevas variedades de cultivos, fechas de siembra y diversificación de la producción<sup>(20)</sup>.

En cuanto a la producción pecuaria, Sumapaz presenta un inventario de ganadería bovina de carne, leche y doble propósito, ganadería porcícola, avicultura de postura y engorde; sin embargo, la ganadería tradicional está ligada a la producción intensiva, que genera un manejo inadecuado y ocasiona degradación en las praderas, compactación del suelo y contaminación de fuentes hídricas, lo cual refuerza la necesidad de evaluar la eficiencia de los sistemas de producción agropecuarios en relación con la sustentabilidad <sup>(19)</sup>. No obstante, el subsistema pecuario manejado en óptimas

condiciones permite el aprovechamiento de la energía y la materia orgánica, ya que los abonos y residuos producidos por la carga animal se transfieren a praderas y cultivos <sup>(21)</sup>.

Finalmente, el atributo autogestión, en el cual el 100 % de los SPC participa con diferentes instituciones como el Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena), la Universidad de Cundinamarca, las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), la Asociación de Productores Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol) y los comités de cafeteros. Estas instituciones realizan apoyo a los productores locales con asistencia técnica y formación complementaria en actividades de producción y transformación <sup>(13)</sup>, las cuales mejoran las condiciones de vida de la familia rural <sup>(6)</sup>.

## Conclusiones

Los SPC del Sumapaz se caracterizan por conservar prácticas culturales adaptadas al medio, alta diversidad de cultivos y baja dependencia de insumos externos; el estudio evidencia que, con sus modos de vida tradicional y saberes culturales, la influencia externa de tecnología, cambios socioculturales, políticas regionales y nacionales desfavorables, y la falta de acceso al mercado, generan una alta dependencia externa de productos o servicios y trae consigo consecuencias ecológicas, económicas y sociales. Estas prácticas culturales desaparecen y con estas la diversidad de cultivos, especies, semillas, conocimiento y saberes culturales.

En este sentido, la investigación evaluó la sustentabilidad de los SPC de la región del Sumapaz en Cundinamarca y su impacto económico, social y productivo, identificando

factores claves que les permiten utilizar la eficiencia de cada sistema de producción como herramienta para afrontar los cambios en los procesos de transición de prácticas convencionales a agroecológicas, dinamismo de los mercados y adopción de nuevas formas de producción con criterios de sustentabilidad.

La evaluación de los indicadores de sustentabilidad a través de los atributos productividad, equidad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad y autodependencia manifiestan una proyección agroempresarial para los SPC, en los cuales se destaca la transformación de ideas en negocios, mayor bienestar y progreso social, poder de negociación con clientes y proveedores, disminución de costes, mejoramiento de la productividad, mayor eficacia y eficiencia de los sistemas productivos, facilidad de acceso a tecnología y mejoramiento y aprovechamiento del proceso de aprendizaje, lo que se traduce en mejoramiento de las condiciones de vida de la familia campesina y por ende un crecimiento económico de la región.

En definitiva, el MESMIS es una estructura flexible y adaptable a diferentes condiciones económicas, técnicas y de acceso a información, ya que parte de un enfoque sistémico y multidimensional. Los SPC fueron evaluados con siete atributos y veinte indicadores, lo cual permitió identificar los diferentes subsistemas y sus respectivas interrelaciones, ya que se tiene a la familia como unidad de control, lo cual genera interacción de flujos internos y externos de autoabastecimiento y la medición de sustentabilidad. La integración y presentación de los resultados de los indicadores permitió observar los criterios de diagnóstico y atributos agrupados, en los que se puede apreciar el progreso o retroceso en finca y la dinámica e interdependencia de las variables en el sistema.

## Agradecimientos

En estudio se realizó gracias al apoyo de la Universidad de Cundinamarca, mediante el proyecto de investigación titulado “La sustentabilidad de la Agricultura Familiar Agroecológica (AFA) frente a la variabilidad climática en Sumapaz (Cundinamarca)”.

## Referencias

1. Fonseca-Carreño JA, Cleves-Leguizamo JA, León-Sicard T. Evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas familiares campesinos en la microcuenca del río Cormechoque (Boyacá). *Ciencia y Agricultura*. 2016;13(1):29-47. <https://doi.org/10.19053/01228420.4804>
2. Fonseca-Carreño NE, Moreno MR, Benavides CA. Asociatividad para la administración los sistemas de producción campesina. *Revista Estrategia Organizacional*. 2020;9(1). <https://doi.org/10.22490/25392786.3644>
3. Carreño N. Sustentabilidad en la agricultura familiar agroecológica: mora de castilla en Sumapaz. *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro*. 2019; 11(11):12-22. <https://doi.org/10.22463/24221783.2516>
4. Carreño NE, Baquero ZY. Propuesta de indicadores para evaluar la sostenibilidad en agroecosistemas agrícola-ganaderos en la región del Sumapaz. *Pensamiento Udecino*. 2019;2(1). Disponible en: [http://200.14.47.231/index.php/Pensamiento\\_udecino/article/view/38](http://200.14.47.231/index.php/Pensamiento_udecino/article/view/38)
5. Salomón AB. Construcción de indicadores agrarios para medir la sostenibilidad de la producción de cacao en El Oro, Ecuador. 2018. Tesis doctoral. Universidad de La Coruña. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/20304>
6. Albarracín-Zaidiza J, Fonseca-Carreño NE, López-Vargas LA. Las prácticas agroecológicas como contribución a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Caso provincia del Sumapaz. *Ciencia y Agricultura*. 2019;16(2):39-55. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9139>

7. Altieri M, Toledo V. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*. 2011;38(3):587-612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>
8. Bermúdez C, Arenas NE, Moreno V. Caracterización socioeconómica y ambiental en pequeños y medianos predios ganaderos en la región del Sumapaz, Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 2017;20(1):99-208. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.76>
9. Geilfus F. 80 herramientas para el desarrollo participativo. IICA, 2002. Disponible en: <http://beu.extension.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/209/80%20herramientas%20para%20el%20desarrollo%20participativo..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Carreño NE, Baquero ZY. Sostenibilidad como estrategia de competitividad empresarial en sistemas de producción agropecuaria. *Revista Estrategia Organizacional*. 2019;8(1):9-26. <https://doi.org/10.22490/25392786.3168>
11. Masera O, Astier M, López-Ridaura S. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. 2000. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Marta\\_Astier/publication/41516515\\_Sistematizacion\\_y\\_analisis\\_de\\_los\\_estudios\\_de\\_caso\\_MESMIS\\_lecciones\\_para\\_el\\_futuro/links/57068c3f08ae0f37fee1e16a.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marta_Astier/publication/41516515_Sistematizacion_y_analisis_de_los_estudios_de_caso_MESMIS_lecciones_para_el_futuro/links/57068c3f08ae0f37fee1e16a.pdf)
12. Carreño NE. Caracterización de agroecosistemas campesinos en el municipio de Cabrera en la provincia del Sumapaz (Cundinamarca). *Pensamiento Udecino*. 2019;3(1):49-60. <https://doi.org/10.36436/23824905.157>
13. Vargas C, Sicard T. Resiliencia de sistemas agrícolas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima, Cundinamarca (Colombia). *Agroecología*. 2013;8(1):21-32. Disponible en: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182931>
14. Simanca M, Montoya L, Bernal CA. Gestión del conocimiento en cadenas productivas. El caso de la cadena láctea en Colombia.

Información Tecnológica. 2016;27(3):93-106. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300009>

15. Pita YX, Rodríguez BY, Carreño JA. Caracterización y tipificación de los atributos ecosistémicos de la agricultura familiar campesina en la microcuenca del río Cormechoque (Boyacá). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 2018;9(2):49-62. <https://doi.org/10.22490/21456453.2134>
16. Carreño N, Merchán J, Baquero Z. La agricultura familiar agroecológica, una estrategia de desarrollo rural incluyente. Una revisión. *Temas Agrarios*. 2019;24(2):96-107. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.1356>
17. Hilje, L. En busca de un enfoque preventivo para el manejo del barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella*). *Revista de Ciencias Ambientales*. 2020;54(2):211-229. <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.13>
18. Escobar EA, *et al.* Memorias IV Congreso Internacional en Gestión Organizacional. La Empresa del Siglo XXI. 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12558/3246>
19. Carreño NE, Salazar HK, Niño YS. Evaluación de sustentabilidad en agroecosistemas campesinos en el municipio de Cabrera, provincia del Sumapaz. *Pensamiento Udecino*. 2020;4(1):49-66. <https://doi.org/10.36436/23824905.261>
20. Carreño N. Evaluación de los servicios ecosistémicos de provisión bajo criterios de sostenibilidad financiera y sustentabilidad ambiental en la provincia del Sumapaz, departamento de Cundinamarca. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2019;5(1):1-2. <https://doi.org/10.36436/24223484.189>
21. Fonseca-Carreño NE, Vega-Baquero ZY, Rodríguez-Padilla MY. Sustentabilidad en la agricultura familiar agroecológica, estudio de caso: mora de Castilla en la provincia del Sumapaz. *Revista Eficiencia*. 2019;1(4):23-32. Disponible en: <http://ediciones.ascolfa.edu.co/index.php/eficiencia/article/view/30>



# Efecto y mitigación de la toxicidad por arsénico y cadmio en cultivo de arroz

Lady Viviana Bayona-Penagos<sup>1\*</sup>



Cómo citar este artículo: Bayona-Penagos LV. Efecto y mitigación de la toxicidad por arsénico y cadmio en cultivo de arroz. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2020;6(2) p 49-70. DOI: xxx-xxx

<sup>1</sup> Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, extensión Facatativá, Cundinamarca (Colombia).

\*Autora de correspondencia:  
lbyona@ucundinamarca.edu.co

## Resumen

El arroz es un cereal básico en la alimentación de millones de personas en el mundo. Sin embargo, las malas prácticas agrícolas e industriales han aumentado la contaminación de suelos agrícolas con metales pesados como el arsénico y el cadmio, los cuales son considerados tóxicos no solo para las plantas sino para los humanos. Los metales pesados se bioacumulan en los organismos y se mueven a través de las cadenas tróficas hasta llegar a las personas y generar graves afectaciones a su salud. El arsénico y cadmio pueden afectar la fertilidad del suelo, disminuir las actividades microbianas, la biodiversidad y los rendimientos de los cultivos. Las principales afectaciones en las plantas son las alteraciones en la morfología y fisiología, pues el arsénico y el cadmio están relacionados con el estrés oxidativo en las células, el cual provoca daño de la pared celular por la

**Palabras clave:** toxicidad, estrés oxidativo, contaminación, metales pesados y bioacumulación.

**Keywords:** Toxicity, Oxidative stress, Contamination, Heavy metals and bioaccumulation.

peroxidación de lípidos. Este documento expondrá los mecanismos de transporte y de defensa de las plantas para mitigar los efectos adversos de la toxicidad del arsénico y cadmio. Además, se muestran algunas técnicas para la remediación de metales pesados, las cuales incluyen métodos físicos, químicos y biológicos. La desintoxicación por metales pesados en suelos se enfoca por un lado en su remoción y, por el otro, en la disminución de su biodisponibilidad y movilidad tanto en el suelo como en la planta.

## Abstract

Rice is a staple food for millions of people around the world, but bad agricultural and industrial practices have increased the contamination of agricultural soils with heavy metals such as arsenic and cadmium, which are considered toxic, not only for the plants but for the humans. Heavy metals bioaccumulate in the body and move through the trophic chains to reach people and cause serious damage to their health. Arsenic and cadmium can affect soil fertility, decrease microbial activities, biodiversity and crop yields. The main affectations in the plants are the alterations in the morphology and physiology, since the arsenic and the cadmium are related to the oxidative stress in the cells, which causes damage of the cell wall by the peroxidation of lipids. This review analyzes the transport and defense mechanisms of the plants, to mitigate the adverse effects of the toxicity of arsenic and cadmium. In addition, some techniques for the remediation of heavy metals are shown, which include physical, chemical and biological methods and its strategy is based on two approaches: the removal of heavy metals and the reduction of bioavailability and mobility.

## Introducción

El descontrolado crecimiento de la población mundial viene acompañado de una alta demanda de alimentos. El arroz es un cereal básico en la dieta de millones de personas en el mundo y es considerado como un alimento importante en la ingesta de arsénico (As) y cadmio (Cd) <sup>(1)</sup>

El rendimiento en este cultivo se ha incrementado debido a avances tecnológicos, sin embargo,

algunas veces se presentan pérdidas por estrés abiótico y biótico. Como ejemplos de estreses abióticos está la sequía, el calor, la salinidad de suelos, las concentraciones altas de metales pesados y la deficiencia de nutrientes asociados en la disminución de los rendimientos del cultivo de arroz <sup>(2)</sup>. Por consiguiente, la contaminación de los suelos por metales pesados amenaza la seguridad alimentaria de los países y perjudica la salud humana y la sostenibilidad agrícola a largo plazo en los cultivos de arroz <sup>(3)</sup>.

Algunos de los factores que contribuyen a la contaminación del suelo por metales pesados son la minería ilegal, el procesamiento industrial, el uso de fertilizantes sintéticos, vertimientos de basura o el uso de pesticidas <sup>(4)</sup>. Entre los metales pesados se encuentran el arsénico y el cadmio, pues son considerados como toxinas y cancerígenos ambientales muy peligrosos, ya que estos elementos se absorben por las raíces de las plantas, son transportados y adheridos a sus órganos estructurales. Luego estos metales pasan al ser humano cuando son ingeridos como alimento, lo que provoca serios problemas de salud. Debido a lo anterior, el presente trabajo revisa en literatura cuáles son las afectaciones de estos metales pesados sobre el cultivo de arroz, y algunos tratamientos encontrados para mitigar su estrés.

## Metales pesados

De acuerdo con la tabla periódica, los metales pesados (MP) son aquellos elementos con una densidad mayor a 4 g/cm<sup>3</sup>, y masa y peso atómico por encima de 20 <sup>(5)</sup>. Se consideran como metales pesados: zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), manganeso (Mn), mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), plata (Ag), arsénico (As) y cromo (Cr) <sup>(6)</sup>.

### Efectos de los metales pesados en las plantas

Los MP se clasifican en dos grupos de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas: el primero corresponde a metales redox como hierro (Fe), cromo (Cr), cobre (Cu) y manganeso (Mn). Este grupo causa estrés oxidativo en las plantas al desequilibrar los contenidos de prooxidantes y antioxidantes. Por otro lado, el grupo de metales

no redox, causan indirectamente el estrés por oxidación mediante la disminución de la glutamina, inhibiendo la actividad de las enzimas antioxidantes o la unión del grupo sulfhidrilo a las proteínas <sup>(2)</sup>. Uno de los principales efectos negativos de los metales pesados en las plantas es la limitación de su crecimiento. La contaminación de MP puede afectar la fertilidad del suelo, disminuir las actividades microbianas, la biodiversidad, los rendimientos de los cultivos y ser riesgosa para la salud humana debido a la contaminación de alimentos por estos elementos <sup>(7)</sup>. A continuación, se exponen sus efectos negativos:

### Arsénico

El arroz es una planta muy sensible a la toxicidad del arsénico, pues reduce significativamente la altura de la planta, la biomasa de brotes y el rendimiento de grano <sup>(8)</sup>. El Arsénico (As) provoca el retardo en el encabezado, la reducción de la altura de la planta y la disminución del rendimiento del grano; lo anterior se conoce como la enfermedad de la cabeza recta (SHD) del arroz. A mayor concentración de As en el suelo, es mayor la severidad de SHD en la planta, lo que provoca una pérdida de rendimiento en el cultivo de arroz del 17 al 100 % debido a la formación de espiguillas estériles; esto sugiere que el As podría interferir con la formación del tubo polínico. Otra afectación del As es la disminución significativa de la clorofila-a y la clorofila-b en las hojas de arroz <sup>(8)</sup>.

### Efecto del arsénico en la planta

Dentro de los efectos de la toxicidad del arsénico en la morfología de las plantas (Figura 1), se encuentra la reducción del número de hojas, clorosis, necrosis de la hoja y defoliación. Con respecto a la afectación fisiológica, está

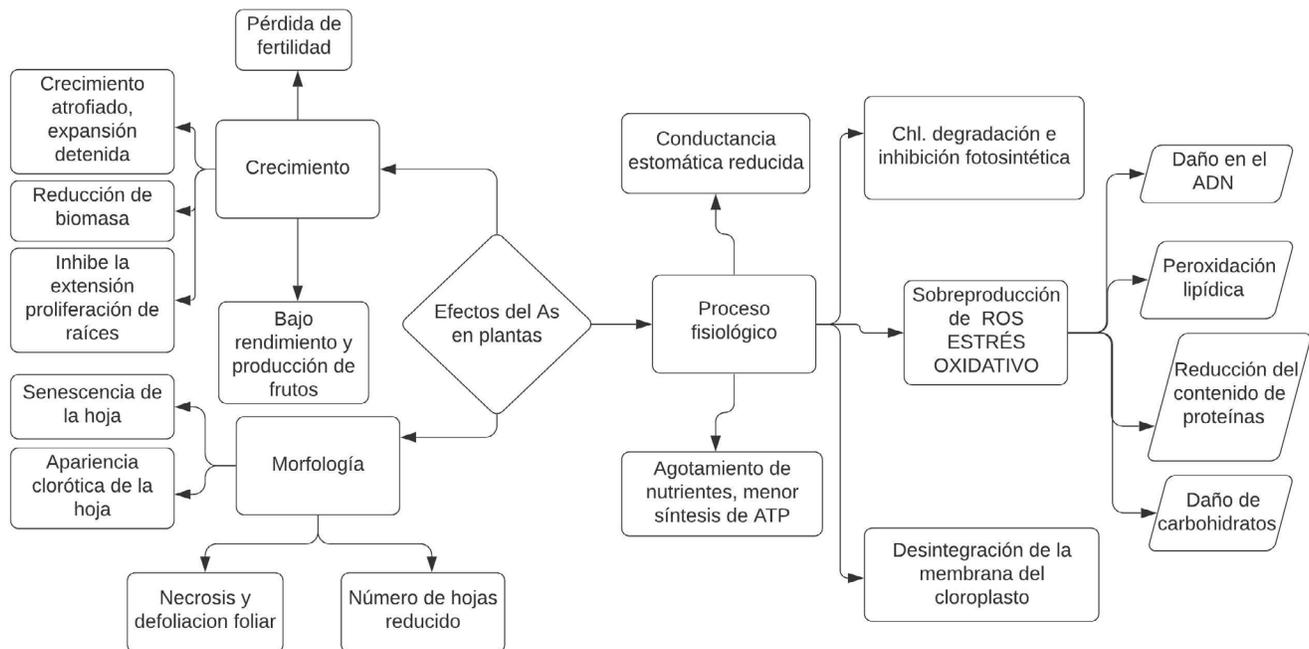


Figura 1. Efectos del arsénico en la morfología y fisiología de la planta <sup>(9)</sup>

la disminución del crecimiento de brotes y raíces, conductancia estomática restringida y absorción de nutrientes, degradación de la clorofila, producción limitada de biomasa y rendimiento. Respecto al daño bioquímico, se tiene la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) <sup>(9)</sup>.

### Efecto del arsénico en la fotosíntesis

El As afecta la tasa fotosintética de las plantas, pues a concentraciones muy altas, el As altera la membrana de los cloroplastos y desestabiliza su funcionamiento fotosintético, al disminuirse la síntesis de pigmentos y las concentraciones de clorofila a y b y clorofila total <sup>(10)</sup>. A causa del daño anteriormente mencionado en el cloroplasto, se reduce la velocidad de fijación del dióxido de carbono y también la funcionalidad del fotosistema II (PS-II) <sup>(11)</sup> 80 and 160 mg (As. Otra afectación de As, es la disminución

de la capacidad de disipación de calor de una planta, lo que promueve los cambios en las tasas de intercambio de gases y la emisión de fluorescencia; esto provoca una disminución del crecimiento de la hoja y de la raíz, acompañada de marchitamiento y una coloración violeta en las hojas <sup>(9)</sup>.

### Efecto del arsénico en la síntesis de ATP

El As (V) en las plantas sustituye al fosfato, lo que altera la fosforilización oxidativa y la fotofosforilación, provocando una disminución de la capacidad de las células para producir ATP en la membrana plastídica de los tilacoides y de la membrana mitocondrial. Además, otros procesos sensibles a la toxicidad de As (V), son el metabolismo del ARN y del ADN, el metabolismo de los fosfolípidos, la fosforilación oxidativa, la glucólisis y la fosforilación o desfosforilación de proteínas <sup>(12)</sup>.

## Efecto del arsénico en la integridad de la membrana

El daño de membranas celulares por el As es causado por el desequilibrio en la absorción de nutrientes y agua en las células, lo cual provoca una disminución en la conductancia estomática. En un estudio con plantas de avena, el As redujo drásticamente la tasa de transpiración, debido a la alteración de la absorción de nutrientes y el transporte de agua. En plántulas de *Pteris vittata L.* y *Pteris ensiformis L.*, el As redujo de forma significativa el índice de estabilidad de la membrana celular. El daño de la membrana celular está asociado al aumento del malondialdehído (MDA), un producto de reacción de peroxidación de lípidos en la membrana<sup>(9)</sup>.

## Cadmio

Dentro de los efectos del Cd en las plantas se tiene: el retraso del crecimiento y la elongación de las raíces, cambios en el funcionamiento de la membrana, inhibición de la apertura estomática, inhibición de la síntesis de clorofila, alternancia de la actividad fotosintética, clorosis, reducción del contenido de carotenoides, disminución de la tasa de transpiración, inhibición de la germinación del polen y el crecimiento del tubo polimínico, aumento de los niveles de peroxidación lipídica, estrés oxidativo por la formación de ROS, reducción de enzimas antioxidantes, inhibición de la fosforilación oxidativa mitocondrial, interferencia en la toma, transporte y uso de macro y micronutrientes como Fe, Mn y Zn, incremento en la senescencia celular, reducción en el intercambio de  $H^+/K^+$  y la actividad de ATPasa, de membrana plasmática y polimorfismos en el ADN<sup>(13,14)</sup>.

## Cambios estructurales y morfológicos

Entre los efectos del Cd más evidentes por toxicidad en la planta está el retraso del crecimiento, alternancia en la actividad fotosintética, inhibición de la apertura estomática, actividades enzimáticas, metabolismo de las proteínas y funcionamiento de la membrana<sup>(14)</sup>. El primer órgano de la planta en afectarse son las raíces, pues los iones metálicos se acumulan en una mayor cantidad en la raíz que en los brotes. La toxicidad de Cd inhibe el crecimiento de las raíces, pues se altera su morfología, al volverlas mucilaginosas, pardas y descompuestas; asimismo, reduce la formación de raíces laterales, produce coloración marrón, rigidez y retorcimiento de la raíz principal. Además, hay una división desordenada y un crecimiento anormal de células epidérmicas y corticales en la región apical. El Cd daña los nucléolos en las células en la punta de la raíz y altera la síntesis de ARN al inhibir la actividad de la ribonucleasa en el arroz<sup>(14)</sup>.

## Efectos sobre procesos fisiológicos

La toxicidad por Cd daña el fotosistema II (PSII). Su daño se identifica por los cambios de la clorofila en las estructuras de fluorescencia. Adicionalmente, el Cd deteriora las enzimas de ribulosa 1,5-bisfosfato carboxilasa (RuBisCO) y fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPCase), las cuales participan en la fijación de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). La actividad de RuBisCO se disminuye debido a los cambios en su estructura, reemplazando los iones Mg, que son los cofactores cruciales de las reacciones de carboxilación, y se desplazan hacia reacciones de oxigenación<sup>(14)</sup>.

Con relación a la nutrición mineral de la planta, el Cd afecta la absorción, el transporte y la distribución de micro y macronutrientes como calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), hierro (Fe), molibdeno (Mo), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B) y cobre (Cu) en plantas como la remolacha azucarera y la cebada. El Cd genera cambios en la composición de lípidos y ácidos grasos, lo que altera cambios en las membranas <sup>(14)</sup>.

### Estrés oxidativo

La toxicidad por Cd está relacionada con el estrés oxidativo en las células, mediante la generación de ROS y alterando la actividad de las enzimas antioxidantes. Este tipo de estrés genera daño celular por la peroxidación de lípidos, pues el Cd al ser un metal no redox, no puede realizar transferencias de un solo electrón y no genera el anión superóxido ( $O_2^-$ ), el oxígeno singlete ( $1O_2$ ), el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) o los radicales hidroxilos ( $OH^-$ ), pero induce estrés oxidativo porque interfiere con los sistemas de defensa antioxidantes de la planta. Además, estimula la Nicotinamida-Adenina-Dinucleótido-Fosfato (NADPH) oxidasa en los peroxisomas mediante la acumulación de peróxido de hidrógeno, seguido de la acumulación de hidroperóxido de ácido graso y oxígeno celular (15). Dependiendo de la concentración de Cd en especies como *P. sativum*, *Glycine max*, *Oryza sativa* y *Arabidopsis*, se alteró el funcionamiento de los eliminadores de radicales libres como la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT), peroxidasa de ascorbato (APOX), mono-dehidroascorbato reductasa (MDHAR), deshidroascorbato reductasa (DHAR), peroxidasa (POD) y glutatión reductasa, y se observó glutatión no enzimático (GSH) y ácido ascórbico (AsA) <sup>(14)</sup>.

### Factores de contaminación de MP

La revolución industrial y el crecimiento exponencial de la población mundial son los principales causantes del suministro de metales pesados al suelo. Actividades como la minería, los distintos procesamientos industriales, los automóviles y las aplicaciones de agroquímicos como los fertilizantes sintéticos, tienen componentes de metales pesados como el arsénico (As), mercurio (Hg), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn). Otra fuente de contaminación de MP es la irrigación de cultivos con agua contaminada o no tratada en los países en desarrollo <sup>(2)</sup>. Los MP al no ser degradables permanecen por muchos años en el suelo <sup>(16)</sup>.

En el contexto colombiano, en el 2017 se realizó una evaluación de la contaminación de MP en la cuenca del río Sinú, que dio lugar a la principal fuente de contaminación por actividades antropogénicas asociadas a actividades mineras, aplicaciones de fertilizantes, pesticidas y fungicidas con MP. La concentración promedio de Cd fue de 0.040 mg/kg sin exceder los promedios normales mundiales; además, con relación a los arrozales, se encuentra en mayor proporción el mercurio (Hg) con una concentración de 0.159 mg/kg, debido a la deposición de Hg atmosférico, por eventos de inundación desde aguas arriba del río Sinú y actividades relacionadas con la extracción de oro <sup>(17)</sup>. Otro estudio en el distrito de riego ubicado en el municipio de Repelón, del departamento del Atlántico, encontró una concentración baja de Cd (< 0.05 mg/kg), debido a fenómenos de inundación del suelo, ya que al no permitirse una correcta aireación, se incrementa las condiciones de reducción que dan lugar al aumento de la toxicidad por MP (18) Ni, Pb, Cd, Hg, and Zn.

## Arsénico

Está ampliamente presente en la corteza terrestre, como un componente de alrededor de 250 compuestos minerales <sup>(19)</sup>. La fuente natural de As está en el material que se libera en la explosión de volcanes y la meteorización de minerales que contienen As. Estas fuentes contaminan aguas subterráneas <sup>(20)</sup>. Este MP se encuentra principalmente en aguas naturales disueltas como oxianiones con As, en dos estados de oxidación: arsénico trivalente [As (III)] y arsénico pentavalente [As (V)], y es el primero más móvil y tóxico en comparación con el otro, puesto que este último se puede adsorber fácilmente en las superficies de los óxidos de hierro (Fe), aluminio (Al) y manganeso (Mn) en los suelos <sup>(21)</sup>. Las fuentes antropogénicas de contaminación con As en el medioambiente son debidas a los desechos industriales y los pesticidas, lo que aumenta su contacto con humanos y animales a través de la cadena alimentaria <sup>(22)</sup>. Con relación a los cultivos de arroz en Colombia, el As llega a este cultivo, debido al uso de agua contaminada con este metal, lo cual provoca un incremento en su concentración dentro de la planta y del grano. Un estudio realizado en agua usada para riego en el país encontró una concentración de As de 0.0040 mg/L, valor muy bajo con relación al exigido en la Resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Salud y la Protección Social, el cual indica que el nivel de As debe tener una concentración máxima de 0.01 mg/L <sup>(23)</sup>.

## Cadmio

Las fuentes de contaminación por Cd en los suelos están relacionadas con actividades antropogénicas y geogénicas (24). El Cd es transportado por escorrentía y erosión hasta llegar a ríos y océanos, los cuales pueden contaminar tierras cercanas mediante la irrigación de cultivos o por deposición de

sedimentos dragados. El Cd al unirse con otros elementos forma compuestos como cloruros, óxidos y sulfuros, los cuales se combinan con las partículas del suelo permaneciendo en él durante mucho tiempo <sup>(13)</sup>.

## Ingreso, transporte y defensa en las plantas

### Ingreso y transporte

El arroz se cultiva usualmente en suelos inundados, es decir, en condiciones anaeróbicas, lo cual es propicio para la reducción de Arseniato [As (V)] y movilización de arsenito [As (III)] (Figura 2). El arsenito es absorbido por la acción de los transportadores de membrana para silicio, OsLsi1 y OsLsi2 <sup>(27)</sup>.

Con relación al As, este se almacena en especial en las células de la raíz y su translocación a granos y brotes es baja; esto varía entre las especies y dentro de ellas. El As ingresa a las células de la planta mediante los transportadores de fosfato, pues tiene similitud química con el fosfato. En consecuencia, el As puede ocasionar cambios de los procesos y el metabolismo dependiente del fosfato <sup>(28)</sup>. En las plantas, el As (V) ingresa principalmente a las células a través de los transportadores de fosfato, mientras que el arsenito [As (III)] entra por medio de los canales de acuaporinas. Entre los cultivos, se reporta que el arroz tiene una mayor eficiencia en la acumulación de arsénico que otros cereales. Un estudio reportó que la relación de transferencia de arsénico en brotes y suelo en arroz, cebada y trigo fue de 0.8, 0.2 y 0.1 <sup>(28)</sup>.

Por otro lado, el ciclo redox del Fe afecta la disponibilidad y la movilidad del As en los cultivos de arroz, a causa de los ciclos alternos

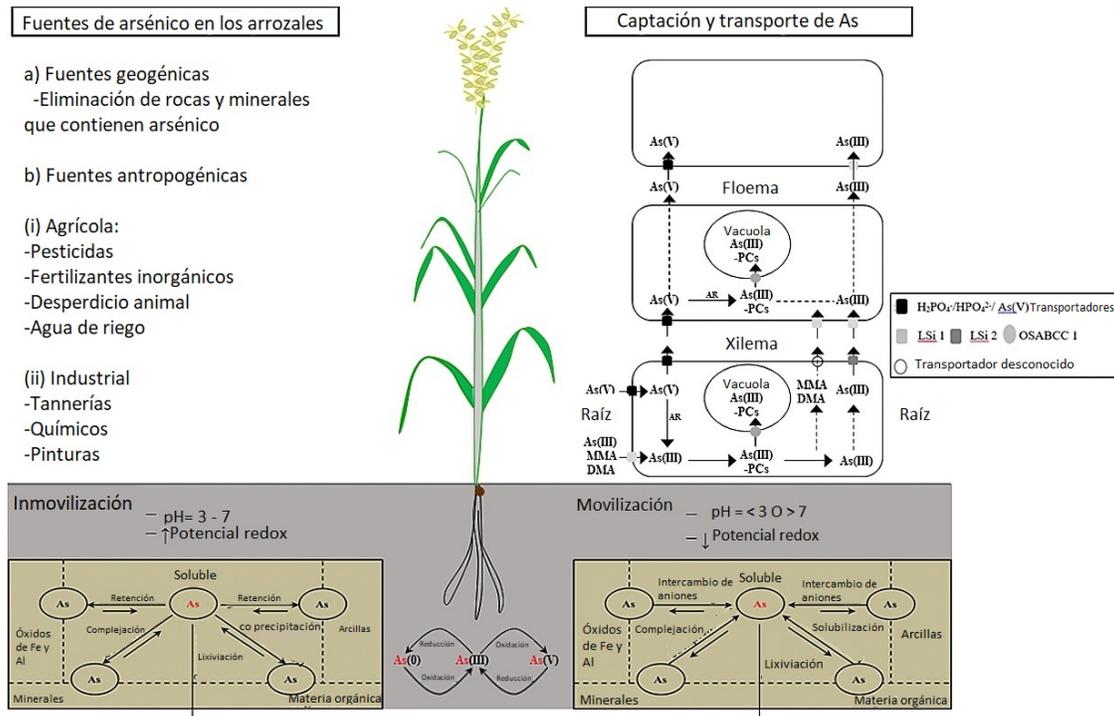


Figura 2. Fuentes y dinámicas de arsénico en los arrozales y su posterior captación y transporte en arroz. [As(III), arsenito; Como (V), arseniato); AR, arsenato reductasa; MMA, monometilarsenato; DMA, dimetilarsenato; PC<sub>s</sub>, phytochelatinas] (19)

de humedecimiento y secado, porque al incrementarse el contenido de Fe, se forma una placa más grande de Fe en la superficie de la raíz alrededor de la rizosfera (29). Las placas de Fe pueden secuestrar As debido a su gran área específica de los óxidos de Fe (oxihidrato) y su coprecipitación con As, pero al estar secuestrado en las placas de Fe, se libera fácilmente en la solución del suelo debido al Fe reductor que se produce en condiciones de inundación. La movilidad y biodisponibilidad de As en el suelo depende de la retención de oxihidróxidos de Fe o de la liberación por disolución reductora de estos (4). Se ha descubierto que los bajos niveles de Fe y Zn aumentan la biodisponibilidad de Cd en el arroz (30).

La absorción del Cd por las plantas está determinada por su disponibilidad en el

suelo contaminado con este elemento (14). El Cd es un metal que se absorbe y transloca rápidamente, pues se transporta a través de la corteza de la raíz a los brotes (14). En la zona radical de la planta, se expresan en una alta proporción los transportadores de manganeso (Mn) OsNRAMP5, por donde puede ingresar el Cd, lo que puede explicar por qué el arroz en apariencia acumula Cd más eficientemente que otros cereales (31). El transportador HMA3 está involucrado en el almacenamiento de Cd en las vacuolas de la raíz en las plantas de arroz; además, la sobreexpresión de esta proteína reduce considerablemente el transporte de Cd a los brotes. En condición de inundación, el arroz acumula muy poco Cd, pues el pH del suelo aumenta hasta la neutralidad y  $Mn^{2+}$  se disuelve en la solución del suelo, lo que inhibe la absorción de Cd. En contraste, en el proceso

de drenaje, el pH del suelo disminuye y el  $Mn^{2+}$  se oxida a  $MnO_2$ , por lo que no hay  $Mn^{2+}$  para competir con la absorción de Cd por las raíces. El arroz usualmente se drena durante la floración, la captación de Cd ocurre principalmente durante el período de llenado del grano. En seguida, el arroz mueve el Cd absorbido a los brotes y al grano muy rápidamente con transferencias del xilema al floema en los nodos basales de las plantas (30). El Cd se une en el suelo superficial, en especial con la fracción orgánica, que es altamente accesible para las plantas que crecen en suelos ácidos y de esta manera se aumenta su solubilidad en los exudados de las raíces; esto ocurre sobre todo como  $Cd^{2+}$  en el suelo (32). El lugar de la planta donde se almacena MP es en la pared celular, pues se considera un mecanismo vital para la tolerancia a MP; esto se debe a su carga negativa(33).

Los comportamientos biogeoquímicos de As y Cd en suelos arroceros son marcadamente diferentes con el potencial redox del suelo, pues tiene el efecto opuesto en su movilización (27). El manejo de agua en el cultivo de arroz puede disminuir la disponibilidad de Cd en el suelo, que a su vez conduce a una mayor disponibilidad de As y viceversa. Estudios han encontrado que la capacidad de acumulación de Cd y As en el cultivo de arroz, se correlaciona negativamente entre sí; por lo tanto, reducir la acumulación de Cd y As en el grano de arroz es un desafío difícil(34).

## Mecanismos de defensa de las plantas ante la presencia de MP

La planta en presencia de metales pesados puede usar mecanismos de autorregulación ante la toxicidad como la osmorregulación, a través de la acumulación de osmolitos en el

citosol, con el fin de proteger sus estructuras celulares de las ROS; es decir, que las plantas han desarrollado sistemas antioxidantes que pueden ser enzimáticos o no (35). Como ejemplos de antioxidantes presentes en las plantas no enzimáticos se tienen la vitamina E, el ácido ascórbico, el tocoferol, el glutatión y los carotenoides. Entre las enzimas más importantes está la catalasa y las peroxidasas (36). Una estrategia de defensa contra el estrés abiótico está en lo genético, pues algunos científicos tienen la tarea de identificar y desarrollar genotipos tolerantes a este tipo de estrés. Sin embargo, no existen muchas herramientas agronómicas que ayuden a brindar una solución adecuada y rápida a estos problemas(2).

Para mitigar la toxicidad por MP, las plantas sintetizan fitoquelatinas (PC), las cuales tienen como función quelar MP y transportarlos hasta la vacuola, y de esta manera se mantienen concentraciones bajas de MP en el citosol (37). En estudios hechos en el campo de la genética, han descubierto la sobreexpresión del gen de la  $\gamma$ -glutamil cisteína sintetasa en *Brassica juncea*, lo que resulta en una mayor biosíntesis de GSH y PC, otorgándole a la planta una mayor tolerancia a Cd (14). Además, se ha descubierto el aumento de la síntesis de PC en cultivares de Brassica durante el tratamiento con Cd, para proteger la planta a estrés de MP(38).

## Tratamientos para mitigar los efectos de la contaminación por metales pesados

Los enfoques agronómicos relacionados en la mitigación de metales pesados en el arroz emplean distintas técnicas para disminuir los efectos de los MP en el crecimiento de las

plantas y minimizar su tasa de absorción en el sistema radical (Tabla 1). Las técnicas para la remediación de MP incluyen métodos físicos, químicos y biológicos y su estrategia se basa en

dos enfoques: la remoción de metales pesados y la disminución de la biodisponibilidad y movilidad<sup>(2)</sup>.

**Tabla 1. Métodos usados para la enmienda de MP <sup>(2)</sup>**

Métodos	Descripción
Métodos físicos de remoción de metales pesados.	Comprende el reemplazo de suelo, aislamiento, lavado y transferencia eléctrica cinética. La rotación y dilución permiten la restauración de suelos contaminados, pues se hace una mezcla superficial del suelo de (0 a 30 cm) y el suelo subsuperficial (30 a 100 cm). Este se limpia con fuerzas mecánicas. La desventaja de esta técnica es la reducción de carbono orgánico y otros nutrientes, además, se reduce la capacidad de retención de agua en el suelo.
Estabilización química.	Se agrega al suelo sustancias naturales o artificiales como fosfatos, cal, bentonitas, arcilla y materiales orgánicos. Los MP en la fase sólida y potencialmente solubles, se convierten en más metales en fase sólida bioquímicamente estables con este método, al incrementarse la capacidad de intercambio catiónico, al agregarse al suelo materiales con fuertes preferencias por los iones. Esto lleva a la precipitación de la fase sólida, y de esta manera se remedia la contaminación del suelo por MP. En un estudio se demostró que la aplicación de Zn a 10 mg/kg-1 redujo el contenido de As en un 38,4 %. La aplicación al suelo de sulfato de zinc, hierro, aluminio y materia orgánica puede reducir el contenido de As.
Absorción de metales pesados de biochar.	La aplicación de biochar al suelo disminuye la biodisponibilidad, la capacidad de lixiviación, la movilidad y toxicidad de MP, e inclusive reduce el contenido de Pb o Cd en los granos de arroz. Las características del biochar que permiten estas mejoras, son su gran superficie formada de grupos funcionales como Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> y S <sup>-</sup> , por consiguiente, los MP forman complejos con estos grupos. Otra característica del biochar es un alto pH, pues provoca una precipitación de MP en el suelo. El biochar cambia el estado redox de los metales y de esta manera disminuye su movilidad.
Métodos biológicos.	La fitorremediación y el agregado de materia orgánica al suelo son usados como remediación biológica. La fitorremediación es considerada la mejor estrategia para tratar suelos con MP, pues es más respetuoso con el medioambiente, ya que ayuda a prevenir la erosión o lixiviación de contaminantes. La fitorremediación emplea distintas plantas y microbios para absorber, degradar y producir más metales volátiles e incrementar la cantidad de nutrientes.

## Biochar

Algunas técnicas para la remediación del suelo por MP son costosas y peligrosas; además, las investigaciones están encaminadas a buscar nuevos materiales que sean amigables con el medioambiente y de bajo costo. Como ejemplo de material para la remediación se tiene el biochar, pues ha demostrado su efectividad al disminuir la biodisponibilidad de MP en el sector agropecuario<sup>(39)</sup>.

La producción de biochar se hace a partir de la conversión termoquímica o pirolisis de biomasa ya sea de origen vegetal, animal o estiércol, a temperaturas que oscilan en un rango de 200 a 700 °C en un ambiente escaso de oxígeno<sup>(40)</sup>. A partir de astillas de madera, cáscaras de frutas, desechos sólidos y de alimentos, se usan para producir biochar<sup>(41)</sup>. La aplicación de biochar a suelos contaminados con MP, aporta nutrientes, absorbe y estabiliza los MP, debido a sus características de estructura porosa,

un área específica alta, el gran contenido de grupos funcionales tensioactivos y su capacidad para absorber contaminantes (42). Sin embargo, la interacción entre plantas, microorganismos y el biochar no es clara (44), ni los mecanismos responsables de la movilidad o biodisponibilidad de MP afectada por el biochar, así como los riesgos potenciales asociados con su aplicación. Estas brechas pueden impedir la comprensión de los riesgos de los metales en los suelos modificados con biochar y su aplicación para fines de remediación (45). Dentro de los riesgos asociados, se tiene que el biochar puede contener sustancias tóxicas a causa de la materia prima con que se produzca, es decir, algunos suelos son contaminados con MP y allí se producen cultivos, los cuales son usados para producir biochar, que también tendrá un alto contenido de MP. Otro material usado para producción de biochar es el estiércol animal, ya que puede contener altas concentraciones de MP, debido al exceso de aditivos usados en la alimentación animal. Por otro lado, el proceso de pirolisis algunas veces puede concentrarse tanto que incrementa considerablemente los contenidos de MP (41).

El biochar ha sido ampliamente estudiado y está involucrado en la inmovilización de MP en el suelo. Depende de las interacciones metal-biochar, la remediación depende de las características del biochar y del suelo, sus interacciones y la dosis de aplicación, pues se disminuye la movilidad, biodisponibilidad y acumulación de MP en las plantas. Cuando el biochar tiene grupos funcionales de alto contenido de oxígeno, proporciona al suelo ligandos de superficie eficaces para unir iones de MP y un potencial como carga de matriz con compuestos de hierro, que mejora la remediación del suelo. Sin embargo, esta absorción de iones metálicos en el biochar es lenta y parcialmente irreversible (46) (II). Por ejemplo, la aplicación de

biochar de madera de *Eucalyptus* sp. en suelos contaminados a causa de actividades mineras, en rangos de 0, 2.5 g/kg, 7.5 g/kg, 15 g/kg y 30 g/kg, incrementó el pH del suelo, redujo la asimilación de MP en plantas y promovió la germinación de semillas (47).

En países con una producción agrícola importante como China, se usa comúnmente el biochar para la remediación de suelos. En la actualidad existen mecanismos que pueden involucrar interacciones directas (Figura 3). Como ejemplos, se tiene adsorción electrostática, intercambio iónico, precipitación y complejación (45). Entre las interacciones indirectas, es decir, mediante la modificación de las propiedades del suelo, como el pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), contenido mineral y contenido de carbono orgánico y, por lo tanto, la formación de enlaces iónicos entre el metal con los componentes del biochar (48).

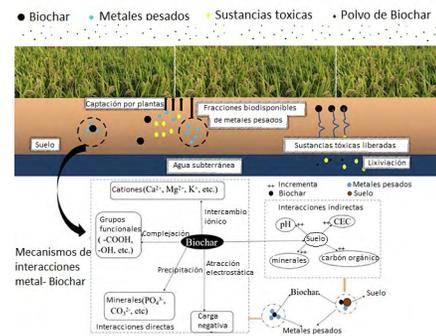


Figura 3. Interacciones del biochar con MP en el suelo (45)

La mayoría de los ensayos de campo mostraron que la adición de biochar reduce la absorción de MP por las plantas y disminuye la movilidad/biodisponibilidad en el suelo. Se encontró que en un estudio, la aplicación de biochar producido a partir de caña de azúcar, redujo el contenido Cd, Pb y Zn disponibles en el suelo en un 56.5, 50 y 54 %, respectivamente;

además, la producción de biomasa se triplicó en especies *Canavalia ensiformis* y *Mucuna aterrima*. También, la modificación del biochar con óxido de manganeso estabilizó el As, debido a la oxidación del arsenito a arseniato en cultivares de arroz (41).

## Enmiendas con bacterias endofíticas

El As actúa como un análogo del fosfato, por lo cual una mayor relación entre P/As en el ambiente disminuye la acumulación de As en las plantas. Hallazgos demuestran que aplicaciones de hierro (Fe) al suelo, reducen la acumulación de As en granos de arroz (29). Compuestos de Fe como Fe (II), la goetita, la ferrihidrita, la hematita y el sulfato ferroso o férrico, disminuyen la disponibilidad y movilidad de As en los suelos. Estas enmiendas aumentan el óxido de Fe, lo que provoca el secuestro del As en las placas de Fe en las superficies radiculares y se impide que este elemento se transporte y movilice por la planta de arroz (49).

Un estudio demostró la aplicación de enmiendas con óxidos de Fe (PC-Fe),  $\text{FeCl}_2 + \text{NaNO}_3$  y  $\text{FeCl}_2$  poco cristalinos, que reducen en el grano la movilidad y la biodisponibilidad de As en el suelo de arroz en un  $54 \% \pm 3 \%$ ,  $52 \% \pm 3 \%$  y  $46 \% \pm 17 \%$  con relación al tratamiento control. El tratamiento con PC-Fe es la enmienda más efectiva para reducir la acumulación de As en las

plantas (Figura 4) y la etapa de llenado es la más importante para disminuir la absorción de As en la raíz (1).

En suelos contaminados con arsénico, se han implementado metodologías de biorremediación en la zona de la rizosfera. En la rizosfera están presente los microbios, cuya importancia radica en la reducción del As mediante la producción y liberación de moléculas quelantes, como sideróforos, encargados de inducir la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro en la superficie de la raíz (28). Se ha descubierto que las bacterias endofíticas resistentes al arsénico, no solo mejoran la capacidad de fitorremediación del arsénico al beneficiar a su huésped a mitigar la toxicidad del arsénico, sino que, además, favorecen y estimulan el crecimiento de las plantas (50). Las bacterias endofíticas hiperacumuladoras desarrollan tolerancia a altas concentraciones de MP, porque crecieron en ese ambiente; asimismo, se encontró su capacidad de reducir el [As (V)] y oxidar el [As (III)] (51). También, este tipo de bacterias tienen la capacidad de no solo colonizar el interior de los tejidos vegetales, sino la rizosfera de las plantas, pues con esto se reduce la transferencia de MP y disminuye la disponibilidad del metal en la rizosfera y, por ende, la bioacumulación en la planta, pues las bacterias inducen la precipitación de óxidos/hidróxidos de Fe en la superficie de la raíz, lo cual impide la movilización de MP

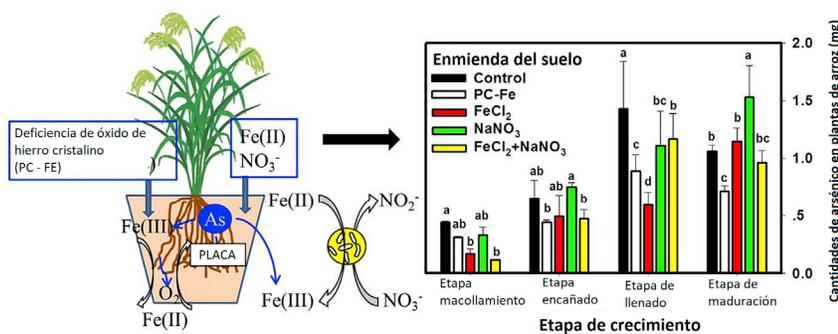


Figura 4. Aplicación de enmiendas de óxidos de Fe disminuye la absorción de As en las plantas de arroz (1).

(52). Dentro de los mecanismos usados por las bacterias endofíticas para la fitorremediación, se encontró *Serratia* sp. LRE07 absorbió más del 65 % de Cd, mediante el secuestro extracelular y la acumulación intracelular, es decir, los iones metálicos se adhieren a la superficie celular por reacciones entre metales y grupos funcionales en la superficie celular, como hidroxilo, carbonilo, carboxilo, sulfhidrilo, tioéter, sulfonato, amina, amida y fosfonato (53). Para mejorar la biorremediación, se han hecho combinaciones entre comunidades microbianas y enmiendas como biochar y arcilla (54).

Un estudio demostró que mediante la aplicación de leonardita y bacterias endofíticas resistentes al arsénico en la zona radical de plantas de arroz, se redujo el contenido de arsénico en granos de arroz. La leonardita es un ácido húmico de origen orgánico natural, el cual se ha usado para desintoxicación de suelos por MP, debido a su capacidad de unirse a cationes metálicos (55) contact time, U concentration, and temperature on U(VI). La aplicación de leonardita y bacterias endofíticas con concentraciones del 1 % (p/v) de leonardita demostró una mayor eficiencia en la absorción de la concentración de arsénico en el suelo. Lo anterior se explica con el alto contenido de aluminio y hierro de la leonardita, los cuales se unen a los aniones de arsénico, mediante los procesos de absorción o precipitación. Por otro lado, la bacteria *Bacillus pumilus* disminuyó las concentraciones de As en los granos de arroz en comparación con las bacterias *Pseudomonas* sp. y *Bacillus thuringiensis*. Lo mencionado anteriormente ocurre debido a que *B. pumilus* produjo un sideróforo superior, que pudo afectar la competencia de la absorción de Fe y As por las raíces en los granos. En conclusión, combinar microbios endofíticos con leonardita reduce la acumulación de As inorgánico en los granos de arroz por debajo del límite de 0.2 mg/kg. También pudo reducir el estrés oxidativo

y mostró una reducción de la regulación de transportadores Lsi1, Lsi2 y OsPT4 en la etapa de encabezado, la cual coincidió con una baja acumulación de arsénico y alta de silicio en las raíces. Por lo tanto, este resultado podría usarse para disminuir la acumulación de As en los granos en los arrozales contaminados con este elemento, mejorar la defensa de las plantas de arroz, ayudar a soportar este estrés y aumentar su productividad (28).

## Variaciones genotípicas

Dependiendo de las condiciones del suelo y del contaminante, se realizan actividades de mitigación para reducir la acumulación de Cd y As en los granos de arroz. Por ejemplo, se pueden realizar aplicaciones de cal en suelos ácidos, manejo del agua en el arroz, selección de cultivares de arroz con baja acumulación de contaminantes y fitorremediación (30). Las aplicaciones de cal son adecuadas para reducir la biodisponibilidad y la absorción de Cd en el arroz, pero no para As (56). El manejo del agua en el cultivo de arroz puede tener efectos opuestos en la acumulación de Cd y As. La condición de inundación del arroz disminuye la acumulación de Cd, pero se incrementa la acumulación de As en los granos de arroz (57). En la fitorremediación se han probado ensayos de campo a pequeña escala, pero su aplicabilidad para limpiar grandes áreas de suelos de arroz contaminados sigue siendo incierta (58). Otra estrategia para la remediación es el uso de cultivares de arroz que acumulen niveles bajos de As o Cd en los granos de arroz (34). En un estudio con 1763 cultivares de arroz de diferente origen geográfico y genético, sembrados en condiciones de inundación, se encontraron variaciones en las concentraciones de Cd y As de granos de 40.7 y 12.1 veces, respectivamente. Además, se descubrió que la variación de Cd y As tiene una base genética significativa, con una heredabilidad que varía

de 0.24 a 0.63 para Cd y de 0.57 a 0.64 para As, respectivamente. Los resultados anteriores demuestran que las variedades de arroz tienen una variabilidad genética que es heredada, lo cual puede usarse para disminuir las concentraciones de As y Cd en este cultivo <sup>(59)</sup>.

Un estudio realizado durante dos años en tres lugares y estaciones diferentes en el sur de China, en suelos con niveles moderados de contaminación con Cd y As, con 471 cultivares de arroz de alto rendimiento, logró identificar 8 y 6 cultivares como acumuladores bajos de Cd y As, respectivamente. Estos cultivares son adecuados en suelos con una toxicidad moderada por MP, y se ajustan a la normativa de este país asiático, con respecto a los límites de concentración de As y Cd. Los cultivares bajos acumuladores de Cd fueron: ShenYou957, LongPing602, T-You535, JieFengYou1, -You899, WeiYou402, WeiUou463 y ZhuLiangYou168. Por otro lado, los cultivares bajos acumuladores de As fueron: YongYou17, YongYou538, GangYou94-11, Y-LiangYou1998, Il-You936 y Il-You310. Las concentraciones de Cd y As en el arroz integral variaron de 10 a 32 y de 2.5 a 4 veces, respectivamente <sup>(34)</sup>.

Las concentraciones de As y de Cd en el grano de arroz son posiblemente influenciadas de forma indirecta por el tiempo de partida (germinación), a través de la química del suelo, lo que depende en gran medida de la gestión del agua en el cultivo, pues la inundación del suelo del cultivo reduce la biodisponibilidad de Cd, pero aumenta la biodisponibilidad de As. La correlación negativa entre las concentraciones de Cd y As en el grano sugiere que sería difícil encontrar cultivares con baja acumulación de Cd y As al mismo tiempo <sup>(34)</sup>.

## Conclusiones

La problemática asociada a la contaminación de suelos por MP no solo afecta la fertilidad y biota del suelo del sitio donde ocurre, sino que estos metales pueden moverse a través de las cadenas tróficas y llegar finalmente al ser humano provocando serios problemas a su salud. Una manera para evitar la contaminación antropogénica por arsénico y cadmio es mediante la producción alimenticia de manera sostenible, la cual puede garantizar seguridad alimentaria y promueve ecosistemas saludables, mediante la gestión sostenible de la tierra, el agua y los recursos naturales. Esto se puede alcanzar mediante la educación y asesoría constante a productores y la implementación de tecnologías económicas y de fácil acceso a las personas que trabajan en el sector agrícola. Por otro lado, la implementación de buenas prácticas agrícolas con relación al empleo del agua de riego de buena calidad, la rotación de cultivos, la disminución del uso excesivo de agroquímicos e incentivar las aplicaciones plaguicidas amigables con el medioambiente libres de metales pesados; además, el estudio de suelos y monitoreo de la calidad del agua usada para irrigación, especialmente en zonas con explotaciones mineras, con el fin de identificar esta problemática y desarrollar programas integrales de remediación.

A pesar de que se trataron algunas técnicas para la remediación de metales pesados, aún falta investigación sobre métodos que mitiguen los efectos adversos de dos o más de estos elementos, pues una remediación para disminuir la biodisponibilidad y la absorción de Cd en el arroz no es efectiva para el As, además en el suelo se encuentran varios metales pesados que pueden dañar los cultivos.

## Referencias

1. Yu H-Y, Wang X, Li F, Li B, Liu C, Wang Q, *et al.* Arsenic mobility and bioavailability in paddy soil under iron compound amendments at different growth stages of rice. *Environmental Pollution*. 2017 [citado 2019 Jun 16]; 224:136-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.072>
2. Arif M, Jan T, Riaz M, Fahad S, Arif MS, Shakoob MB, *et al.* Chapter 29 - Advances in rice research for abiotic stress tolerance: agronomic approaches to improve rice production under abiotic stress. *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance*. 2019;585-614. <https://doi.org/fwd2>
3. Jin M, Liu X, Wu L, Liu M. An improved assimilation method with stress factors incorporated in the WOFOST model for the efficient assessment of heavy metal stress levels in rice. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* [Internet]. 2015;41:118-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2015.04.023>
4. Liu YL, Wen C, Liu XJ. China's food security soiled by contamination. *Science*. 2013;339(March):1382-3. <https://doi.org/10.1126/science.339.6126.1382-b>
5. Londoño LF, Londoño PT, Muñoz FG. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2016;14(2):145-53. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
6. Taiz L, Zeiger E. Plant physiology. *Ann Bot*. 2003;91(6):750-751. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>
7. Ma L, Zhong H, Wu Y-G. Effects of metal-soil contact time on the extraction of mercury from soils. *Bull Environ Contam Toxicol* [Internet]. 2015 Mar 23 [citado 2019 Jul 11];94(3):399-406. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1468-x>
8. Wang Z, Forsyth D. Methods for the determination of arsenic speciation in rice: a review. *Encyclopedia of Analytical Chemistry* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2012 [citado 2019 Jul 13]. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a9357>

9. Abbas G, Murtaza B, Bibi I, Shahid M, Niazi N, Khan M, *et al.* Arsenic uptake, toxicity, detoxification, and speciation in plants: physiological, biochemical, and molecular aspects. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2018 Jan 2 [citado 2019 Jul 13];15(1):59. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010059>
10. Pandey S, Rai R, Rai LC. 27 - Biochemical and molecular basis of arsenic toxicity and tolerance in microbes and plants. *Handbook of Arsenic Toxicology* [Internet]. 2015 [citado 2019 Jul 13];627-74. <https://doi.org/fwds>
11. Stoeva N, Bineva T. Oxidative changes and photosynthesis in oat plants grown in as-contaminated soil [Internet]. *Bulg J Plant Physiol.* 2003 [citado 2019 Jul 13];29(1-2), 87-95. Disponible en: <https://bit.ly/3dv10KO>
12. Finnegan PM, Chen W. Arsenic toxicity: the effects on plant metabolism. *Front Physiol* [Internet]. 2012 [citado 2019 Jul 13];3:182. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00182>
13. Pernía B, De Sousa A, Reyes R, Castrillo M. Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas. *Interciencia* [Internet]. 2008 [citado 2019 Jul 11];112-9. <https://bit.ly/3dvNmGC>
14. Murugan B, Malla A, Ramalingam S. Cadmium stress and toxicity in plants: an overview. *Physiol to Remediat* [Internet]. 2019 Jan 1 [citado 2019 Jul 11];1-17. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00001-2>
15. Gill S, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem* [Internet]. 2010 Dec 1 [citado 2019 Jul 12];48(12):909-30. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
16. Zhao H, Wu L, Chai T, Zhang Y, Tan J, Ma S. The effects of copper, manganese and zinc on plant growth and elemental accumulation in the manganese-hyperaccumulator *Phytolacca americana*. *J Plant Physiol* [Internet]. 2012 [citado 2019 Jun 17];169:1243-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2012.04.016>
17. Marrugo J, Pinedo J, Díez S. Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú

River Basin, Colombia. *Environ Res.* 2017 Apr 1;154:380-8. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.021>

18. Martínez-Mera EA, Torregroza-Espinosa AC, Crissien-Borrero TJ, Marrugo-Negrete JL, González-Márquez, LC. Evaluation of contaminants in agricultural soils in an irrigation district in Colombia. *Heliyon.* 2019 Aug 1;5(8):e02217. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02217>
19. Saifullah, Dahlawi S, Naeem A, Iqbal M, Farooq MA, Bibi S, *et al.* Opportunities and challenges in the use of mineral nutrition for minimizing arsenic toxicity and accumulation in rice: a critical review. *Chemosphere.* 2018 [citado 2019 Jul 13];194:171-188. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.149>
20. Li J-S, Beiyuan J, Tsang DCW, Wang L, Poon CS, Li X-D, *et al.* Arsenic-containing soil from geogenic source in Hong Kong: leaching characteristics and stabilization/solidification. *Chemosphere.* 2017 [citado 2019 Jun 16];182:31-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.019>
21. Zhang L, Qin X, Tang J, Liu W, Yang H. Review of arsenic geochemical characteristics and its significance on arsenic pollution studies in karst groundwater, Southwest China. *Applied Geochemistry.* 2017 [citado 2019 Jun 16];77: 80-88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.05.014>
22. Basu A, Saha D, Saha R, Ghosh T, Saha B. A review on sources, toxicity and remediation technologies for removing arsenic from drinking water. *Res Chem Intermed* [Internet]. 2014 Feb 9 [citado 2019 Jul 13];40(2):447-85. <https://doi.org/10.1007/s11164-012-1000-4>
23. Instituto Nacional de Salud. Documentos. Evaluación de riesgos en inocuidad de alimentos. Perfil de riesgo de arsénico en arroz en Colombia [Internet]. Bogotá; 2013 [citado 2020 Nov 2]. Disponible en: <https://bit.ly/3pCrlbs>
24. Yin D, Wang X, Chen C, Peng B, Tan C, Li H. Varying effect of biochar on Cd, Pb and As mobility in a multi-metal contaminated paddy soil. *Chemosphere* [Internet]. 2016 [citado 2019 Jul 13];152:196-206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.044>

25. Rehman MZ ur, Rizwan M, Hussain A, Saqib M, Ali S, Sohail MI, *et al.* Alleviation of cadmium (Cd) toxicity and minimizing its uptake in wheat (*Triticum aestivum*) by using organic carbon sources in Cd-spiked soil. *Environmental Pollution*. 2018 [citado 2019 Jul 13];241:557-565. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.005>
26. Murphy SF, McCleskey RB, Martin DA, Holloway JAM, Writer JH. Wildfire-driven changes in hydrology mobilize arsenic and metals from legacy mine waste. *Sci Total Environ*. 2020 Nov 15;743:140635. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140635>
27. Chen H, Tang Z, Wang P, Zhao F-J. Geographical variations of cadmium and arsenic concentrations and arsenic speciation in Chinese rice. *Environmental Pollution*. 2018 [citado 2019 Jul 12];238:482-490 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.048>
28. Dolphena R, Thiravetyanb P. Reducing arsenic in rice grains by leonardite and arsenic-resistant endophytic bacteria. *Chemosphere* [Internet]. 2019 May 1 [citado 2019 Jul 11];223:448-54. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.054>
29. Irem S, Islam E, Maathuis FJM, Khan N. Chemosphere assessment of potential dietary toxicity and arsenic accumulation in two contrasting rice genotypes: effect of soil amendments. *Chemosphere* [Internet]. 2019;225:104-14. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.202>
30. Chaney RL, Kim W II, Kunhikrishnan A, Yang JE, Ok YS. Integrated management strategies for arsenic and cadmium in rice paddy environments. *Geoderma* [Internet]. 2016 [citado 2019 Jul 13];270:1-2. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.001>
31. Yang M, Zhang Y, Zhang L, Hu J, Zhang X, Lu K, *et al.* OsNRAMP5 contributes to manganese translocation and distribution in rice shoots. *J Exp Bot* [Internet]. 2014 Sep 1 [citado 2019 Jul 12];65(17):4849-61. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru259>
32. Luo Q, Sun L, Hu X, Zhou R. The variation of root exudates from the hyperaccumulator *sedum alfredii* under cadmium stress: metabonomics analysis. *PLoS One* [Internet]. 2014 Dec 29

[citado 2019 Jul 11];9(12):e115581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115581>

33. Vázquez S, Goldsbrough P, Carpena R. Assessing the relative contributions of phytochelatin and the cell wall to cadmium resistance in white lupin. *Physiol Plant* [Internet]. 2006 Nov 1 [citado 2019 Jul 11];128(3):487-95. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00764.x>
34. Duan G, Shao G, Tang Z, Chen H, Wang B, Tang Z, *et al.* Genotypic and environmental variations in grain cadmium and arsenic concentrations among a panel of high yielding rice cultivars. *Rice* [Internet]. 2017 Dec 28 [citado 2019 Jul 13];10(1):9. <https://doi.org/10.1186/s12284-017-0149-2>
35. Ashraf U, Hussain S, Ahmad S, Abbas F. Plant physiology and biochemistry alterations in growth, oxidative damage, and metal uptake of five aromatic rice cultivars under lead toxicity. *Plant Physiol Biochem* [Internet]. 2017;115:461-71. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.019>
36. Díaz M, Pérez Y, Cazaña Y, Prieto M, Yudit WH, Lugo H. Determination of enzymatic antioxidants in *Morus alba* varieties and hybrids. *Pastos y Forrajes*. 2010;33(3):1-12. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v33n3/pyf06310.pdf>
37. Pál M, Csávás G, Szalai G, Oláh T, Khalil R, Yordanova R, *et al.* Polyamines may influence phytochelatin synthesis during Cd stress in rice. *J Hazard Mater* [Internet]. 2017 [citado 2019 Jul 12];340:272-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.07.016>
38. Shanmugaraj B, Chandra H, Srinivasan B, Ramalingam S. Cadmium induced physio-biochemical and molecular response in *Brassica Juncea*. *Int J Phytoremediation* [Internet]. 2013 Mar [citado 2019 Jul 12];15(3):206-18. <https://doi.org/10.1080/15226514.2012.687020>
39. Li M, Zhang J, Yang X, Zhou Y, Zhang L, Yang Y, *et al.* Responses of ammonia-oxidizing microorganisms to biochar and compost amendments of heavy metals-polluted soil. *J Environ Sci (China)*. 2021 Apr 1;102:263-72. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.09.029>

40. Baragaño D, Forján R, Fernández B, Ayala J, Afif E, Gallego JLR. Application of biochar, compost and ZVI nanoparticles for the remediation of As, Cu, Pb and Zn polluted soil. *Environ Sci Pollut Res* [Internet]. 2020 Sep 12 [citado 2020 Nov 2];27(27):33681-91. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09586-3>
41. Wang Y, Liu Y, Zhan W, Zheng K, Wang J, Zhang C, *et al.* Stabilization of heavy metal-contaminated soils by biochar: challenges and recommendations. *Sci Total Environ*. 2020 Aug 10;729:139060. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139060>
42. Jun L, Wei H, Aili M, Juan N, Hongyan X, Jingsong H, *et al.* Effect of lychee biochar on the remediation of heavy metal-contaminated soil using sunflower: a field experiment. *Environ Res*. 2020 Sep 1;188:109886. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109886>
43. Meng J, Liang S, Tao M, Liu X, Brookes PC, Xu J. Chemical speciation and risk assessment of Cu and Zn in biochars derived from co-pyrolysis of pig manure with rice straw. *Chemosphere*. 2018;200:344-350. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.138>
44. Zand AD, Tabrizi AM, Heir AV. Incorporation of biochar and nanomaterials to assist remediation of heavy metals in soil using plant species. *Environ Technol Innov*. 2020 Nov 1;20:101134. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101134>
45. He L, Zhong H, Liu G, Dai Z, Brookes PC, Xu J. Remediation of heavy metal contaminated soils by biochar: mechanisms, potential risks and applications in China. *Environmental Pollution*. 2019 [citado 2019 Jun 17];252(Part A):846-855 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.151>
46. Liu Y, Huang J, Xu H, Zhang Y, Hu T, Chen W, *et al.* A magnetic macroporous biochar sphere as vehicle for the activation and removal of heavy metals from contaminated agricultural soil. *Chem Eng J*. 2020 Jun 15;390:124638. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124638>
47. Wang J, Shi L, Zhai L, Zhang H, Wang S, Zou J, *et al.* Analysis of the long-term effectiveness of biochar immobilization remediation on heavy metal contaminated soil and the potential environmental factors weakening the remediation effect: a review. *Ecotoxicol*

Environ Saf. 2021 Jan 1;207:111261. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111261>

48. Shu R, Wang YJ, Zhong H. Biochar amendment reduced methylmercury accumulation in rice plants. *J Hazard Mater* [Internet]. 2016 Aug 5 [citado 2019 Jul 11];313:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.080>
49. Simón M, González V, De Haro S, García I. Are soil amendments able to restore arsenic-contaminated alkaline soils? *J Soils Sediments* [Internet]. 2015 Jan 10 [citado 2019 Jun 16];15(1):117-25. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0953-x>
50. Lakshmanan V, Shantharaj D, Li G, Seyfferth AL, Janine Sherrier D, Bais HP. A natural rice rhizospheric bacterium abates arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). *Planta* [Internet]. 2015 Oct 10 [citado 2019 Jul 11];242(4):1037-50. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2340-2>
51. Xu JY, Han YH, Chen Y, Zhu LJ, Ma LQ. Arsenic transformation and plant growth promotion characteristics of As-resistant endophytic bacteria from As-hyperaccumulator *Pteris vittata*. *Chemosphere*. 2016 Feb 1;144:1233-40. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.102>
52. Cheng C, Nie ZW, He LY, Sheng XF. Rice-derived facultative endophytic *Serratia liquefaciens* F2 decreases rice grain arsenic accumulation in arsenic-polluted soil. *Environ Pollut*. 2020 Apr 1;259:113832. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113832>
53. Ma Y, Rajkumar M, Zhang C, Freitas H. Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. *Journal of Environmental Management*. 2016; 174:14-25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.047>
54. Yang YP, Zhang HM, Yuan HY, Duan GL, Jin DC, Zhao FJ, *et al*. Microbe mediated arsenic release from iron minerals and arsenic methylation in rhizosphere controls arsenic fate in soil-rice system after straw incorporation. *Environ Pollut* [Internet]. 2018 May 1 [citado 2019 Jul 11];236:598-608. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.099>

55. Meng F, Yuan G, Larson SL, Ballard JH, Waggoner CA, Arslan Z, *et al.* Removing uranium (VI) from aqueous solution with insoluble humic acid derived from Leonardite. *J Environ Radioact.* 2017 Dec 1;180:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.09.019>
56. Zhu H, Chen C, Xu C, Zhu Q, Huang D. Effects of soil acidification and liming on the phytoavailability of cadmium in paddy soils of central subtropical China. *Environ Pollut* [Internet]. 2016 [citado 2019 Jul 13];219:99-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.043>
57. Hu P, Huang J, Ouyang Y, Wu L, Song J, Wang S, *et al.* Water management affects arsenic and cadmium accumulation in different rice cultivars. *Environ Geochem Health* [Internet]. 2013 Dec 30 [citado 2019 Jul 13];35(6):767-78. <https://doi.org/10.1007/s10653-013-9533-z>
58. Deng L, Li Z, Wang J, Liu H, Li N, Wu L, *et al.* Long-term field phytoextraction of zinc/cadmium contaminated soil by *Sedum plumbizincicola* under different agronomic strategies. *Int J Phytoremediation* [Internet]. 2016 Feb 7 [citado 2019 Jul 13];18(2):134-40. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1058328>
59. Pinson SRM, Tarpley L, Yan W, Yeater K, Lahner B, Yakubova E, *et al.* Worldwide genetic diversity for mineral element concentrations in rice grain. *Crop Sci* [Internet]. 2015 [citado 2019 Jul 13];55(1):294. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.10.0656>

# Efectos del glifosato en la expresión de algunos genes y sus implicaciones en la salud humana

Ana M. Lara-Rodríguez<sup>1</sup> , Valentina Páez-Almanza<sup>1</sup> , Oriana V. Manrique-Torres<sup>1</sup> , César J. Guevara-Medina<sup>1</sup> , Andrés F. Alarcón Vargas<sup>1</sup> ,  
Nelson E. Arenas<sup>1</sup> , Laura I. Cuervo<sup>1\*</sup> 

Cómo citar este artículo: Lara-Rodríguez AM, Páez-Almanza V, Manrique-Torres OV, Guevara-Medina CJ, Alarcón Vargas AF, Arenas NE, Cuervo LI. Efectos del glifosato en la expresión de algunos genes y sus implicaciones en la salud humana. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2020;6(2), p 71-82. DOI: xxx-xxx

<sup>1</sup> Programa de Bioquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Antonio Nariño, Bogotá (Colombia).

\*Autor de correspondencia:  
laurys65@uan.edu.co

## Resumen

El glifosato es un herbicida que ha causado gran controversia ambiental y política por la promoción de su uso para la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia. Nuestro propósito fue proveer elementos técnicos basados en estudios científicos para aportar en el conocimiento que demuestra el efecto genotóxico del glifosato sobre la salud humana y algunas especies de mamíferos. Los estudios encontrados evidencian una serie de afectaciones celulares en diferentes sistemas biológicos y cambios epigenéticos. Adicionalmente, el glifosato afecta la supervivencia debido a cambios en la regulación del ciclo celular y metabolismo, la interrupción de la reparación del ADN y la acumulación de mutaciones que podrían llevar a la muerte celular y la tumorigénesis.

**Palabras clave:** herbicidas, agrotóxicos, salud ambiental, glifosato, cultivos ilícitos.

**Keywords:** *Herbicides, Pesticides, Environmental health, Glyphosate, Illicit crops.*

## Abstract

Glyphosate is an herbicide that has been a matter of debate at the environmental and political level attributable to its increased use during eradication of illicit crops in Colombia. We aimed to provide technical evidence-based on scientific studies regarding glyphosate's genotoxic effect on human and some mammal species. Different studies showed different effects at the cellular level in different biological systems and epigenetic changes. Moreover, glyphosate impairs survival due to changes in cell cycle regulation, cellular metabolism, disruption in DNA repair, mutation accumulation leading to cell death and tumorigenesis.

## Antecedentes históricos

El glifosato es un herbicida de amplio espectro producido desde 1974 por la compañía Monsanto, que se ha ido usando con mayor frecuencia desde la década de los noventa al introducir cultivos transgénicos resistentes a este compuesto, y representa uno de los herbicidas de mayor demanda desde 2010 al estar registrado para su implementación en más de 130 países <sup>(1)</sup>. Es uno de los ingredientes más utilizados en las formulaciones de herbicidas que se utilizan para eliminar plantas no deseadas o denominadas flora arvense. Los datos estadísticos muestran que el uso de glifosato está en aumento y por cada hectárea se usan 0,5 kg de glifosato en el mundo <sup>(2)</sup>. Múltiples estudios arrojan que el glifosato es un xenobiótico ecotóxico <sup>(3)</sup>. En 2015, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), de la Organización Mundial de la Salud (OMS), clasificó el glifosato como probablemente carcinógeno para los humanos (categoría 2A) basándose en el potencial carcinogénico probado en animales de experimentación al inducir estrés oxidativo <sup>(1,2)</sup>. Sin embargo, la Comisión Europea no comparte esta declaración y decidió extender el uso de

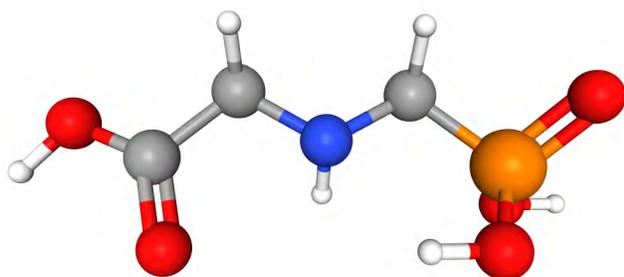
glifosato hasta finales de 2022 <sup>(2)</sup>. El glifosato está prohibido en Alemania, Arabia Saudita y Vietnam, y en al menos 15 países más. La IARC clasifica formalmente al glifosato como un "probable carcinógeno". En la comunidad científica no se ha establecido un consenso respecto a la seguridad del glifosato, los herbicidas a base de glifosato y sus productos de degradación. Por otro lado, se requieren datos epidemiológicos completos y de acceso público para confirmar los estudios *in vitro* de manera consistente.

## Glifosato y mecanismo de acción

El glifosato es un compuesto químico sintético compuesto por el aminoácido glicina y N-fosfonometil, el cual constituye el principio activo de diferentes formulaciones comerciales conocidas como herbicidas a base de glifosato <sup>(3)</sup> (Figura 1). Este herbicida inhibe o interfiere con la actividad catalítica de 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa, una enzima encargada de la producción de aminoácidos aromáticos como la fenilalanina, la tirosina y el triptófano que se encuentra en el metabolismo secundario de las plantas, específicamente en la vía del shikimato por lo cual no es selectivo <sup>(4)</sup>. Aunque dicha

enzima está ausente en mamíferos, se cree que no es tóxico porque estos carecen del sitio blanco del herbicida <sup>(3)</sup>. En la producción de herbicidas a base de glifosato, el propio glifosato está presente como una sal de isopropilamina, amonio o sódica, y varias impurezas pueden ser generadas durante el proceso, como formaldehído, N-nitrosoglifosato, nitroso-N-fosfonometilglicina y ácido N- (fosfonometil) iminodiacético (PMIDA) <sup>(3)</sup>. Para facilitar la absorción del glifosato por las plantas, es común que varios tensoactivos o adyuvantes sean agregados al proceso de producción, entre los cuales se encuentran amina de sebo polietiloxilada (POEA), y ácidos como el sulfúrico y fosfórico <sup>(3)</sup>.

**Figura 1. Estructura del herbicida glifosato**



Fuente: PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>).

En la agricultura, se hace uso de diferentes pesticidas con ingredientes activos orgánicos e inorgánicos. Entre los más utilizados están los pesticidas organofosforados, que modifican las marcas epigenéticas <sup>(4,5)</sup>. Múltiples estudios epidemiológicos han vinculado el glifosato como un factor asociado a enfermedades como diabetes mellitus, hipertensión y nefritis glomerular documentado en arrozales en el norte de Sri Lanka, El Salvador y Costa Rica <sup>(5)</sup>. Además, posibles asociaciones con enfermedades adversas al embarazo como defecto del tubo neural (NTD), déficit de atención e hiperactividad <sup>(6)</sup>; incluso se han obtenido evidencias de un aumento de riesgo de Leucemia Mieloide Aguda (AML) en Carolina del Norte e Iowa <sup>(1)</sup>. Una de las posibles limitaciones de los estudios epidemiológicos es la exposición inexacta del glifosato ya que la mayoría de estos análisis se basa en variables dicotómicas.

## Efectos del glifosato en estudios *in vitro*

Se presentan ocho estudios acerca del efecto del glifosato en la salud humana, con la utilización de al menos siete líneas celulares diferentes. Los resultados evidencian la inducción de genotoxicidad o alteraciones epigenéticas (Tabla 1).

**Tabla 1. Efecto *in vitro* del glifosato en diferentes líneas celulares humanas**

Modelo celular	Exposición (dosis/tiempo)	Efecto	Referencias
Linfocitos	0,7-700 $\mu$ M/20 h	Genotoxicidad	7
PBMC	0,1-10 mM/24 h	Metilación y genotoxicidad	8
PBMC	1 a 1000 $\mu$ M/24 h	Genotoxicidad	9
HaCat	53 mM/0,5 h	Genotoxicidad	10
HEp-2	3,0 a 7,5 mM/48 h	Genotoxicidad	11

Modelo celular	Exposición (dosis/tiempo)	Efecto	Referencias
MCF-7 / MDA-MB-468	1,1 mM/48 h	Metilación y genotoxicidad	12
HepG2	0,5-3,5 µg/mL/ 4 y 24 h	Genotoxicidad	13
A549	50-125 µg/mL / 2 h	Genotoxicidad	14

*PBMC: células mononucleares de sangre periférica; HaCat: línea celular de queratinocitos humanos; Hep-2: línea celular epitelial humana tipo 2; MCF-7: línea celular de adenocarcinoma de mama humano; MDA-MB-468: línea celular de cáncer de mama humano; HepG2: línea celular de hepatoma humano; A549: célula epitelial basal alveolar humana adenocarcinómica.*

El glifosato en diferentes concentraciones altera la expresión de ciertos genes a nivel epigenético, como se muestra en la Tabla 2, utilizando líneas celulares como células mononucleares de sangre periférica (PBMC), MCF-7/MDA-MB-468 y A549.

**Tabla 2. Efectos del glifosato en la metilación y expresión de genes**

Línea celular	Genes	Dosis	Efecto
Linfocitos	P21	0,5 µM	Hipometilación dentro del promotor
		100 µM	Sobreexpresión del gen
	TP53	0,5 µM	Hipermetilación del promotor
		100 µM	Disminución de la expresión
	CCND1	10 µM y 100 µM	Sobreexpresión del gen
	P16	0,5 a 100 µM	Disminución de la expresión
	BCL2	100 µM	Sobreexpresión del gen
MCF-7/MDA-MB-468	BNIP3, FAM162A	1,1 mM	Desregulación del ciclo celular e interrupción en la reparación del ADN
	PGK1	1,1 mM	Efecto en el metabolismo celular
A549	Bax	125 µg/ml	Sobreexpresión del gen
	Bcl-2	125 µg/ml	Sobreexpresión del gen

## Linfocitos

Algunos estudios evidencian que el glifosato es genotóxico para linfocitos y el daño al ADN aumenta de manera proporcional a la dosis ensayada <sup>(15)</sup>. Los autores muestran en los estudios realizados con células PBMC expuestas a glifosato tipo Roundup que el daño al DNA aumenta a partir de concentraciones de 250  $\mu\text{M}$  y 500  $\mu\text{M}$ , igualmente su producto de degradación metabólica (AMPA). Además, observaron que Roundup indujo daño en el ADN incluso a una concentración 50 veces menor que el glifosato. Algunos de los daños reportados en este estudio están relacionados a daño oxidativo en nucleótidos a partir de concentraciones de entre 250  $\mu\text{M}$  y 500  $\mu\text{M}$  <sup>(2)</sup>.

Los resultados observados en células PBMC sugieren que las preparaciones de plaguicidas comerciales que contienen glifosato son más citotóxicas que el glifosato en sí y se basan en la hipótesis de una toxicidad significativa de los tensoactivos y la presencia de glifosato en forma de sal de amina (por ejemplo) en preparaciones de estos herbicidas <sup>(2)</sup>. En cuanto a las alteraciones epigenéticas, los estudios sugieren cambios estadísticamente significativos en el nivel de metilación 5-mC en células PBMC tratadas con glifosato <sup>(2,3)</sup>. El nivel de metilación global del ADN disminuyó después del tratamiento con glifosato en todas las concentraciones que probaron, en comparación con las células de control (2,3). Otros estudios muestran que el glifosato cambia el patrón de metilación de los promotores de los genes P21 y TP53 <sup>(2)</sup>. También se encontró una disminución estadísticamente significativa de la metilación dentro del promotor del gen P21 en células PMBC tratados con glifosato en la menor concentración (0,5  $\mu\text{M}$ ), e hipermetilación del promotor del gen supresor de tumores TP53 en la misma concentración

de glifosato. En el caso de los genes P16, BCL2 y CCND1, no se encontraron cambios estadísticamente significativos en el nivel de metilación del promotor del gen <sup>(8)</sup>. En cuanto al nivel de expresión génica, estudios sugieren que el glifosato modifica los genes de expresión implicados en la regulación del ciclo celular (CCND1, P16, P21 y TP53) y la apoptosis (BCL2) <sup>(9)</sup>. Se encontró una disminución estadísticamente significativa de la expresión de P16 en PBMC tratadas con todas las concentraciones de glifosato y este también indujo una disminución significativa en la expresión de TP53 solo en la concentración más alta de 100  $\mu\text{M}$  <sup>(8)</sup>. Este estudio demostró, además, un aumento significativo de la expresión de P21 solo en la concentración más alta de glifosato (100  $\mu\text{M}$ ); esta concentración también aumentó la expresión de BCL2. La expresión de la ciclina CCND1 se incrementó significativamente con dos concentraciones probadas de glifosato (10  $\mu\text{M}$  y 100  $\mu\text{M}$ ) <sup>(8)</sup>. Las células mononucleares de sangre periférica PBMC son una herramienta crítica para el estudio predictivo en la determinación de la toxicidad de ciertos compuestos <sup>(17)</sup>. Los resultados obtenidos en los estudios sugieren cambios en los niveles de metilación y expresión génica a una concentración de (0,5  $\mu\text{M}$ ), que es la concentración que se halla en el cuerpo humano después de la exposición ambiental. También, se encontró una disminución de la metilación dentro del promotor del gen P21 e hipermetilación del promotor del gen TP53 en PBMC. Se sabe que TP53 es un gen protector del genoma y supresor de tumores (2). Por otro lado, se encontró que el glifosato en altas concentraciones (determinadas en sangre durante la intoxicación aguda por glifosato a 250-500  $\mu\text{M}$ ), reduce la metilación global del ADN en PBMC <sup>(2,3)</sup>. Además, los cambios en la metilación del gen P21 son consistentes con el aumento de la expresión del regulador del ciclo celular a

100  $\mu$ M de glifosato, lo que podría conducir a la inhibición del ciclo celular en G1 <sup>(2)</sup>. También se halló una disminución de la expresión de P16 en PBMC tratadas con todas las concentraciones de glifosato y asociación con hipometilación del promotor del gen P16. Aunque la modificación no fue estadísticamente significativa podría resultar en una sobreexpresión de ciclina D1 (CCND1), ya que la expresión de P16 inhibe la ciclina D y la activación de los complejos CDK4 y CDK6 (ciclina D1/CDK4, ciclinaD1/CDK6) (2,8). No obstante, se ha reportado que el glifosato induce la activación de los genes *EGR1*, *JUN*, *FOS* y *MYC* que promueven la expresión de diferentes ciclinas (B1, D1 y p21) y llevan a proliferación celular en células HEK293 <sup>(16)</sup>.

## Células epiteliales

Estudios en células epiteliales demuestran que el glifosato induce efectos citotóxicos cutáneos *in vitro*, relacionados con trastornos oxidativos <sup>(10,18)</sup>. Los resultados reportados en este estudio mostraron que el glifosato es capaz de romper las células HaCaT e inducir una cascada oxidativa intracelular <sup>(10)</sup>. Por otro lado, se ha demostrado un claro aumento del daño en el ADN con glifosato en un rango de concentración de 3,0 a 7,5 mM, utilizando células HEp-2 (11). Similares resultados se han validado en estudios con células Ragi sometidas a concentraciones de glifosato superiores a 10 Mm <sup>(19)</sup>.

Los hallazgos de la investigación sobre los efectos del glifosato en los queratinocitos de la piel humana (HaCaT) muestran que el glifosato es capaz de romper las células HaCaT e inducir una cascada oxidativa intracelular <sup>(10)</sup>, que inicia con daños en la membrana debido a una sobreproducción de especies reactivas oxidativas, causadas por el agotamiento enzimático (catalasa, glutatión-peroxidasa y superóxido dismutasa)

que provocan una reducción de la capacidad de defensa antioxidante y un aumento de la peroxidación lipídica <sup>(2,10)</sup>.

## Células tumorales mamarias

Los estudios sobre el efecto del glifosato en células tumorales mamarias demostraron que el glifosato puede inducir la proliferación celular a través de receptores estrogénicos, como fue demostrado por <sup>(12)</sup> utilizando líneas celulares de cáncer de mama (MCF-7/MDA-MB-468). Sus resultados mostraron que a baja concentración (0,05% Roundup) y exposición corta (48 h), ambas líneas celulares sufrieron la desregulación de 11 vías canónicas, siendo las más importantes las vías de reparación del daño del ADN y del ciclo celular <sup>(12)</sup>. En otros estudios con células tumorales mamarias, se pone en evidencia que el glifosato afecta la supervivencia debido a la desregulación del ciclo celular y los cambios en el metabolismo que pueden alterar el consumo de oxígeno mitocondrial, aumentar los niveles de ROS, inducir hipoxia, dañar la reparación del ADN, causar acumulación de mutaciones y, en última instancia, muerte celular <sup>(12)</sup>. Estudios similares indican que bajas concentraciones de glifosato son suficientes para estimular la actividad de los receptores de estrógenos y posiblemente el proceso tumoral <sup>(20)</sup>.

## Células tumorales hepáticas

Las investigaciones relacionadas con esta línea celular estudiaron los efectos genotóxicos del glifosato en células HepG2 y encontraron que a concentraciones bajas (0,5  $\mu$ g/mL -ingesta diaria aceptable; 2,91  $\mu$ g/mL -nivel de exposición residencial y 3,5  $\mu$ g/mL -nivel de exposición ocupacional), el glifosato estimuló la proliferación celular y evidenciaron daño oxidativo significativo en las células examinadas <sup>(13)</sup>.

## Células pulmonares y neuronales

Las investigaciones sugieren que el Roundup causa aumentos dependientes de la concentración en los daños del ADN y la proporción de células apoptóticas en las células A549 <sup>(21)</sup>. Además, este herbicida a base de glifosato indujo roturas de cadena simple y doble hebra del ADN y el colapso de la membrana mitocondrial al aumentar Bax/Bcl-2 <sup>(21)</sup>. En cuanto a las células pulmonares, estudios demuestran claramente que el empleo de Roundup a concentraciones de 50 a 125 µg/mL induce al colapso de la membrana mitocondrial al aumentar Bax/Bcl-2 <sup>(2,21)</sup>, lo que resulta en la liberación de citocromo-C en el citosol, activando la caspasa-9/-3, poli (ADP-ribosa) polimerasa (PARP) escindida en células de tejido pulmonar humano <sup>(21)</sup>. Lo alarmante de estos resultados radica en que el Roundup puede inducir efectos citotóxicos en las células A549 *in vitro* a una concentración más baja que el nivel de exposición ocupacional de los trabajadores, lo que significa que este herbicida a base de glifosato tiene una amenaza potencial para la salud humana <sup>(2,21)</sup>. En lo neuronal, se relaciona con desórdenes emocionales y neurodegenerativos del sistema nervioso central. Incluso, el glifosato induce un desbalance en la flora normal que lleva a la proliferación de patógenos y es conocido como disbiosis <sup>(22)</sup>.

## Contexto colombiano para el uso del glifosato

El conflicto armado en Colombia ha sido determinante de varios efectos en la salud de la población rural del país, que incluyen mortalidad directa e indirecta, aumento de

ciertas enfermedades transmisibles y no transmisibles, afectaciones en la salud mental y reproductiva, discapacidad, problemas asociados al estado nutricional y limitaciones en el acceso a los servicios de salud <sup>(23)</sup>. Adicionalmente, la necesidad del Gobierno de evidenciar resultados en la erradicación de cultivos ilícitos, ha llevado a que se ejerzan presiones políticas para el uso de herbicidas de amplio espectro como el glifosato <sup>(24)</sup>.

El glifosato, al igual que muchos agrotóxicos, ejerce un efecto nocivo para la salud y en Colombia se ha estimado que las aspersiones a cultivos de coca incrementan la posibilidad de afectaciones en la piel y posiblemente abortos <sup>(25,26)</sup>. De forma similar, los estudios del Instituto Nacional de Salud en personas expuestas no son concluyentes en la relación causa-efecto, pero se evidencia un alto grado de exposición de los individuos afectados y posibles secuelas crónicas de la exposición prolongada <sup>(27,28)</sup>. Algunos estudios en Brasil y Argentina muestran los efectos devastadores para la salud humana encontrados en poblaciones rurales <sup>(29-31)</sup>. Al verificar en la base de datos PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>) acerca de las enfermedades y los desórdenes asociados al glifosato, se encontraron más de 56 estudios relacionados con efectos nocivos en humanos y animales. Precisamente, algunos estudios advierten de similares efectos a los antes documentados, en animales de producción y en especies silvestres que incluso se alimentan con cultivos contaminados con dicho herbicida <sup>(32-35)</sup>. Así, se considera que al ser Colombia tan megadiverso es inconsistente el uso del glifosato en aspersiones, que afectan no solo a las poblaciones rurales, sino colateralmente a toda la biodiversidad de plantas y animales.

## Referencias

1. Andreotti G, Koutros S, Hofmann JN, Sandler DP, Lubin JH, Lynch CF, *et al.* Glyphosate use and cancer incidence in the Agricultural Health Study. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute.* 2017;110(5):509-516. <https://doi.org/10.1093/jnci/djx233>
2. Woźniak E, Reszka E, Jabłońska E, Balcerczyk A, Broncel M, Bukowska B. Glyphosate affects methylation in the promoter regions of selected tumor suppressors as well as expression of major cell cycle and apoptosis drivers in PBMCs (in vitro study). *Toxicology in vitro.* 2020;63:104736. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2019.104736>
3. Agostini L, Dettogni RS, Dos Reis RS, Stur E, Dos Santos EV, Ventrone DP, *et al.* Effects of glyphosate exposure on human health: insights from epidemiological and in vitro studies. *Sci Total Environ.* 2020;705:135808. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135808>
4. Kahl VF, Dhillon V, Fenech M, De Souza MR, Da Silva FN, Marroni NA, *et al.* Occupational exposure to pesticides in tobacco fields: the integrated evaluation of nutritional intake and susceptibility on genomic and epigenetic instability. *Oxid Med Cell Longev.* 2018;1-13. <https://doi.org/10.1155/2018/7017423>
5. Jayasumana C, Gunatilake S, Senanayake P. Glyphosate, hard water and nephrotoxic metals: are they the culprits behind the epidemic of chronic kidney disease of unknown etiology in Sri Lanka? *Int J Environ Res Public Health.* 2014;11(2):2125-2147. <https://doi.org/10.3390/ijerph110202125>
6. De Araujo JS, Delgado IF, Paumgartten FJ. Glyphosate and adverse pregnancy outcomes, a systematic review of observational studies. *BMC Public Health.* 2016;16:1. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3153-3>
7. Álvarez-Moya C, Reynoso Silva M, Valdez-Ramírez C, Gómez-Gallardo D, León Sánchez R, Canales-Aguirre A, *et al.* Comparison of the in vivo and in vitro genotoxicity of glyphosate isopropylamine salt in three different organisms. *Genet Mol Biol.* 2014;37(1):105-110. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572014000100016>

8. Kwiatkowska M, Reszka E, Woźniak K, Jabłońska E, Michałowicz J, Bukowska B. DNA damage and methylation induced by glyphosate in human peripheral blood mononuclear cells (in vitro study). *Food Chem Toxicol.* 2017;105:93-98. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.03.051>
9. Woźniak E, Sicińska P, Michałowicz J, Woźniak K, Reszka E, Huras B, *et al.* The mechanism of DNA damage induced by Roundup 360 PLUS, glyphosate and AMPA in human peripheral blood mononuclear cells-genotoxic risk assesment. *Food Chem Toxicol.* 2018;120:510-522. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.035>
10. Elie-Caille C, Heu C, Guyon C, Nicod L. Morphological damages of a glyphosate-treated human keratinocyte cell line revealed by a micro-to nanoscale microscopic investigation. *Cell Biol Toxicol.* 2010;26(4):331-339. <https://doi.org/10.1007/s10565-009-9146-6>
11. Mañas F, Peralta L, Raviolo J, Ovando HG, Weyers A, Ugnia L, *et al.* Genotoxicity of glyphosate assessed by the comet assay and cytogenetic tests. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2009;28(1):37-41. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2009.02.001>
12. Stur E, Aristizábal-Pachón AF, Peronni KC, Agostini LP, Waigel S, Chariker J, *et al.* Glyphosate-based herbicides at low doses affect canonical pathways in estrogen positive and negative breast cancer cell lines. *PLoS ONE.* 2019;14(7): e0219610. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219610>
13. Kašuba V, Milić M, Rozgaj R, Kopjar N, Mladinić M, Žunec S, *et al.* Effects of low doses of glyphosate on DNA damage, cell proliferation and oxidative stress in the HepG2 cell line. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2017;24(23):19267-19281. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9438-y>
14. Hao Y, Chen H, Xu W, Gao J, Yang Y, Zhang Y, *et al.* Roundup® confers cytotoxicity through DNA damage and Mitochondria-Associated apoptosis induction. *Environmental pollution.* 2019;252:917-923. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.128>
15. Nagy K, Tessema RA, Budnik LT, Ádám B. Comparative cyto- and genotoxicity assessment of glyphosate and glyphosate-

- based herbicides in human peripheral white blood cells. *Environ Res.* 2019;179:108851. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108851>
16. Jeon S, Lee SH, Roh J, Kim JE, Bunch H. Glyphosate influences cell proliferation in vitro. *All Life.* 2020;13(1):54-65. <https://doi.org/10.1080/26895293.2019.1702108>
  17. Pourahmad J, Salimi A. Isolated human Peripheral Blood Mononuclear Cell (PBMC), a cost-effective tool for predicting immunosuppressive effects of drugs and xenobiotics. *IJPR.* 2015;14(4):979.
  18. Portier CJ. A comprehensive analysis of the animal carcinogenicity data for glyphosate from chronic exposure rodent carcinogenicity studies. *Environmental Health.* 2020;19(1):18. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00574-1>
  19. Townsend M, Peck C, Meng W, Heaton M, Robison R, O'Neill K. Evaluation of various glyphosate concentrations on DNA damage in human Raji cells and its impact on cytotoxicity. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2017;85:79-85. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.02.002>
  20. Thongprakaisang S, Thiantanawat A, Rangkadilok N, Suriyo T, Satayavivad J. Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors. *Food Chem Toxicol.* 2013;59:129-136. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.057>
  21. Hao Y, Xu W, Gao J, Zhang Y, Yang Y, Tao L. Roundup-induced AMPK/mTOR-mediated autophagy in human A549 cells. *J Agric Food Chem.* 2019;67(41):11364-11372. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04679>
  22. Rueda-Ruzafa L, Cruz F, Román P, Cardona D. Gut microbiota and neurological effects of glyphosate. *Neurotoxicology.* 2019;75:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2019.08.006>
  23. Instituto Nacional de Salud, Observatorio Nacional de Salud. Consecuencias del conflicto armado en salud en Colombia. Noveno Informe Técnico, 340 p. Bogotá, D. C. 2017. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/9%20>

Consecuencias%20del%20Conflicto%20Armado%20en%20la%20Salud%20en%20Colombia.pdf

24. Espinosa JE. Comentario. El glifosato no es la solución para Colombia. The New York Times, 15 de abril de 2019. Disponible en: <https://www.nytimes.com/es/2019/04/15/espanol/opinion/glifosato-colombia-duque.html> Consultado: 04/12/2020.
25. Camacho A, Mejía D. Consecuencias de la aspersión aérea en la salud: evidencia desde el caso colombiano. En: Universidad de los Andes (ed.). Costos económicos y sociales del conflicto en Colombia. ¿Cómo construir un posconflicto sostenible? 2014. p. 270. Disponible en: <http://cdn.ideaspaz.org/media/website/document/57d74f9405f4d.pdf>
26. Camacho GS, Herrera AV, Rincón DM, Ospina JE. Efectos del glifosato sobre la salud humana. El Centauro. 2016;8(11):71-86. <https://doi.org/10.18041/2027-1212/centauro.11.2016.2473>
27. Varona M, Henao GL, Díaz S, Lancheros A, Murcia Á, Rodríguez N, Álvarez VH. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. Biomédica. 2009;29(3):456-475. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v29i3.16>
28. Moreno T. Caso probable de muerte por glifosato relacionado con el programa de erradicación de cultivos ilícitos en la vereda La Guayacana, Tumaco, Nariño, abril de 2008. Informe Quincenal Epidemiológico, Instituto Nacional de Salud. 2008;13(12):177-183. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/IQEN/IQEN%20vol%2013%202008%20num%2012.pdf>
29. Avila-Vazquez M, Maturano E, Etchegoyen MA, Difilippo FS, Maclean B. Association between cancer and environmental exposure to glyphosate. IJCM. 2017;8(2):73-85. <https://doi.org/10.4236/ijcm.2017.82007>
30. Chaves VS, Islam MT, De Moraes MO, De Alencar MV, Gomes CV, De Carvalho RM, et al. Occupational and life-style factors-acquired mutagenicity in agric-workers of northeastern Brazil. Environ Sci Pollut Res Int. 2017;24(18):15454-15461. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9150-y>

31. Avila-Vazquez M, Difilippo FS, Mac-Lean B, Maturano E, Etchegoyen A. Environmental exposure to glyphosate and reproductive health impacts in agricultural population of Argentina. *J Environ Prot.* 2018;9(03):241. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.93016>
32. Zhao J, Pacenka S, Wu J, Richards BK, Steenhuis T, Simpson K, et al. Detection of glyphosate residues in companion animal feeds. *Environ Pollut.* 2018;243:1113-1118. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.100>
33. Martin-Culma NY, Arenas NE. Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado.* 2018;14(1):232-240. <https://doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27113>
34. Leoci R, Ruberti M. Glyphosate in agriculture: environmental persistence and effects on animals. A Review *J Agr Env Int Dev.* 2020;114(1):99-122. <https://doi.org/10.12895/jaeid.20201.1167>
35. Gill PK, Sethi N, Mohan A, Datta S, Girdhar M. Glyphosate toxicity for animals. *Environ Chem Lett.* 2018;16(2):401-426. <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0689-0>.

# Interacción social universitaria y extensión agropecuaria: complemento para el desarrollo rural y la formación del zootecnista

Sandra M. Cifuentes-Vargas<sup>1\*</sup> , Dairo E. Aldana-Castro<sup>1</sup> 

Cómo citar este artículo: Cifuentes-Vargas SM, Aldana-Castro DE. Interacción social universitaria y extensión agropecuaria: complemento para el desarrollo rural y la formación del zootecnista. *Revista Ciencias Agropecuarias*. 2020;6(2) p 83-90. DOI: xxx-xxx

1 Programa de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia).

\*Autor de correspondencia:  
smcifuentes@ucundinamarca.edu.co

## Resumen

Se presenta una propuesta estratégica, pedagógica y metodológica emergente de la extensión agropecuaria, una forma de interacción social universitaria pertinente en el corregimiento Sur Oriental de Fusagasugá, Cundinamarca. Desde la perspectiva de la educación superior, se articula con la educación media y básica rural y la comunidad, reconociendo la importancia de la interacción universitaria, el desarrollo rural como eje dinamizador socioeconómico del país y las regiones, y del trabajo de campo realizado por estudiantes, docentes, técnicos y ambientales de la Universidad de Cundinamarca, el Colegio Agropecuario Guavio Bajo y la comunidad en los núcleos temáticos de sociología rural y campo de aprendizaje económico administrativo. Este estudio contribuye a la reflexión sobre los aportes de la interacción universitaria a los procesos

**Palabras clave:**

responsabilidad social universitaria, extensión agropecuaria, extensión rural, desarrollo rural.

**Keywords:** *University*

*outreach, Agricultural interaction, Rural extension, Rural development.*

de extensión agropecuaria dispuestos por el Estado y a hacer visibles las contribuciones en la estructuración de herramientas metodológicas del aula coherentes con el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria que aportan a la competitividad, productividad y sostenibilidad.

## ¿Cuál es la extensión agropecuaria que Colombia demanda en la actualidad?

Una revisión con perspectiva histórica sobre las condiciones que determinan la acción de extensión agropecuaria contribuye a reconocer los referentes de sentido para una conciencia crítica en procesos de interacción de un programa con responsabilidad social por el desarrollo rural de Colombia, como lo es la zootecnia. En consecuencia, se observa cómo en el contexto de la Revolución Verde, esta acción se centró en la transferencia de tecnología, en camino a la modernización. Es decir, en tiempos de posguerra el acompañamiento fue basado en procesos de asistencia técnica, pero en adelante, la extensión agrícola tuvo un objetivo educativo relacionado con el cambio en lo rural, la modernización de la producción agrícola, la inclusión de operaciones mercantiles y el crédito <sup>(1)</sup>. Luego, se presentan las estrategias de acompañamiento para el desarrollo rural y, de igual forma, los aprendizajes y la cooperación hacia la innovación en los años noventa <sup>(2,3)</sup>. Puntualmente, la extensión rural ajusta lo metodológico de acuerdo con el territorio, y da respuesta al “dónde (aspecto contextual), al qué (aspecto conceptual), al cómo

(aspecto metodológico) y al para qué (aspecto teleológico) <sup>(4)</sup>. A través del tiempo, se han presentado diversas ambigüedades al respecto de su acción; no obstante, según Sánchez de Puerta (2003), al parecer se ha llegado a un acuerdo sobre la extensión rural, que se concibe como herramienta de intervención en procesos de desarrollo rural <sup>(5)</sup>.

Colombia, de forma emergente al Acuerdo de Paz, legitima un referente normativo con la Ley 1876, en diciembre de 2017; un marco conceptual para la comunidad rural y el país. Se trata de una propuesta para superar las ambigüedades y centrar la atención en la forma de hacer extensión agropecuaria. En este sentido, aunque en 1954 se involucra como servicio, es con esta ley que se da respuesta a los retos de la nueva ruralidad, al crear el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA), y de igual forma se resuelven discusiones conceptuales para orientar la acción de mejora en el campo. Puntualmente, en el título I, numeral 12, la define como el “proceso de acompañamiento mediante el cual se gestiona el desarrollo de capacidades de los productores agropecuarios, su articulación con el entorno y el acceso al conocimiento, tecnologías, productos y servicios de apoyo” <sup>(6)</sup>.

En el artículo 24, la misma ley la reconoce como un “servicio público de extensión agropecuaria”, que comprende acciones de acompañamiento integral orientadas a diagnosticar, recomendar, actualizar, capacitar, transferir, asistir, empoderar y generar competencias en los productores del sector agropecuario y direccionado hacia el fortalecimiento de la persona individual y colectiva, dirigidas a lograr la competitividad y productividad del sector agropecuario <sup>(6)</sup>.

## Experiencia de extensión agropecuaria para el desarrollo rural desde el aula UCundinamarca

En el marco de la responsabilidad social de la Universidad, se promueve una propuesta de extensión agropecuaria: estrategia pedagógica y metodológica para el desarrollo rural y la interacción universitaria pertinente, que busca convertir los sistemas productivos agropecuarios del corregimiento Sur Oriental de Fusagasugá en empresas rentables y socialmente sostenibles, a partir del acompañamiento mediado por la intervención de estudiantes y docentes como recurso para la apropiación de aprendizajes en el proceso de formación de profesionales para el sector agropecuario.

Para ello se aplicó una encuesta socioeconómica a 85 agricultores de la región, buscando reconocer los sistemas productivos agropecuarios del corregimiento, información que permitió iniciar un proceso de transferencia de campos de aprendizaje adquiridos en el aula de clase a los agricultores y sus familias, relacionados con el diagnóstico empresarial, proceso administrativo estratégico, perfil de proyectos y reconocimiento de territorio, enfocado a la metodología de investigación de Orlando Fals Borda.

## Del aula al campo de aprendizaje

Con la práctica en campo, el estudiante se direcciona a interactuar con las comunidades, trascendiendo a una experiencia pedagógica facilitadora en la descripción de realidades. Esta involucra al estudiante en una lectura e intervención multidimensional de las producciones y los territorios, en la que su aprendizaje es acción y generación de impactos, en cumplimiento de la extensión agropecuaria. En este sentido, se convierte en una estrategia pedagógica adicional, que contribuye a posicionar un alto nivel de responsabilidad de los diferentes actores intervinientes, lo que produce una mayor motivación en su proceso de instrucción, viendo materializado su aprendizaje con la comunidad (Figura 1).

## Una experiencia que se replica y estructura

El trabajo de campo se inició desde dos áreas de formación con 2 docentes, y en la actualidad se han vinculado 5 docentes, 100 estudiantes y 20 sistemas productivos del corregimiento Sur Oriental de Fusagasugá. En cada sistema productivo se ubicaron 5 estudiantes, que representan un campo de aprendizaje por estudiante, acompañamiento que se realiza a los sistemas productivos durante el semestre. También se genera un informe con los resultados obtenidos en la experiencia para la comunidad y se socializa ante un jurado integrado por docentes del programa de Zootecnia y la comunidad.

En el marco de esta actividad, se reconoce un método emergente de intervención social universitaria del programa de Zootecnia, desde una perspectiva multidimensional, estructurada



**Figura 1.** Experiencias de extensión agropecuaria en la UCundinamarca - Zootecnia

Fuente: UCundinamarca (2020).

en seis componentes o dimensiones: Desarrollo humano y social; Técnico; Económico y financiero; Mercadeo y asociatividad y, finalmente, Ciencia, tecnología e innovación. Lo anterior, en coherencia con los cinco aspectos que caracterizan el enfoque de extensión agropecuaria definido

a través del SNIA: desarrollo de capacidades humanas; desarrollo de capacidades colectivas o sociales; acceso y aprovechamiento a la investigación e innovación; uso sostenible de recursos, mitigación de impactos y cambio climático y, por último, el empoderamiento.

Como se observa en la Tabla 1, existe el enfoque exigido por la ley para extensión agropecuaria, el cual se cumple con esta dinámica, y se han logrado aprendizajes en los estudiantes y acompañamiento a las comunidades y los productores en la apropiación de herramientas de diagnóstico, planificación y seguimiento a la ejecución y dinamización de procesos de articulación entre diferentes actores sociales

del contexto rural. Adicionalmente, se nota el compromiso del docente en su rol de actor social de forma consecuente, al planificar la intervención y empoderar a sus estudiantes para la materialización de conocimientos, así como en el desarrollo de cualidades como extensionista desde el dominio de los saberes como zootecnista.

**Tabla 1. Dimensiones incluidas en formatos de diagnóstico de los proyectos de interacción social universitaria del programa de Zootecnia**

DIAGNÓSTICO COMUNITARIO								
DIAGNÓSTICO INDIVIDUAL/PRODUCCIÓN								
DIMENSIONES ESTRUCTURADAS DE ACUERDO CON NORMATIVIDAD VIGENTE Y RETOS DEL CONTEXTO								
1	2				3	4	5	6
D. D.LLO. HUMANO Y SOCIAL	Pilar SANIDAD Y BIENESTAR ANIMAL	Pilar MEJORAMIENTO GENETICO	Pilar REPRODUCCIÓN	Pilar NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN	D. AMBIENTAL	D. ECONOMICO, FINANZAS	D. MERCADEO Y ASOCIATIVIDAD	D. CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
	MANEJO INSTALACIONES REGISTRO TECNOLOGIA Preservación de Recursos naturales	MANEJO INSTALACIONES REGISTRO TECNOLOGIA Preservación de Recursos naturales	MANEJO INSTALACIONES REGISTRO TECNOLOGIA Preservación de Recursos naturales	MANEJO INSTALACIONES REGISTRO TECNOLOGIA Preservación de Recursos naturales	MANEJO INSTALACIONES REGISTRO TECNOLOGIA Preservación de Recursos naturales			
ENFOQUES DE EXTENSIÓN AGROPECUARIA SEGÚN LEY 1876 DE 2017								
Enfoque 1 Desarrollo de Capacidades humanas Enfoque 2 Desarrollo de capacidades sociales Enfoque 5 Desarrollo de habilidades para la participación en política y solución de problemas	Enfoque 3 Acceso y aprovechamiento efectivo de información Solución de problemas con innovación y aplicaciones tecnológicas. Investigación Participativa Uso de TICs				Enfoque 4 Uso sostenible de recursos Naturales Mitigación de impacto ambiental Adaptación a cambio climático	Enfoque 2 Desarrollo de capacidades sociales y de fortalecimiento de la asociatividad. Enfoque 5 Desarrollo de habilidades para la participación en política y solución de problemas		
PLANIFICACION - PLANES DE MEJORA – PLANES DE ACCIÓN								
EJECUCIÓN - INTERVENCIÓN SEGÚN AVANCES								

De igual forma, desde la presente experiencia se ha consolidado una ruta metodológica con algunos recursos propios, como formatos, instrumentos, formularios, diarios de campo, entre otros. El trabajo sistemático que surge desde hace más de 10 años ha permitido la socialización de experiencias lideradas por diferentes docentes con logros visibles en

sistemas productivos, instituciones educativas rurales y diversos gremios, comunidades con impactos en diferentes territorios. Dicho proceso consiste principalmente en 6 momentos, desde el reconocimiento de problemas con la participación de la comunidad hasta el apoyo en la articulación y gestión de recursos tal como se estructura en la tabla 2.

**Tabla 2. Proceso metodológico emergente de la interacción social del programa de Zootecnia**

MOMENTO	RUTA DE INTERVENCIÓN	ACTORES	ACCIONES REALIZADAS/ PROYECTADAS	RECURSOS	INSTRUMENTOS	PRODUCTOS BIENES/ SERVICIOS
1	IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y COMUNIDADES POR INTERVENIR	Juntas de Acción Comunal. Consejos Municipales de Desarrollo Rural. Producciones. Comunidades. Instituciones educativas. Otros.	Selección de comunidades por intervenir. Reunión o visita a comunidades o grupos sociales.	Matriz Vester DOFA	Formato Excel	Artículo. Documento de observaciones realizadas en jornadas de sensibilización y apropiación de metodologías.
2	IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES INICIALES DE PRODUCCIÓN PECUARIA	Producciones	-Definición de dimensiones por identificar. Cuadro 1. -Aplicación de instrumento de caracterización o diagnóstico multidimensional. -Evaluación diagnóstica.	-Recolección de información primaria con tecnología GNSS, Sistema de Posicionamiento Global por Satélite. -Diagnóstico Rápido Participativo, DRP.	Geoformularios. Instrumento diagnóstico común. Diarios de campo, entrevistas, encuestas, cuestionarios.	Artículo. Bases de datos. Aplicación o programa de recolección de datos.
3	PLANIFICACIÓN	Productor	-Elaboración de instrumentos de planificación. -Definición de referentes (normas, metas de producción, etc.). -Estructurar planificación con productor. -Divulgación o socialización de planificación a operarios. -Capacitaciones en temas específicos de acuerdo con necesidades de conocimiento identificadas en los operarios (para la planificación).	Planificación estratégica participativa. Método CANVAS.	-Matriz de Planeación Estratégica. -Documento Excel. Método CANVAS.	Se vincularon 30 estudiantes y 5 docentes.
4	INTERVENCIÓN	Productor, docente y estudiantes.	-Acompañamiento en la ejecución de acciones planificadas. -Capacitaciones en temas específicos de acuerdo con necesidades de conocimiento identificadas en los operarios (para la ejecución).	Marco lógico. POE. Demostraciones de método. Días de campo.	Diarios de campo electrónicos.	Se realizan registros, documentos, talleres, días de campo, demostraciones de método.
5	EVALUACIÓN DE INTERVENCIÓN	Productor, docente y estudiantes.	Identificar y analizar variables: número de acciones planificadas vs. número de acciones logradas o ejecutadas.	Estadística descriptiva.	Documento Excel.	Se elaborará documento de análisis.
6	IDENTIFICACIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS DE ARTICULACIÓN	Equipo docente del Proyecto Responsabilidad Social del Zootecnista.	-Consolidar base de datos de los trabajos o proyectos realizados. -Reuniones para identificar proyectos comunes. -Empoderamiento de comunidades. -Contacto con entidades. -Presentaciones de proyecto, logros y comunidades. -Consolidación de Observatorio. - Consultorio Pecuario.	Investigación, Acción Participación (IAP).	Base de datos.	Se consolidarán bases de datos.

## Nuestros logros

Si bien se logró identificar y visibilizar una forma compartida de realizar intervención en el programa de Zootecnia, como una metodología que incluye métodos, actividades, técnicas y procedimientos, en adelante se requiere investigar cuantitativa y cualitativamente el impacto logrado en cada uno de los momentos, desde el desarrollo de los diferentes proyectos de intervención universitaria, y dar continuidad a nuevas actividades que, de igual manera, surgen como productos adicionales, por ejemplo, la construcción de planes de desarrollo para el corregimiento Sur Oriental de Fusagasugá. Asimismo, la apertura de escenarios de diálogo, los convenios y acuerdos entre entidades, direccionados desde la participación de estudiantes y docentes en colectivos como los

Consejos Municipales de Desarrollo Rural y las Juntas de Acción Comunal, entre otros.

Además, se resalta el intercambio de conocimiento que se ha presentado en la implementación de programas y propuestas metodológicas, pues debe existir una clara relación entre el ente formador —como lo es la Universidad— y el ente beneficiario, actor fundamental en estos procesos —como lo son los productores—. Finalmente, como institución de educación superior, la Universidad de Cundinamarca hace visible su compromiso y cumplimiento en la formación de profesionales con capacidad de responder a los desafíos de la dinámica rural y los lineamientos legales propuestos por el Estado, generando espacios que le apuntan al mejoramiento de la competitividad, la productividad y la innovación agropecuaria.

## Referencias

1. Barrientos, M. Revisión: la extensión agropecuaria en la República Argentina durante el siglo XX. FAVE Sección Ciencias Agrarias. 2008;7(1/2):137-151. <https://doi.org/10.14409/fa.v7i1/2.1337>
2. Thiele G, Nelson R, Ortiz O, Sherwood S. Investigación participativa y capacitación: diez lecciones sobre las escuelas de campo de agricultores. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú, 2002. Disponible en: <https://studylib.es/doc/8658019/diez-lecciones-sobre-las-escuelas-de-campo-de-agricultores> Consultado 28/11/2020.
3. Eschenhagen-Durán ML. Un viaje por las alternativas del desarrollo. Perspectivas y propuestas teóricas. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario, Coedición Universidad Pontificia Bolivariana, 2014. Disponible en: <https://editorial.urosario.edu.co/gpd-un-viaje-por-las-alternativas-al-desarrollo-perspectivas-y-propuestas-teoricas.html> Consultado 18/10/2020.

4. Barrientos M, Bergamín G. Metodología, en extensión rural. 2015. Disponible en: <http://www.agro.unc.edu.ar/~extrural/Metodologia.pdf> Consultado 04/12/2020.
5. Rodríguez López J. Agroecología, desarrollo, comunicación y extensión rural: la construcción de un paradigma ecosocial en Iberoamérica. Ponencia, Seminario Internacional de Agroecología, 2003. Disponible en: [https://www.academia.edu/27482134/Agroecolog%C3%ADa\\_desarrollo\\_comunicaci%C3%B3n\\_y\\_extensi%C3%B3n\\_rural\\_La\\_construcci%C3%B3n\\_de\\_un\\_paradigma\\_ecosocial\\_en\\_Iberoam%C3%A9rica\\_1](https://www.academia.edu/27482134/Agroecolog%C3%ADa_desarrollo_comunicaci%C3%B3n_y_extensi%C3%B3n_rural_La_construcci%C3%B3n_de_un_paradigma_ecosocial_en_Iberoam%C3%A9rica_1)
6. Congreso de la República de Colombia. Ley 1876. Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria. Diciembre 29 de 2017.



Proyecto de cooperación internacional I-COOP+2018 (Ref. COOPA20334).  
Instituciones: Universidad de Cundinamarca, Universidad Santo Tomás, Politécnico Grancolombiano (POLI), Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC) e Instituto de Ciencias Agrarias (ICA-CSIC).

El suelo es un componente crucial de la biosfera, no renovable a escala humana y condicionante fundamental para la productividad de los ecosistemas terrestres. Se estima que alrededor del 15 % de la superficie terrestre se ha degradado por causa de la actividad humana, como por ejemplo la explotación intensiva o la deforestación. Problemas que actualmente padecen algunos ecosistemas como el Mediterráneo y el bosque tropical seco.

Este proyecto de cooperación pretende fomentar el intercambio de conocimiento y el apoyo tecnológico en relación con las estrategias para la recuperación de suelos degradados. Los investigadores del IRNAS-CSIC poseen una experiencia de más de veinte años en la gestión de suelos degradados y tienen a su disposición el equipamiento científico necesario. Los investigadores de las instituciones colombianas tienen competencias en la identificación de problemáticas ambientales, el manejo de los sistemas de

información geográfica y la valorización biológica de residuos orgánicos. Esta cooperación permitirá elegir estrategias más sostenibles de gestión de suelos degradados y desarrollo sostenible, y además mitigar la fragmentación del conocimiento en este asunto de actualidad.

Adecuación del proyecto a los objetivos de desarrollo sostenible: el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha establecido una serie de objetivos del milenio para “optar por medidas que promuevan el fin de la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad”. Estas metas son consideradas como grandes retos sin importar la nación que considere implementarlas, puesto que el mundo sufre de forma constante cambios de orden social y ambiental, principalmente orquestados por el ser humano. Una de las acciones que podría desencadenar una serie de cambios positivos en todos los sistemas, es la ejecución de proyectos que promuevan el desarrollo de la investigación, innovación y formación, tal como los programas de cooperación científica, i-COOP-2018. Por ello, este proyecto contribuirá a la divulgación de algunos principios básicos de importancia estratégica, tales como el respeto al medioambiente y la economía productiva sostenible. Todo ello, mediante el intercambio de conocimiento a través de una red de investigación trasnacional para el estudio y correcto aprovechamiento del recurso suelo, en ambientes de tipo Mediterráneo y de bosque seco tropical.

Es importante resaltar la evolución y los actuales retos sociales que presenta la Unión Europea (UE) en cuanto a la generación y aplicación del conocimiento en pro del desarrollo sostenible, tal como se ha

promovido mediante el programa Horizonte 2020 (literalmente “to establish and promote a network of public procurers in the area of soil decontamination/ remediation, with a focus on sustainable methods which in particular avoid ‘dig and dump’”) para la financiación de proyectos de investigación e innovación. Además, este proyecto encaja perfectamente en los retos I, II y V de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020.

Los proyectos de cooperación internacional pueden influir efectivamente en los procesos de investigación y formación de profesionales de países en vías de desarrollo, y son estos últimos agentes que transmiten el conocimiento y son generadores de cambio en busca de una sostenibilidad socioambiental, en actividades técnicas que van de la mano con el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 15, que consiste en “gestionar sosteniblemente los bosques, luchas contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad”, todo ello encaminado a la obtención de sistemas agrícolas sostenibles que posibiliten que la región de interés cuente con distintas estrategias para alcanzar un trabajo decente, una responsabilidad ambiental y un crecimiento económico sostenido.

A continuación, se presentan los resúmenes de las conferencias realizadas por el equipo de profesionales que hacen parte de este proyecto de cooperación, durante el webinar de la IV Semana Ingeambiental “En la ruta de un futuro sustentable”, realizado del 13 al 16 de octubre de 2020 y gestionado por el programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cundinamarca.

### **Comité organizador**

Semana Ingeambiental “En la ruta de un futuro sustentable”

Programa de Ingeniería Ambiental

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad de Cundinamarca

## Uso de la RMN de estado sólido para el análisis de suelos

Heike Knicker<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), avenida Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla (España).

\* Autor de correspondencia:  
knicker@irnase.csic.es

**Palabras clave:** materia orgánica de suelo, humificación, análisis cuantitativo, RMN de 1D y 2D, CPMAS.

Los suelos representan ecosistemas muy frágiles. Por lo tanto, desarrollar estrategias para mantener y proteger suelos ecológicamente equilibrados será un desafío importante para los próximos años. Para lograr este objetivo, un mejor conocimiento sobre la función de la materia orgánica del suelo (MOS) como sumideros, reguladores y reactores es ciertamente de gran ayuda. Un enfoque para estudiar la MOS con su parte casi insoluble representa la espectroscopia de RMN <sup>13</sup>C y <sup>15</sup>N en estado sólido, que después de su introducción en las ciencias del suelo se convirtió en una herramienta ampliamente utilizada para su caracterización química. En particular, su independencia de los disolventes convierte a la espectroscopia de RMN en estado sólido en una alternativa potente que permite de forma concomitante una caracterización cualitativa y cuantitativa de una muestra sin extracción previa.

La intención de este webinar de cooperación internacional es dar una breve introducción a las posibilidades de esta técnica como herramienta analítica en la ciencia del suelo y proporcionar un resumen de los antecedentes teóricos.

Aparte de ejemplos de cómo utilizar RMN de estado sólido para el análisis cualitativo y cuantitativo de la MOS y su cambio como consecuencia del manejo del suelo, la humificación o de incendios, se darán perspectivas para el examen detallado de las interacciones entre contaminantes y MOS. Por lo general, la MOS se estudia mediante espectroscopia de RMN unidimensional (1D) con la técnica de la polarización cruzada y la rotación al ángulo mágico (CP/MAS), lo que implica líneas amplias y baja resolución. Se presentarán ejemplos de como este inconveniente puede ser superado mediante el uso de secuencias de pulsos de RMN en dos dimensiones (2D). Sin embargo, debido a la baja sensibilidad de las muestras de MOS, este enfoque se consideró durante mucho tiempo inviable, pero las nuevas mejoras instrumentales pusieron al alcance su aplicación en las ciencias ambientales.

# Estrategias para la recuperación de suelos degradados incluyendo el uso de enmiendas orgánicas

Rafael López Núñez<sup>1\*</sup>

1 Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), avenida Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla (España).

\* Autor de correspondencia: rafael.lopez@csic.es

**Introducción:** los suelos están sometidos a presiones, en gran medida de origen antrópico, que causan una pérdida de calidad y de su capacidad para la provisión de funciones ecosistémicas vitales para la naturaleza y para la sostenibilidad de las sociedades humanas. Nuestro conocimiento ha avanzado hasta el punto de poder prevenir y recuperar los suelos haciendo uso de diversas estrategias.

**Objetivo:** en esta presentación se revisarán las principales amenazas a las que se enfrenta el suelo, y las estrategias disponibles para prevenir y recuperar suelos contaminados o degradados.

**Metodología:** especial atención se prestará a la acción protectora y beneficiosa de la materia orgánica del suelo que puede ser incrementada en el suelo mediante el uso de enmiendas orgánicas y a los mecanismos de acción del compost y de los fertilizantes orgánicos.

**Resultados:** como caso de éxito se recogerán las acciones y los resultados de la zona afectada por el vertido minero al río Guadiamar (Aznalcóllar, Sevilla, España).

## Palabras clave:

recuperación de suelos,  
materia orgánica del suelo,  
compost, metales pesados.

# Papel del biochar como enmienda sostenible en un contexto de cambio climático

José María de la Rosa<sup>1\*</sup>

1 Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), avenida Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla (España).

\* Autor de correspondencia:  
jmrosa@irnas.csic.es

**Palabras clave:** materia orgánica del suelo, economía circular, calidad del suelo, emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O.

Los efectos derivados del cambio climático, unidos a un manejo indebido de los suelos agrícolas y la sobreexplotación de este recurso, han contribuido a su degradación acelerada. Los suelos pierden paulatinamente capacidad productiva y requieren aportes adicionales de fertilizantes minerales, con el consiguiente consumo de recursos naturales y perjuicio económico. El suelo es un componente crucial de la biosfera, no renovable a escala humana y un condicionante fundamental para la productividad y conservación de los ecosistemas terrestres. Además, la agricultura es uno de los pilares económicos mundiales y se enfrenta en la actualidad a un reto complejo: la necesidad de proveer alimento a una población mundial en constante aumento. La materia orgánica del suelo (MOS) es uno de los factores determinantes de su calidad y salud, de ahí que mantener o incrementar los niveles de MOS y una gestión sostenible de la biomasa sean probablemente las herramientas más factibles para mitigar los problemas medioambientales de mayor impacto en la actualidad como son el cambio climático y la desertización. Junto a esto, el aumento en la generación de residuos orgánicos en todo el mundo plantea un problema que requiere una solución inmediata. Una de las alternativas más prometedoras es la transformación de residuos agroforestales en biochar, que es una forma de materia orgánica producida a partir de la pirolisis de biomasa residual y que puede ser aplicada como enmienda orgánica en el suelo. La recalcitrancia del biochar, unida a sus propiedades físicas y químicas de interés agronómico como son su alta capacidad de cambio catiónico, capacidad de retención de hídrica y porosidad, han llevado a proponer el uso de esta forma de MOS pirogénica como enmienda que podría permitir: i) mejorar la calidad y la fertilidad de los suelos degradados, ii) reducir la cantidad de desechos orgánicos de una manera racional y respetuosa con el medioambiente de acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible y economía circular, y iii) revertir la pérdida de carbono orgánico en los suelos. Pero para que esto sea posible es imprescindible: 1) que el biochar cumpla con unos requisitos de seguridad toxicológica y estabilidad, 2) adaptar las propiedades y características del biochar a las necesidades del suelo por recuperar y 3) que el biochar sea producido utilizando residuos agroforestales y la mejor tecnología posible que permita el reciclado de los gases y líquidos combustibles, evitando así la liberación a la atmósfera de gases de efecto invernadero. Todos estos aspectos serán tratados en esta conferencia.

# Aplicación de biochar para la recuperación de suelos contaminados por elementos traza

Paloma Campos<sup>1\*</sup>

1 Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), avenida Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla (España).

\* Autor de correspondencia:  
pcampos@irnas.csic.es

## Palabras clave:

recuperación de suelos, biochar, metales pesados, adsorción, comunidad microbiana.

**Introducción:** la contaminación de suelos por elementos traza es un problema mundial. En 1998 ocurrió uno de los accidentes mineros más grandes en Europa, en el que la rotura de la balsa que contenía lodos tóxicos y aguas ácidas contaminaron una superficie mayor a 4000 ha. Actualmente se encuentran altas concentraciones de elementos traza en unas 200 ha de los suelos afectados. El biochar ha sido propuesto como herramienta para la recuperación de suelos contaminados.

**Objetivo:** determinar la capacidad de adsorber elementos traza de dos biochars producidos a partir de residuos agrícolas y los efectos de su aplicación sobre las propiedades del suelo, la vegetación y las comunidades microbianas.

**Metodología:** se realizó un ensayo de adsorción en solución acuosa y posteriormente un experimento de campo de dos años de duración en el que los suelos contaminados fueron enmendados con 8 ton ha<sup>-1</sup> de biochar.

**Resultados:** el biochar producido a partir de cascarilla de arroz presentó mayor eficiencia de eliminación de Cu<sup>2+</sup> y Pb<sup>2+</sup> en solución acuosa. Aun así, los dos biochars estudiados favorecieron la recuperación de la cobertura vegetal del suelo y modificaron la comunidad microbiana. El uso de estas enmiendas no modificó las emisiones de CO<sub>2</sub> del suelo posiblemente indicando el probable secuestro de C.

**Conclusión:** es imprescindible seleccionar correctamente la biomasa para producir el biochar, debido a que presentan grandes diferencias en la capacidad de adsorción. El biochar es una herramienta eficaz para mejorar las propiedades de suelos contaminados por elementos traza.

# Almacenamiento de carbono en suelos degradados y entornos urbanos:

## papel de la economía circular aplicada a la agricultura y a la mitigación del cambio climático

Marco Panettieri <sup>1\*</sup>

1 Instituto de Ciencias Agrarias (ICA-CSIC), c/Serrano 115-B, 28006, Madrid (España).

\* Autor de correspondencia: marco.panettieri@csic.es

### Palabras clave:

almacenamiento de carbono, materia orgánica del suelo, agricultura sostenible, agricultura urbana, biorremediación.

El suelo es el segundo mayor reservorio de carbono del planeta después de los océanos y tiene un papel importante en la regulación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, las políticas sobre el uso del suelo nunca han sido prioritarias en la discusión pública. En los últimos cinco años estamos viviendo un cambio importante en esa estrategia, y el secuestro de carbono en suelos está cada vez más presente en las discusiones institucionales, en la divulgación y en la opinión pública.

En este sentido, los científicos tenemos un rol clave para contribuir a elegir, calibrar e implementar las prácticas más sostenibles para el uso del suelo. En la inmensa variabilidad de los agroecosistemas, la sustracción de materia orgánica en forma de biomasa o de productos agroalimentarios y su pérdida por los ciclos biogeoquímicos tiene que ser compensada por aportes de restos de cultivo o de enmiendas orgánicas, en un marco de economía circular. Establecer un equilibrio sostenible entre la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos del suelo y los aportes de nueva materia orgánica sin perjudicar la producción agrícola forma parte del gran desafío alimentario de este siglo.

Además, necesitamos profundizar el conocimiento sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos y de las comunidades de organismos que proliferan en él, para refinar los modelos de predicción y proporcionar una herramienta más para la toma de decisiones.

Preservar los suelos fértiles, recuperar suelos degradados, desérticos o contaminados, así como vegetalizar los entornos urbanos ya está en la agenda de los gobiernos y de las instituciones internacionales. Es el momento de trasladar a la sociedad estas pautas.

# Índices de vegetación aplicados a la conservación del bosque seco tropical

Héctor Fabio Cruz Cuellar1\*

1 Universidad de Cundinamarca, Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias, seccional Girardot (Colombia).

\* Autor de correspondencia:  
hfabiocruz@ucundinamarca.edu.co

**Palabras clave:** sistemas de información geográfica, conservación del suelo, bosque seco tropical.

Presentación elaborada en la IV Semana Ingeambiental, seccional Girardot. La temática llevada a cabo, corresponde con el enfoque pertinente con base en la importancia de la conservación del ecosistema estratégico bosques secos tropicales de nuestra región, que equivalen al 42 % de los ecosistemas tropicales del mundo. Así mismo, se ilustraron conceptos básicos sobre índices de vegetación aplicados a dicho ecosistema, con énfasis en la importancia de la determinación de usos de suelos que a consecuencia de actividades como el pastoreo para ganadería extensiva, la agricultura (arroz), han ido fragmentando los pocos relictos y fragmentos del bosque seco tropical; el área de análisis de los estudiantes de ingeniería ambiental corresponde a la región del Alto Valle del Magdalena, en el que además se han adelantado diferentes trabajos de grado y que fueron expuestos en dicha conferencia.

Los estudios han consistido básicamente en la aplicación de índices de vegetación para determinar impactos por incendios forestales, deforestación, cambios de usos del suelo —entre otros—, y cómo estas actividades afectan al bosque seco tropical y las condiciones del suelo. Adicionalmente, se están realizando modelos de predicción de sitios potenciales para establecer programas de energía renovable para el Alto Valle del Magdalena.

# ¿Contaminantes emergentes en la provincia del Alto Magdalena?

John Jairo Sandoval Valencia<sup>1\*</sup>, Jack Fran García<sup>1</sup>, Edna Carolina Torres Cortés<sup>1</sup>

1 Universidad de Cundinamarca, Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias, seccional Girardot (Colombia).

\* Autor de correspondencia: jjairosandoval@ucundinamarca.edu.co

## Palabras clave:

tratamiento de aguas, fotocátálisis, Girardot, Cundinamarca.

Gran parte de las fuentes de agua dulce en Colombia están siendo contaminadas por los incontrolados vertimientos de aguas residuales de origen doméstico e industrial (extracción minera e hidrocarburos, aplicaciones agrícolas y otros procesos que involucran la transformación de la materia y la energía). Las afectaciones del recurso hídrico nacional se deben a varios factores, de los cuales hay que resaltar los siguientes: i) Falta de políticas para la formulación, el seguimiento y control de proyectos destinados a la preservación del recurso agua. Además, que garanticen su ejecución y minimicen aspectos relacionados a la corrupción. ii) Aproximadamente el 48 % de los municipios de Colombia cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y se desconoce con exactitud la eficiencia del tratamiento, lo cual es una cifra preocupante en términos de conservación de los ecosistemas. iii) La sociedad requiere incorporar y poner en práctica el concepto de desarrollo sostenible. Situaciones que no pasan desapercibidas en la provincia del Alto Magdalena (Colombia), por ejemplo, los casos de estudios ambientales sobre el río Bogotá.

A pesar de todas las fuentes antrópicas consideradas, el crecimiento poblacional y el uso de millones de productos aparentemente inocuos son importantes para asegurar en todos los aspectos la calidad del agua. La resiliencia del medioambiente para la degradabilidad e inmovilización de sustancias químicas, la baja concentración y el uso de los convencionales métodos para la potabilización de aguas (coagulación-floculación y técnicas de filtración) han restado importancia a los principios activos o componentes de dichos productos de uso común.

Sin embargo, con los nuevos avances tecnológicos para la detección y cuantificación de sustancias, se ha demostrado que existe un amplio espectro de moléculas orgánicas e inorgánicas en fuentes hídricas superficiales e incluso en agua potable, que, según su concentración y exposición, están asociadas al deterioro de la salud de las personas y a cambios fisiológicos u hormonales en los seres vivos más vulnerables. Las sustancias resultantes de productos farmacéuticos (antibióticos,

analgésicos, etc.), drogas ilegales, hormonas sexuales, anticonceptivos, productos personales (perfumes, insecticidas y demás), antisépticos, aditivos, nano partículas, detergentes, productos de desinfección y aditivos, entre otros, son considerados contaminantes emergentes (CE).

El constante ingreso de CE al recurso agua hace necesario intensificar los estudios, la normatividad y la puesta en marcha de procesos sostenibles.

# Uso de residuos orgánicos en Colombia para la obtención de biogás, hidrógeno, compost y productos de valor agregado desde el concepto de biorrefinería

Iván Cabeza Rojas<sup>1\*</sup>, Paola Andrea Acevedo Pabón<sup>2</sup>, Jhessica Daniela Mosquera Tobar<sup>2</sup>

1 Facultad de Ingeniería, Diseño e Innovación, Politécnico Gran Colombiano, Bogotá (Colombia).

2 Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá (Colombia).

\* Autor de correspondencia: [icabeza@poligran.edu.co](mailto:icabeza@poligran.edu.co)

## Palabras clave:

biorrefinería, biomasa residual, digestión anaerobia, fermentación oscura, biogás, biohidrógeno.

En Colombia, la demanda energética nacional ha tenido un crecimiento sostenido en las últimas décadas. Se estima que entre el 2016 y el 2030 la demanda crecerá en un 52 %. Por otra parte, la biomasa para la producción de energía y productos de valor agregado representa una alternativa para la valorización de residuos orgánicos a través de procesos de bioconversión como la digestión anaerobia, la fermentación oscura y el compostaje. Adicionalmente, estas alternativas permiten reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el uso de combustibles fósiles y la incorrecta gestión de los residuos. El curso pretende brindar un panorama sobre la producción de biocombustibles y productos de valor agregado desde el concepto de biorrefinerías a partir de biomasa residual. La sesión da una visión global sobre los resultados más importantes en términos de investigación en el área y las implicaciones operativas que tendría la implementación de tecnologías similares en diversas regiones del país donde se generan los residuos orgánicos evaluados. Se logró un comportamiento estable en la mayoría de los experimentos propuestos como piloto, con producciones entre 400 y 2000 mL d<sup>-1</sup> y bajos valores de producción de ácidos grasos volátiles en los sistemas. El tiempo de estabilización de los procesos en semicontinuo para las cargas manejadas estuvo en el orden de 14 días. Por otra parte, la concentración máxima de metano en los ensayos fue del 62,5 %, lo que indica su potencial de implementación. Los resultados permiten inferir que los sistemas agroindustriales pueden ser una fuente de ingresos positivos, al minimizar los costos operativos en estos sectores. Todo esto se logra generando biogás, ácidos grasos volátiles o biopolímeros.



**IV SEMANA INGEAMBIENTAL 2020**  
“En la ruta de un futuro sustentable”  
13 al 16 de octubre

**WEBINAR** | OCTUBRE  
14 y 15

“Transferencia de conocimientos para la recuperación de suelos degradados bajo ecosistemas de bosque seco tropical (Colombia) y mediterráneo (España)”

Programa CSIC de Cooperación Científica para el Desarrollo i-COOP



@ucundinamarcaoficial



@ucundinamarcaTV

Organiza y apoya



Mayor información

jjairosandoval@ucundinamarca.edu.co  
icabeza@poligran.edu.co

## **Primer Congreso Internacional Lácteo y Segundo Congreso Departamental Lácteo**

“Desarrollo sostenible y modernización del sector lácteo”

**Programa de Zootecnia, seccional Ubaté. Facultad de  
Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca**

Temas: producción lechera en el trópico; alta calidad e inocuidad láctea; la fisiología de la reproducción; la renovación, rotación y el manejo de praderas; y formulación de raciones y buenas prácticas ganaderas, entre otros.

6 de noviembre del 2020 con transmisión por medio de la *fanpage* en Facebook: UCundinamarca Seccional Ubaté.

## La espectroscopia de infrarrojo cercano NIRS:

### un apoyo operativo y táctico en sistemas de la alimentación de vacas de leche

Claudia Ariza-Nieto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Corporación Colombiana de  
Investigación Agropecuaria  
(Agrosavia) - Tibaitatá

\* Autor de correspondencia: cariza@  
agrosavia.co

**Palabras clave:** forrajes,  
valor nutricional,  
digestibilidad, consumo  
voluntario.

La diversidad de pasturas y sus arreglos espaciales en finca y en el paisaje de cuencas y microcuencas recrea la sostenibilidad de los sistemas especializados de leche en Colombia. Los pastos proveen, a bajo costo, materia seca y nutrientes a las vacas de leche, lo que contribuye a la eficiencia y eficacia de su producción. El conocimiento de los cambios estacionales en la concentración de nutrientes y su balance con los requerimientos del animal disminuye la demanda por la tierra y posibilita un mejor entendimiento por parte de los productores. En años recientes, los métodos tradicionales de valoración nutricional de los recursos alimenticios han sido reemplazados por la tecnología NIRS, que permite monitorear los cambios estacionales de nutrientes de diferentes tipos de pasturas y sistemas de pastoreo, corte o de forrajes conservados. Igualmente, esta tecnología NIRS también se utiliza para predecir la digestibilidad e ingestión de materia seca con precisión y exactitud. La adopción de la tecnología NIRS en las fincas mejora la disponibilidad de nutrientes en las pasturas, reduce los costos de producción y el potencial de pérdidas, a través de un mejor manejo del sistema suelo-planta-animal. La tecnología NIRS ayuda a identificar los cambios temporales (estacionales) o espaciales (dentro o entre potreros) que impactan los forrajes utilizados en pastoreo, para corte y conservados. En general, un monitoreo preciso y exacto de las pasturas mejora la sostenibilidad de los sistemas de producción al incrementar la utilización operativa del recurso forrajero y mejorar tácticamente la producción de leche.

# Programa Nacional de Ganadería Sostenible (PNGS)

*Carlos Germán Osorio<sup>1</sup>, Olber Arturo Ayala<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Federación Colombiana de Ganaderos - Fondo Nacional del Ganado (FNG).

\* Autor de correspondencia: olber.ayala@fedegan-fng.org.co

**Palabras clave:** bovinos, sostenibilidad, proyectos, gestión, conocimiento.

El PNGS es un instrumento de política gremial, propuesto por Fedegán - FNG desde el 2019, que tiene como fin consolidar al sector ganadero colombiano, como prestador de servicios ecosistémicos sostenibles (carne y leche), que generen bienestar a los consumidores nacionales e internacionales. Busca incrementar el uso del conocimiento técnico-científico por parte de los productores, en las ganaderías bovinas del país, para avanzar en la reconversión e intensificación productiva baja en carbono, que dé capacidades para la adaptación al cambio climático y la gestión de la biodiversidad. Desarrolla proyectos de investigación, extensión y formación con instituciones públicas y privadas. Algunos resultados son: proyecto “Investigación aplicada para el incremento del uso del conocimiento técnico o científico por parte de los ganaderos del departamento del Cesar”, aprobado en octubre del 2019 por el OCAD del Fondo de CTel; 11 convenios con universidades para 17 sedes de pasantías; convenio de cooperación con el Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena), con más de 10 500 ganaderos en cursos de formación en temas asociados a la ganadería y más de 3000 personas certificadas en competencias laborales. Se han gestionado más de 18 000 millones y formulado 52 perfiles de proyectos para organizaciones ganaderas, en las convocatorias de Alianzas Productivas y Proyectos Productivos de ADR. Con Agrosavia se está trabajando de manera articulada en la ejecución de los planes de vinculación en las regiones ganaderas del país, y con el CIAT se está adelantando el proyecto PIR PAG en la Orinoquía, el Caribe y el Magdalena Medio.

# Renovación e intersembras de policultivos en praderas de lechería especializada en el trópico alto colombiano

Carlos Enrique Londoño Vélez<sup>1</sup>, J. H. Arguelles<sup>2</sup>, L. Sánchez<sup>2</sup> y J. Castillo<sup>2</sup>

1 Universidad de Cundinamarca.  
2 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) C. I. Tibaitatá, Sabana de Bogotá (Colombia).

\*Autores de correspondencia:  
caenlove15@yahoo.es /  
clondono@ucundinamarca.edu.co

**Palabras clave:** producción de leche, rehabilitación de praderas, competitividad, sostenibilidad, unidad de área.

La presencia de la hierba kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en el 100 % en la ganadería de leche especializada del trópico alto colombiano, cuya productividad depende de factores como clima, suelo, fertilización, estacionalidad e indicadores de degradación de suelos y praderas, genera impactos negativos en la eficiencia biológica y económica de los hatos lecheros. Dicha cultura acumulada sobre esta especie nos permitió asegurar que el problema global planteado no se soluciona sustituyendo al kikuyo, sino ayudando a esta planta naturalizada, para que disminuyan los niveles de degradación. El presente resumen son resultados obtenidos por Agrosavia, a través de la oferta tecnológica para la recuperación de suelos y renovación de praderas para mejorar la competitividad de los sistemas de producción de leche especializada del trópico alto colombiano, el cual demostró el efecto benéfico de técnicas sobre indicadores de productividad, competitividad y manejo sostenible de los recursos suelos y praderas, evaluando sistemas de labranza vertical e introduciendo especies forrajeras (siembras directas de policultivos con raigrases y tréboles). Se hizo seguimiento a praderas intervenidas y no intervenidas y se evaluó la productividad por área de superficie (materia seca y leche) y costos de producción del efecto de las tecnologías aplicadas. Se presentaron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ), en las variables de estudio, las praderas renovadas duplicaron la oferta de pastos (acumulada/año 60 % superior) y se produjeron incrementos en indicadores del suelo, calidad del forraje y capacidad de carga. La labranza vertical permite mejorar las características físicas de los suelos, sin embargo, se presenta un balance energético negativo en las dietas de vacas lecheras, debido al alto contenido de N en el pasto renovado/ofertado, el cual con cultivos temporales podría desempeñar una solución para el déficit energético. Los sistemas silvopastoriles se constituyen en alternativas con alto potencial para el manejo sostenible de praderas al considerar su efecto benéfico sobre disponibilidad y calidad nutricional, carga animal y servicios ambientales.

# Importancia del metabolismo energético sobre la eficiencia productiva y rentabilidad en vacas lecheras a pastoreo

Gerardo López-García<sup>1\*</sup>

1 Doctorando en Ciencias Veterinarias, becario de la Escuela de Graduados, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile).

\* Autor de correspondencia: gerardo.lopez@alumnos.uach.cl

**Palabras clave:** perfil metabólico, metabolismo energético, vacas lecheras, lactancia.

El estado nutricional y metabólico tiene relación con el eje reproductivo y el eje somatotrópico (Butlet *et al.*, 2006). Cambios en la dieta pueden inducir respuestas rápidas en los niveles de metabolitos y hormonas con un papel importante en la regulación del crecimiento folicular (Lucy, 2008). Durante el posparto temprano (el período de alta producción láctea y déficit energético), el útero, los ovarios y el eje hipotálamo-hipófisis deben restablecer su actividad. En este período se esperan la maduración hormonal del eje hipotálamo-hipófisis, cambios morfológicos e histológicos en el útero y el establecimiento de la nueva población folicular en el ovario, lo que llevará a la primera ovulación; es así como varios componentes biológicos interactúan en este período y se adaptan ineficazmente a la lactancia. Componentes biológicos como adaptación metabólica, el estrés oxidativo, la función inmune y la capacidad de ingesta de alimento se pueden ver afectados por el balance energético negativo (BEN), por el cual los animales cursan (Ariette *et al.*, 2014).

Los niveles bajos de glucosa e insulina durante la lactancia temprana no son compatibles con la actividad ovárica, debido a que la glucosa es el principal sustrato energético en el ovario bovino y está relacionado directamente con las concentraciones del factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-I). Esta proteína también es considerada como una hormona metabólica que se une a los receptores de insulina y tiene un papel clave en el metabolismo de la glucosa en vacas lecheras de alta producción (Lucy, 2013). La disminución en la secreción de IGF-I causada por BEN podría alterar la producción ovárica de estradiol folicular, suprimiendo así la expresión del estro (Spicer *et al.*, 1990).

Se han realizado varios estudios que reportan la inclusión de compuestos de tipo energético, lo cual favorece el aumento de las concentraciones de glucosa e insulina plasmática para aliviar el BEN en vacas lecheras de lactancia temprana (Brown y Allen, 2013; Curtis *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2019); asociado a menos días abiertos (< 80-d) y menos servicios por concepción (Ma *et al.*, 2020).

## Rotatínuo, un concepto de manejo del pastoreo para conciliar producción y sostenibilidad

Alejandra Marín<sup>1,2\*</sup>, Ángel Zubieta<sup>1</sup>, Radael Marinho<sup>1</sup>, Jean Savian<sup>3</sup>,  
Davi Texeira<sup>4</sup>, Paulo C. F. Carvalho<sup>1</sup>

1 Grupo de pesquisa em Ecologia do pastejo - GPEP, Brasil; 2 Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia; 3 Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay, 4 Serviço de Inteligência em Agronegócio (SIA), Brasil.

\* Autor de correspondencia: calle 59 A n.º 63-20, Autopista Norte; bloque 50-317, Medellín, Colombia. amaring@unal.edu.co

**Palabras clave:** manejo del pastoreo innovador, comportamiento ingestivo, altura de la pastura, emisiones de metano entérico.

Las proyecciones sobre el aumento poblacional del mundo y el consecuente aumento en el consumo de alimentos de origen animal pronostican unas demandas sin precedentes a la agricultura y los recursos naturales. Para satisfacer las necesidades futuras, la producción de alimentos y la sostenibilidad deben crecer conjunta y sustancialmente. En este sentido, las pasturas revisten especial importancia ya que además de ser uno de los ecosistemas más grandes del planeta (aproximadamente el 26 % de la tierra firme libre de hielo), contribuye con múltiples servicios ecosistémicos cuando son bien manejadas (por ejemplo, secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad, calidad del suelo, etc.), diversos beneficios sociales y culturales, y es el principal recurso alimenticio de los rumiantes. Sin embargo, el manejo tradicional del pastoreo, enfocado principalmente en la productividad primaria (planta), es decir, en la máxima acumulación del forraje y máxima eficiencia de cosecha, no corresponde de manera eficiente a las demandas de productividad secundaria (animal) ni a las demandas de sostenibilidad actuales. En ese contexto, lo que se propone es una reorientación en la filosofía del uso de los pastos, un cambio en la perspectiva del enfoque actual a uno que permita conciliar producción y sostenibilidad. El rotatínuo es un concepto innovador del manejo del pastoreo basado en el comportamiento ingestivo de los animales, que ofrece estructuras de la pastura para que los animales maximicen el consumo de forraje en la unidad de tiempo. Además, es una combinación de intensidad moderada y alta frecuencia de pastoreo y en consecuencia promueve la producción primaria y secundaria, mitiga las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) entérico, disminuye costos de producción y promueve el bienestar animal.

# Un modelo cubano de lechería tropical.

## Análisis de casos

Ramón O. Martínez<sup>1\*</sup> y Raimundo S. Gudiño<sup>1\*</sup>

Instituto de Ciencia Animal de Cuba  
y Facultad de Medicina Veterinaria  
y Zootecnia de la Universidad  
Veracruzana, México

\* Autores de correspondencia:  
ramonomar@yahoo.es / rgudiño@  
uv.mx

**Palabras clave:** ganadería  
doble propósito, Modelo  
Estadístico de Medición  
de Impactos, alimentación  
en el período seco, Cuba  
CT-115, Pastoreo Racional  
Voisin.

Se describen estudios para la conformación de la tecnología de los bancos de biomasa. La investigación se desarrolló en una lechería de 60 ha con vacas Siboney de Cuba (5/8 Holstein - 3/8 Cebú) durante 12 años. Se logró solucionar, en pastoreo, el déficit de alimentos del periodo seco. El punto de equilibrio entre la biomasa almacenada en lluvias y las necesidades de alimento de la seca se logró segregando el 30 % del área sembrada de CUBA CT-115, lo que constituyó la respuesta a la variable principal en estudio. El modelo se extendió en nueve lecherías comerciales y consiste en segregar desde agosto hasta noviembre, un 30 % del área de la lechería sembrada con Cuba CT-115 para almacenar 20 a 25 ton de MS/ha y pastar en tres rotaciones durante el período seco. Otro caso estudiado se desarrolló en una lechería ubicada en la zona centro de Veracruz, México. Se sembraron 7,8 ha de Cuba CT-115 divididas en 15 cuartones, lo que representa el 30 % de la finca. El pastoreo comenzó con 24 vacas mestizas de Cebú y Holstein. Se aplicó el Modelo Estadístico de Medición de Impacto (MEMI), metodología que combina diferentes técnicas multivariadas para realizar análisis integrales y determinar el comportamiento de los sistemas productivos. Se demostraron los beneficios de la tecnología, al manifestarse el impacto sobre el componente principal uno, que agrupa las variables productivas. Los resultados permitieron desarrollar un modelo para lecherías comerciales en el trópico de temporal con bancos de biomasa de Cuba CT-115. Esto constituye un aporte al pastoreo racional en el trópico de temporal.

# Desde la investigación a la oferta tecnológica para el sector lácteo en Colombia

Rodrigo Martínez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), sede central, km 14 vía Mosquera, Cundinamarca

\* Autor de correspondencia:  
ramartinez@agrosavia.co

**Palabras clave:** ofertas tecnológicas, genómica, recursos forrajeros, análisis de suelos, Alimento.

La investigación en el país debe pasar de la generación de resultados y conocimiento a la consolidación de ofertas tecnológicas que permitan generar cambio técnico y tecnológico en los sistemas de producción pecuaria; en este sentido, Agrosavia se ha preocupado por contribuir al cambio para mejorar la productividad y competitividad de la agricultura nacional mediante la oferta de productos, servicios, recomendaciones o metodologías y herramientas que puedan ser adoptados por los productores para mejorar su eficiencia productiva. En este resumen se presenta una descripción de grupos de tecnologías adoptables para el sector lácteo, iniciando desde el componente nutricional. Agrosavia ha generado herramientas TIC como los sistemas de información de recursos alimenticios Alimento, que combinado con el sistema de balanceo de raciones Dietro van a permitir optimizar los sistemas de alimentación animal en ganadería de leche. Igualmente, estas tecnologías pueden complementarse con el uso de bioproductos como Rumitec, desarrollado para optimizar el paso de monogástrico a rumiante, lo que disminuye a la vez la incidencia de diarreas en terneros. En cuanto al componente de calidad e inocuidad del sistema, Agrosavia es el laboratorio de referencia para el sistema de pago por calidad de la leche, además de apoyar la acreditación de otros laboratorios regionales. En cuanto al componente genético se ha trabajado en la consolidación de sistemas de información genómica para estimación de valores de cría; actualmente se trabaja con asociaciones de raza como Holstein y Simmental, para la valoración genética de las razas y presta el servicio de genotipado a gran escala para identificación de variantes de importancia económica en la población, información que permite identificar animales superiores que pueden ser multiplicados a través de procesos de biotecnología reproductiva, para lo cual ya se ofrece servicio de producción de embriones a bajo costo, así como semen de toros de razas lecheras. Otras tecnologías de alta precisión se relacionan con el análisis de fertilidad de suelos y la composición de forrajes utilizando la tecnología NIRS (near-infrared spectroscopy), la cual permite obtener información para mejorar la gestión

de praderas y para este tema también se tiene materiales de siembra tanto para sistemas de producción de leche en trópico alto, como en sistemas doble propósito. En este sentido, hay disponibles materiales de siembra para producción de forrajes como Avena Alto Andina,

Sorgo forrajero JJT18 o la semilla de pasto Agrosavia Sabanera, los cuales combinados con las demás ofertas tecnológicas podrían asegurar una mayor ofensiva en búsqueda de sistemas productivos más eficientes, resilientes y amables con el medioambiente.

# Morfometría folicular y luteal, niveles séricos de progesterona, durante el ciclo estral y la gestación temprana en vacas Holstein en el trópico alto colombiano

Marbel Yulieth Monroy<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Cundinamarca,  
Facultad de Ciencias Agropecuarias,  
programa de Zootecnia, sede Ubaté.

\*Autor de correspondencia:  
myuliethmonroy@ucundinamarca.  
edu.co

**Introducción:** para contribuir al conocimiento de la fisiología reproductiva en vacas lactantes, se realizó seguimiento reproductivo durante el ciclo estral y la gestación temprana.

**Objetivo:** evaluar los valores del diámetro del folículo preovulatorio, volumen del cuerpo lúteo y niveles séricos de progesterona durante el ciclo estral y la gestación temprana en vacas Holstein en Bogotá.

**Metodología:** se emplearon 19 vacas Holstein y a partir del día 40 posparto se evaluaron dos fases consecutivas, la primera correspondió al ciclo estral y la segunda a la gestación temprana o repetición de celo. En las dos fases se detectó el celo a las hembras y se realizó ultrasonografía para evaluar el diámetro del folículo preovulatorio; posteriormente, se evaluaron los niveles séricos de progesterona y se halló el volumen del cuerpo lúteo los días 6, 9, 12 y 15.

**Resultados:** el diámetro del folículo preovulatorio fue significativamente menor ( $p < 0,05$ ) en los animales gestantes comparado con las no gestantes. Las vacas que presentaron menores diámetros de folículo preovulatorio tuvieron mayor posibilidad de quedar gestantes ( $p < 0,05$ ). En los dos grupos no hubo diferencias significativas en los volúmenes de los cuerpos lúteos ( $p = 0,10$ ) y los niveles séricos de progesterona ( $p = 0,39$ ).

**Conclusión:** las vacas que presentaron menor diámetro de folículo preovulatorio tuvieron mayor posibilidad de quedar gestantes. Los valores reportados en esta investigación pueden ser el punto de partida para establecer valores de referencia de utilidad clínica y científica.

**Palabras clave:** ciclo estral, gestación, ovulación, posparto.

# Calidad de la leche: factor de éxito en la sostenibilidad de la empresa lechera

Gabriel Rodríguez Fernández\*

\* Autor de correspondencia:  
dmvgarodriguez@gmail.com

La calidad de la leche comienza en la finca, y esta se debe asegurar durante todo el proceso productivo, industrial y de comercialización. Las actividades realizadas en las fincas lecheras repercuten directamente en la calidad de los productos lácteos y en la cadena productiva.

La calidad de la leche se puede subdividir en cuatro categorías: Calidad Microbiológica, Composicional, Sanitaria y Química.

Es necesaria la implementación de programas de trabajo mediante el establecimiento de protocolos operacionales en las lecherías, que garanticen la calidad de la leche producida, y con esto la rentabilidad del negocio, en la sostenibilidad de la empresa lechera.

La calidad de la leche está relacionada con la salud de la ubre y la higiene del proceso productivo. Para garantizar la calidad de leche, se deben planear estrategias enfocadas en corregir los factores de riesgo e implementar protocolos operacionales. Además de disminuir la mastitis, reducir las vacas crónicas, aumentar la tasa de cura y aminorar las nuevas infecciones intramamarias.

Un factor determinante es el entrenamiento y la evaluación de la mano de obra en la búsqueda de metas, y ejecución adecuada de las tareas rutinarias con espíritu de equipo y responsabilidad compartida.

El productor es quien se ve impactado positiva o negativamente con la calidad de la leche que entrega a la planta, pues de esta depende el pago que reciba por concepto de venta de leche.

**Palabras clave:** calidad, mastitis, sostenibilidad, higiene.

# Transferencia de inmunidad pasiva, factor determinante para la salud y sobrevivencia

Jorge Andrés Rodríguez Perdomo<sup>1\*</sup>

1 Director científico AGV Salud Animal.

\* Autor de correspondencia: jorge.rodriguez@agvsaludanimal.com

La Diarrea Neonatal del Ternero (DNT) es una enfermedad infecciosa reportada en Colombia. Todo empieza desde la correcta transmisión de inmunidad pasiva (calostro). Los costos y las complicaciones derivadas del síndrome de DNT representan una de las principales preocupaciones del ganadero durante la época de partos. Su manifestación clínica es en forma de diarrea, entre las 12 horas y los primeros 35 días de vida, y es la primera semana de vida el período de mayor incidencia.

Los animales que sufren DNT muestran elevadas pérdidas económicas:

- Mortalidad promedio del 20 % en terneros enfermos.
- Morbilidad habitual de hasta el 60 % en terneros.
- Costos operativos y de tratamientos (10 kg por animal).
- Retraso en el desarrollo de terneros afectados.

## Palabras clave:

El síndrome de DNT se previene mediante la implementación de un plan sanitario: todo establecimiento ganadero actual debe apuntar a la prevención. La única forma eficiente de inmunizar contra la DNT es vacunando a la madre para proteger al ternero. Esta protección es posible debido a los anticuerpos que transmite la madre en el calostro. En este trabajo de campo evidenciamos que la prevención mediante la vacunación de la madre es una herramienta exitosa.

## Beneficios del cultivo microbiológico en la granja para control de mastitis

*Eduardo de Souza Campos Pinheiro<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup> Director técnico de la compañía OnFarm.

\* Autor de correspondencia: eduardo.pinheiro@onfarm.com.br

**Palabras clave:** mastitis, cultivo en la granja.

Entre las medidas para el control de mastitis bovina, una herramienta que ha sido ampliamente utilizada en Brasil es el cultivo microbiológico en la granja. Esta herramienta permite identificar los principales agentes de la mastitis en 24 horas en la propia granja. Con esto, se pueden generar varios beneficios con el objetivo de controlar la mastitis clínica y subclínica. En el caso de la mastitis subclínica, el diagnóstico en la granja puede: a) identificar rápidamente las vacas infectadas por bacterias contagiosas, en el cultivo de vacas o vacas con alto recuento de células somáticas (CCS); b) evaluar la eficiencia de la terapia de secado; c) identificar las fuentes de infecciones bacterianas; d) identificar las vacas por tratar; e) ayudar a definir el protocolo de secado de vacas y f) identificar vacas con patógenos que no responden a la terapia antibiótica. Con respecto a la mastitis clínica, además de algunos beneficios mencionados anteriormente, el cultivo en la granja puede: a) reducir en aproximadamente un 50 % el uso de antibióticos para el tratamiento de la mastitis clínica y, en consecuencia, la eliminación de leche que se haría después del uso de estos antibióticos; b) aumentar la eficiencia de los protocolos de tratamiento, conociendo las bacterias que están causando la mastitis. En cuanto a la viabilidad económica del cultivo en la finca, y según OnFarm (empresa que ofrece este tipo de solución), la relación costo-beneficio de la herramienta es de aproximadamente 1 a 5, es decir, por cada real (moneda brasileña) invertido por el productor, 5 reales vuelven a ella, teniendo en cuenta solo el ahorro con antibióticos y la eliminación de leche.

# Reflexiones sobre el uso de promotores de crecimiento no antibiótico y otros aditivos en producción láctea

Gustavo Álvaro Wills Franco<sup>1\*</sup>

1 Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Bogotá.

\* Autor de correspondencia:  
gawillsf@unal.edu.co

**Palabras clave:** RAM, prebióticos, probióticos, vitaminas protegidas, enzimas.

Una amenaza y un problema importante en la salud humana y animal es la resistencia antimicrobial (RAM), definida como la “habilidad de los microorganismos a persistir o crecer en presencia de medicamentos diseñados para inhibirlos o destruirlos” (FAO, 2020). Se recomienda el uso de antibióticos en ganado de leche solo si es necesario y no utilizarlos para prevenir, como se realiza con frecuencia en la vaca seca para prevenir la mastitis. Otra de las causas para que se presente el RAM en ganado de leche, es el tiempo de retiro inadecuado, la sudorificación, los antibióticos adulterados y la frecuencia de utilización sin pruebas previas. Existe alta correlación de la RAM en animales y humanos, por lo cual se hace imprescindible el uso racional de antibióticos en ambos asociado al concepto “Una Salud”, para evitar la llamada segunda pandemia relacionada con resistencia múltiple a varios antimicrobiales. Si se considera que el número de nuevas moléculas de antibióticos es muy limitado para la salud humana y animal, se deben buscar nuevas alternativas que ayuden a combatir esas enfermedades en la producción láctea. Se han propuesto nuevas alternativas como vacunas y bacteriófagos para disminuir el uso de antibióticos con resultados variables. Se discuten algunos trabajos sobre el uso de aditivos (prebióticos, probióticos, simbióticos, aceites esenciales, fitobióticos, ácidos orgánicos, vitaminas protegidas, péptidos antimicrobiales, ácidos grasos de cadena corta y media, y enzimas) en ganado de leche que pueden ayudar a reducir el uso de antibióticos como preventivos. Se concluye que algunos aditivos en producción láctea pueden ayudar a reducir el RAM, sin embargo, la relación costo-beneficio depende, según el objetivo propuesto y la respuesta en cada sistema de producción varía. Además, la consistencia en los resultados depende de la evaluación en cada sistema.

# Aspectos epidemiológicos de la mastitis bovina

Jorge Luis Zambrano-Varón<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Profesor asociado Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia.

\*Autor de correspondencia:  
jlzambranov@unal.edu.co

**Palabras clave:** mastitis, tasa de incidencia, factores de riesgo, epidemiología.

**Introducción:** un aspecto obligatorio en programas de salud de hato es la salud de la glándula mamaria a través del control y la prevención de mastitis, lo cual impacta la calidad de la leche. El adecuado control y prevención de mastitis depende no solo de la realización de prácticas de manejo que lleven a la reducción de la exposición a patógenos medioambientales, sino de aquellos que pueden causar mastitis de tipo contagioso. Es importante conocer los factores de riesgo y estimar la ocurrencia de la enfermedad.

**Objetivo:** presentar algunos métodos cuantitativos de aproximación al diagnóstico epidemiológico de mastitis bovina y algunos resultados de investigación.

**Metodología:** a pesar de que el diagnóstico de la mastitis es rutinario, es fundamental utilizar métodos de análisis de información que permitan identificar individuos y grupos de mayor susceptibilidad, así como factores de riesgo y de exposición, con el objetivo de implementar programas de control y prevención eficientes. Los métodos epidemiológicos son necesarios para orientar el diagnóstico mediante el uso de análisis cuantitativo.

**Resultados:** se presentan métodos de análisis epidemiológico y resultados de investigación de un estudio longitudinal que incluyó n = 4233 animales en producción en dos años de seguimiento. La tasa de incidencia varió entre 8,0 y 20,0 casos nuevos por 100 animales-año a riesgo. Los estafilococos coagulasa negativo y estreptococos ambientales fueron los patógenos más prevalentes y se identificaron factores de riesgo individual y de hato.

**Conclusión:** el uso de herramientas de análisis epidemiológico es fundamental para el control y la prevención de la mastitis bovina.



## II Congreso Nacional y I Congreso Internacional en Ciencias Ambientales



Estrategia de internacionalización en casa:  
El Pluriverso Transmoderno



Dialogando  
con el Mundo

Dirección de Posgrados  
Maestría en Ciencias Ambientales  
Facultad de Ciencias Agropecuarias



## II CONGRESO NACIONAL Y I CONGRESO INTERNACIONAL EN **CIENCIAS AMBIENTALES**

*Una apuesta translocal para la gestión y  
sostenibilidad ambiental de los territorios*

MODALIDAD  
VIRTUAL  
**GRATUITA**

**6 y 7 de noviembre  
de 2020**



Dialogando  
con el Mundo



[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co)  
Vigilada MinEducación

## Presentación

Es un gusto para el Comité Organizador presentar las memorias de nuestro II Congreso Nacional y I Congreso Internacional en Ciencias Ambientales “Una apuesta translocal para la gestión y sostenibilidad de los territorios”, llevado a cabo el 6 y 7 de noviembre, 100 % virtual, desde Colombia. Este evento representa el avance científico que se ha venido desarrollando en la región y los aportes que la comunidad ha realizado en las ciencias ambientales en los ámbitos nacional y latinoamericano. Con más de 10 conferencistas, 30 ponencias orales y videocarteles, de Uruguay, México y Perú, entre otros, y cerca de 171 participantes, este Congreso se convierte en la continuidad, así como el inicio, de la investigación en las ciencias ambientales en la Universidad de Cundinamarca, en la región del Sumapaz, y un significativo aporte latinoamericano. Nuestras temáticas de producción: Agropecuaria Sostenible, Recursos Naturales y Desarrollo Local, Gestión y Manejo de Recursos Naturales y Complejidad, que hacen parte de nuestro programa de Maestría en Ciencias Ambientales, permitieron dar a conocer investigaciones importantes en el desarrollo sostenible del maíz y del café, de frutales y del ordenamiento del territorio a través del uso de herramientas como los sistemas de información geográfica, aportes importantes en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esperamos que estas memorias sean de utilidad para el crecimiento y desarrollo de esta ciencia en lo regional; desde nuestro I Congreso de Ciencias Ambientales, realizado en 2018 en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia), observamos un muy importante avance tanto en número como en calidad y variedad de temas en que científicos nacionales e internacionales invierten sus esfuerzos para dar a conocer sus investigaciones en pro del desarrollo sostenible. En los próximos eventos esperamos mayor acogida y avance en los estudios que nuestros estudiantes aportan a la región del Sumapaz, así como de expertos en las ciencias ambientales en el aspecto regional.

*Ivonne Liliana Salamanca León*

*Lourdes Elvira Rodríguez Guzmán*

**Comité Organizador**

Maestría en Ciencias Ambientales

Universidad de Cundinamarca

# Procesos de extracción en el panorama de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: un sendero promisorio para ejercer soberanía sobre nuestros recursos hortofrutícolas

Diego Ballesteros-Vivas<sup>a</sup>, Andrea de Pilar Sánchez-Camargo<sup>a</sup>, Carlos Eduardo Narváez-Cuenca<sup>a</sup>, Fabián Parada-Alfonso<sup>a</sup>, J. Jaramillo<sup>b</sup>, Margarita María Andrade-Mahecha<sup>c</sup>, Hugo Alexander Martínez-Correa<sup>c</sup>, Luis Eduardo Ordóñez-Santos<sup>c</sup>, Elena Ibáñez<sup>d</sup>, Alejandro Cifuentes<sup>d</sup>.

<sup>a</sup> Grupo de Investigación en Química de Alimentos - GIQA (COL0004549), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

<sup>b</sup> Empresa La Tostadora SAS, Bogotá.

<sup>c</sup> Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales - GIPA (COL0073851), Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, Palmira (Valle).

<sup>d</sup> Laboratorio de Alimentómica (Foodomics Lab.) CIAL-CSIC/UAM, Madrid (España).

**Palabras clave:** seguridad alimentaria, ODS, ciencias hortícolas, sector frutícola.

En el trópico se encuentra gran diversidad de especies, sin embargo, en países como el nuestro dicho recurso no es aprovechado de forma sostenible o se desconoce su potencial. Por otra parte, la Comunidad de Naciones trazó como meta alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el año 2030 (1). Una condición inherente al ejercicio de la soberanía sobre nuestros recursos es lograr su pleno conocimiento, lo cual puede derivar en su valorización (2). Dado el volumen de pérdidas generado en el sector hortofrutícola, el cual puede superar el 50 % de lo producido (3), se hace inminente realizar aportes a dicho sector, con el propósito de dar un mejor manejo a dicho recurso. En este sentido, hemos explorado el uso de procesos de extracción ambientalmente amigables, con el fin de obtener extractos o fracciones de interés para las industrias de alimentos o cosmética, a partir de residuos o de subproductos hortofrutícolas (4). Así, biomásas no convencionales y subproductos hortofrutícolas han sido sometidos a técnicas de extracción a alta presión, obteniendo extractos bioactivos, lo que aporta a un mejor beneficio de las biomásas de interés (5,6). Como estudio de caso, centraremos nuestra atención no solo en las biomásas y su bioactividad, sino en el acceso, la implementación y el desarrollo de tecnologías emergentes de extracción, desde la perspectiva de la química verde y de los ODS, lo anterior como ruta para valorizar nuestros recursos hortofrutícolas.

**Agradecimientos:** los autores reconocen el importante apoyo de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia mediante el proyecto Cód. Hermes 47233.

# Caracterización morfológica y potencial de rendimiento en híbridos de maíces azules con adaptación al Valle del Yaqui, Sonora (México)

Gilberto Rodríguez Pérez<sup>1</sup>, Francisco Javier Salazar Huerta<sup>1</sup> y Hermelinda Herrera Andrade<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México - Campus Valle del Yaqui, Ciudad Obregón, Sonora (México).

\*Autor de correspondencia:  
grodriguez.perez@itvy.edu.mx

**Palabras clave:** híbridos, caracterización, rendimiento, maíces azules.

La evaluación de híbridos permite identificar su potencial de rendimiento y adaptación a condiciones ambientales contrastantes. En México durante el 2019 se sembraron 6 millones de hectáreas de maíz blanco, 586 000 de amarillo, 7858 de azul y 25 584 de otros colores; de estos, las siembras de maíz azul fueron de materiales nativos, lo que contribuyó con 1,17 % de la superficie en México, seguido de otros colores con 3,8 %, amarillo 8,7 % y blancos 86,33 %, lo que resalta la importancia de evaluar este tipo de materiales mejorados. En el ciclo otoño-invierno 2019 se evaluaron 30 híbridos de color azul en el campo experimental del Tecnológico Nacional de México - Campus Valle del Yaqui, Sonora. El objetivo fue caracterizarlos morfológicamente y determinar su rendimiento de grano y adaptación, así como sus componentes. Se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar con dos repeticiones, las parcelas fueron de 4 metros de longitud y ancho entre surcos de 0,8 m con una distancia entre plantas de 16 cm, lo que da una densidad de 78,125 plantas por ha. Las variables registradas fueron rendimiento de grano, floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera, longitud y diámetro de mazorca, peso de 1000 granos, índice de flotación y peso hectolitrito. Los resultados mostraron diferencias significativas en todas las variables. Los híbridos H-18, H-23 y H-30 obtuvieron mayor rendimiento, peso hectolítrico y peso de mil granos, fueron de un ciclo intermedio y un porte intermedio de altura de planta, y los H-5, H-7 y H-8 presentaron en promedio mayor número de granos por hileras e índice de flotación; el mayor promedio en número de hileras se obtuvieron en los híbridos H-17 y H-27. En longitud y diámetro de mazorca fueron los híbridos H-20 y H-13 los que presentaron mayores valores, peso de 1000 granos, rendimiento, diámetro y longitud de mazorca. La altura de planta, granos e hileras por mazorca formaron un grupo homogéneo en el dendograma.

# Educación ambiental en el ámbito de la educación formal.

## Intercambiando experiencias desde la práctica

Martín Buschiazzo<sup>1\*</sup>.

1 Museo de Historia Natural Dr. Carlos A. Torres de la Llosa. CES. Montevideo (Uruguay). Instituto Superior Polo Educativo Tecnológico UTU - LATU. Montevideo.

\*Autor de correspondencia:  
buschiazomartin@gmail.com

**Palabras clave:** educación ambiental, educación formal, aprendizajes significativos, vínculos, empatía.

La educación ambiental (EA) se define como un proceso educativo formal, no formal e informal que busca generar conciencia y cultura ambiental. Se plantea a su vez que esta debe desempeñar una función capital con miras a crear la conciencia y la mejor comprensión de los problemas que afectan al medioambiente. Esta educación ha de fomentar la elaboración de comportamientos positivos de conducta con respecto al medioambiente y la utilización por las naciones de sus recursos. Así mismo, que debe impartirse a personas de todas las edades, a todos los niveles y en el marco de la educación formal y no formal. En Uruguay, la Ley General de Educación n.º 18.437 del 12 de diciembre de 2008 menciona en su artículo 40, inciso B, a la “educación ambiental para el desarrollo humano sostenible” como una de las líneas transversales de todo el sistema educativo desde las etapas iniciales hasta la formación universitaria y de posgrados. Sin embargo, no se cuenta con espacios propios ni lineamientos claros respecto a cómo implementar y ejecutar las nociones y los preceptos básicos de la EA. Este trabajo se centra en compartir y reflexionar sobre la experiencia generada durante 15 años de actividad en el ejercicio de la docencia en diferentes ámbitos formales de la educación (media, técnica terciaria y universitaria) en los cuales a través de diferentes estrategias y herramientas didáctico-pedagógicas se intentó generar empatía y vínculos profundos con los estudiantes con el fin de lograr que los aprendizajes significativos de los estudiantes se vinculen con la EA.

# Producción agropecuaria sostenible

## Asimilación de fertilizante-N por maíz inoculado con hongos micorrízicos arbusculares

Óscar Arath Grageda Cabrera<sup>1\*</sup>, Sarahyt Santamaría González Figueroa<sup>1</sup>,  
Sandra Patricia Maciel Torres<sup>1</sup>, Leonardo Ramírez López<sup>1</sup>.

1 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Celaya, Guanajuato (México). \* Autor de correspondencia: grageda.oscar@inifap.gob.mx

**Palabras clave:** Zea mays L., dilución isotópica, 15N, biofertilizantes.

Los cultivos asimilan ineficientemente el fertilizante-N y rara vez es superior al 33 % de la cantidad aplicada; el resto se pierde ocasionando, además de pérdidas económicas, una amplia variedad de problemas ambientales. Como parte de los beneficios que presenta el uso de microorganismos en la agricultura está su capacidad para mejorar la asimilación de nutrientes. Se realizó un experimento en condiciones de invernadero cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia en la asimilación del fertilizante-N (EAFN) por el cultivo de maíz al inocularlo con diferentes cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). El diseño experimental fue completamente al azar con ocho repeticiones. La fertilización al 100 % fue de 240-60-00, el fertilizante-N fue sulfato de amonio enriquecido con 5,3 % de átomos en exceso de <sup>15</sup>N y se fraccionó en cinco aplicaciones, todo el P se aplicó al momento de la siembra como superfosfato triple. La unidad experimental fue una planta por maceta de 15 L. Se evaluaron siete tratamientos, dos testigos (50 % y 100 % fertilizados sin inoculación con HMA) y cinco inoculados con cepas de HMA (INIFAP, IAB-60, C-1, D-1 y P-1, fertilizados al 50 %). Se determinaron los parámetros de peso seco, contenido de N, nitrógeno derivado del fertilizante y la EAFN. La inoculación con HMA incrementó la producción de materia seca en un rango de 0-13 % con respecto al testigo 100 % fertilizado y de 5-27 % en cuanto al testigo 50 % fertilizado. La EAFN varió de 17 % en el tratamiento testigo 50 % fertilizado, hasta el 47 % en el tratamiento inoculado con P1. Se logró incrementar en 16 % la asimilación del fertilizante-N cuando el maíz se inoculó con HMA. El adecuado manejo de la fertilización-N es necesario para mejorar las tasas de asimilación, mejorar la relación costo-beneficio y mitigar la emisión al ambiente de productos contaminantes.

# Efecto de la inoculación de biofertilizantes sobre el desarrollo de chile jalapeño

Óscar Ojeda Espino<sup>1\*</sup>, Óscar Arath Grageda Cabrera<sup>2</sup>, Sarahyt Santamaría González Figueroa<sup>1,2</sup>, Sandra Patricia Maciel Torres<sup>1</sup>, Hugo César Cisneros López<sup>1</sup>, Jesús Emmanuel Patiño Mancera<sup>1</sup>.

1 Tecnológico Nacional de México - Roque, 2 INIFAP, Celaya, Guanajuato (México).

\* Autor de correspondencia: ojedaoscar505@gmail.com

## Palabras clave:

*Capsicum annuum*, hongos vesículoarbusculares, inoculación.

La producción de chile jalapeño en México requiere altas dosis de fertilización, y la baja eficiencia en la asimilación del fertilizante por el cultivo contribuye a la degradación del suelo, contaminación del ambiente e incremento en los costos de producción. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de inoculantes en el desarrollo del cultivo de chile jalapeño variedad Tajín. Se estableció un experimento en condiciones de invernadero con un diseño completamente al azar con seis repeticiones; se evaluaron 14 inoculantes, la unidad experimental consistió en macetas de 20 kg con dos plantas, constituyendo 96 unidades experimentales. Se llevó a cabo por triplicado ya que se realizaron tres muestreos destructivos, por lo que al inicio del experimento se establecieron 288 unidades experimentales. La inoculación con microorganismos mostró resultados favorables en el desarrollo del cultivo de chile jalapeño Tajín. Sin embargo, únicamente en el primer muestreo se observó el efecto positivo de los inoculantes bacterianos empleados, específicamente de las cepas *Herbaspirillum* sp., *Bacillus cereus*, *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas putida*, además de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) *Glomus mosseae*, *G. mosseae* 23 y *G. intraradices*. En el segundo muestreo, en todas las variables evaluadas los tratamientos *Herbaspirillum* sp. y *G. mosseae* 23 mostraron los valores más sobresalientes igualando al testigo 100 % fertilizado. En el tercer muestreo, los inoculantes *G. mosseae* 23 y *G. intraradices* igualaron al testigo 100 % fertilizado aun cuando se les aplicó el 50 % de la fertilización. Los inoculantes elaborados a partir de HMA mostraron los mejores resultados, resaltando las cepas *G. mosseae* y *G. mosseae* 23 ya que su efecto fue consistente durante los tres muestreos. Estas cepas tienen el potencial para utilizarse como inoculantes comerciales después de realizar estudios en diferentes ambientes agroecológicos y en condiciones de campo.

# Comparación del servicio ecosistémico de polinización por abejas en cultivos de café (*Coffea arabica*: Rubiaceae)

orgánico y convencional de las veredas Santo Domingo y Chiniata (Anolaima, Cundinamarca)

Alexandra Cruz Mogollón<sup>1\*</sup>, Yury Tatiana Preciado Quintana<sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup> Universidad de Cundinamarca, Ingeniería Ambiental, Facatativá (Cundinamarca).

\* Autoras de correspondencia: alexandracruz@ucundinamarca.edu.co / ypreciado@ucundinamarca.edu.co

## Palabras clave:

polinización, abejas, diversidad, especies vegetales, cultivos de café, servicios ecosistémicos.

La presente investigación se desarrolló en las veredas Santo Domingo y Chiniata del municipio de Anolaima (Cundinamarca), y su objetivo principal fue comparar el servicio ecosistémico de polinización por abejas en cultivos de café orgánico y convencional. Para cumplirlo, se eligieron cuatro predios cafeteros con las condiciones ya mencionadas; en ellos se recolectaron muestras de abejas durante cuatro meses, teniendo en cuenta las temporadas de lluvia y sequía, a través de capturas en vuelo y trampas Van Somer. Se determinó la riqueza, diversidad y abundancia por medio de un análisis de interpolación y extrapolación propuesto por Chao, con la aplicación de los números de Hill's. A su vez, se determinó cuáles fueron las especies vegetales visitadas por abejas y la densidad de individuos arbustivos asociados a los cultivos para determinar el papel del ecosistema en la abundancia de abejas y por ende en la producción de café. Se logró establecer que en los predios cafeteros de características orgánicas se desarrolla con mayor eficiencia la polinización, y son la *Apis mellifera* y *Partamona orizabensis*, las especies de mayor presencia, con un porcentaje de 37,8 % y 20,0 %, respectivamente, relacionadas con la distribución de especies vegetales como la Paucha, Botón de oro, Arboloco y Siete cueros, entre otros, según sus periodos de floración. Finalmente se determinó que la producción de café suele ser superior cuando se cuenta con mayor cantidad de polinizadores y especies vegetales dentro y cerca de los cultivos, dejando evidencia que las condiciones ecosistémicas y de hábitat para las abejas se ven reflejadas en el servicio ecosistémico de polinización.

# Manejo semiorgánico del cultivo de zarzamora (*Rubus* spp.)

Baldomero Hortencio Zárate Nicolás<sup>1</sup>, Édgar Cruz Jainado<sup>1</sup>, Reyna María de los Ángeles Gámez Hernández<sup>1\*</sup>.

1 Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca de Juárez, Oaxaca (México).

\* Autor de correspondencia: reyna.gh@voaxaca.tecnm.mx

**Palabras clave:** manejo, pH, solución nutritiva.

El cultivo de zarzamora (*Rubus* spp.) se incluye en los cultivos que comercialmente integran el grupo de las “berries”, ofrece una alternativa de producción y es altamente demandado por sus características nutricionales, bajo aporte calórico, alto contenido de antocianinas, vitaminas A y C y rico en antioxidantes, lo que garantiza su aceptación en el mercado. El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar el manejo semiorgánico del cultivo de zarzamora, para lo cual se utilizaron plantas del cv Tupy, de dos años, establecidas en suelo. La metodología consistió en la formulación de la solución nutritiva a un pH 5.0, determinada mediante un *software* especializado y aplicada en sistema de riego por goteo. Se realizaron podas de formación y fructificación, aplicación de enraizadores y promotores de crecimiento orgánicos, control de plagas y enfermedades a base de mezclas de compuestos orgánicos e inorgánicos. El experimento se hizo con un diseño completamente al azar (DCA), con dos tratamientos y diez repeticiones, para un total de 20 unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, grosor de tallos, longitud y número de cañas, y número de flores y frutos, y fueron sometidas a un análisis de varianza y prueba de Tukey ( $\leq 0.05$ ), mediante el estadístico SAS (Statistical Analysis System). El análisis estadístico de las variables altura de la planta, grosor de tallos y número de cañas no presentan diferencia significativa, debido a la edad fisiológica de la planta. Las variables número de flores y frutos presentan diferencia significativa entre los tratamientos, pues suele suceder que después de una poda y con las aplicaciones de nutrición orgánica, la planta se desarrolla y lo demuestra con la aparición de flores y frutos, lo que en el futuro garantiza una buena producción. El manejo semiorgánico incluye el control de la nutrición, actividades culturales y uso adecuado de formulaciones orgánicas.

## Pruebas de efectividad *in vitro* de controles químicos contra hongos fitopatógenos del cultivo de papa

José Antonio Ramírez Ramírez<sup>1</sup>, Óscar Arath Grageda Cabrera<sup>2</sup>,  
Jesús Emmanuel Patiño Mancera<sup>1</sup>, Sarahyt Santamaría González Figueroa<sup>1</sup>,  
Enrique Andrio Enriquez<sup>1</sup>, Francisco Cervantes Ortiz<sup>1</sup>.

1 Tecnológico Nacional de México - Roque, 2 INIFAP, Celaya, Guanajuato (México).

\* Autor de correspondencia:  
antonio.saul@hotmail.com

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum*, inhibición, enfermedades fúngicas.

La producción de papa en México presenta problemas de calidad debido al ataque de enfermedades fúngicas durante el desarrollo del cultivo, por lo cual es indispensable identificar las enfermedades de mayor incidencia que causan decremento en la calidad del tubérculo o reducción del rendimiento. El objetivo del presente estudio fue aislar los agentes causales de las enfermedades fúngicas radicales más frecuentes en el cultivo de papa en la región noroeste de México y probar *in vitro* la eficiencia en la reducción de crecimiento micelial por tres productos con actividad antifúngica. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 6 x 3 x 8 con cuatro repeticiones. Los factores fueron: Factor A: seis hongos fitopatógenos del cultivo de papa; Factor B: tres productos químicos de control (JP1, JP2, ácido acético) y Factor C: ocho dosis de aplicación (0, 1, 2, 5, 10, 25, 50 y 100). Se aislaron seis hongos fitopatógenos (*Fusarium solani* C1, *Risotonia solani*, *Penicillium* sp., *Verticillium* sp., *Fusarium solani* C2 y *Fusarium solani* C3) considerados con alta incidencia en el cultivo de papa. En las pruebas de inhibición micelial, el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en las fuentes de variación simples, así como en sus respectivas interacciones. Los hongos que tuvieron mayor inhibición por parte de los controles químicos fueron *Fusarium solani* C2 y C3; el producto químico que tuvo mejores resultados en inhibición fue el ácido acético; las dosis que llegaron a inhibir el crecimiento micelial, independientemente del producto químico, fueron del 5 al 10 %. El control más efectivo fue el ácido acético aplicado en dosis de 50 y 100 %.

# Determinación del contenido graso de semilla de zapote (*Mammea americana* L.) empleando tres solventes orgánicos

Sara Márquez Bueno<sup>1</sup>, Félix David Murillo Cuevas<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México, campus Úrsulo Galván, Úrsulo Galván (México).

\* Autores de correspondencia: sara.mb@ugalvan.tecnm.mx / felix.mc@ugalvan.tecnm.mx

**Palabras clave:** extracción, solventes, aceite vegetal.

En este trabajo se evaluaron tres solventes orgánicos a distintas temperaturas para la obtención del contenido graso de la semilla de *Mammea americana* así como los parámetros fisicoquímicos (densidad e índice de refracción). El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos del TecNM campus Úrsulo Galván, se recolectó la semilla de zapote en la localidad de La Antigua, Veracruz, se sometió a secado solar durante tres días (<9 % de humedad), se molió (molino de martillos) y se tamizó (< 400 $\mu$ m). La extracción del aceite de semilla de zapote (*Mammea americana*) se obtuvo mediante el método 31.4.02 (AOAC, 2000) y se emplearon tres solventes orgánicos diferentes: n-hexanos, metanol y éter de petróleo; cada solvente se trabajó a tres temperaturas diferentes, hexano, metanol (71 °C, 72 °C y 73 °C) y éter de petróleo (48 °C) para una muestra de 50 g. Se recuperaron los disolventes en un rotavapor marca Yamato Scientific, modelo RE200, al contenido graso obtenido se le determinaron los parámetros de densidad (NMX-F-075-SCFI-2012) e índice de refracción (NMX-F-075-SCFI-2011). El análisis estadístico se realizó a través del *software* Infostat, y se hizo un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de medias para comparar los solventes en cada una de las diferentes temperaturas evaluadas. Los solventes no fueron distintos de forma significativa en cuanto al contenido graso, pero se registraron diferencias significativas en cuanto a densidad e índice de refracción. Se concluye que los solventes y las temperaturas no afectaron el rendimiento del contenido graso, pero sí la densidad y el índice de refracción del aceite vegetal de semilla de zapote.

# Inoculación con hongos micorrízicos arbusculares y su efecto en la producción de jitomate Yellow Garden Peach

Sarahi Figueroa Pérez<sup>1\*</sup>, Óscar Arath Grageda Cabrera<sup>2</sup>,  
Sarahyt Santamaría González Figueroa<sup>1,2</sup>, José Antonio Ramírez Ramírez<sup>1</sup>,  
César Leobardo Aguirre Mancilla<sup>1</sup>, Sandra Patricia Maciel Torres<sup>1</sup>.

1 Tecnológico Nacional de México - Roque, Celaya, Guanajuato (México), 2 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Celaya, Guanajuato.

\* Autor de correspondencia: sara.hifigueroa@hotmail.com

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, producción, biofertilizantes.

La asociación entre algunos hongos y las raíces de la mayoría de las plantas es representada en gran parte por los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA). Esta asociación es benéfica para la planta al mejorar la disponibilidad de nutrimentos y la absorción del agua. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de distintas colectas de HMA en la producción de jitomate Yellow Garden Peach. El experimento se estableció en condiciones de invernadero con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones; se analizaron seis tratamientos: dos testigos (50 % y 100 % fertilizados) y cuatro colectas diferentes de HMA (I-156, D-045, C-129 y J-097) fertilizadas al 50 %. Las variables evaluadas fueron: número de flores, número de frutos, peso fresco y peso seco. Se observaron diferencias significativas en el análisis de varianza para los parámetros evaluados. Para la variable número de flores, los cuatro tratamientos inoculados con HMA superaron al testigo 50 % fertilizado y además D-045 superó al testigo 100 % fertilizado, mientras que J-097 lo igualó. En la variable número de frutos los cuatro tratamientos inoculados con HMA superaron al testigo 50 % fertilizado, C-129 superó al testigo 100 % fertilizado mientras que I-156 y J-097 lo igualaron. Para las variables peso fresco y peso seco, los tratamientos I-156, C-129 y J-097 resultaron estadísticamente iguales al testigo 100 %, mientras que el tratamiento D-045 igualó al testigo 50 % fertilizado. El uso de biofertilizantes es una alternativa viable para la creciente demanda de jitomate al lograr frutos de calidad, reducir hasta un 50 % la fertilización y facilitar el manejo agronómico de variedades de reciente explotación, como lo es este tipo de jitomate Heirloom que cada vez es más populares en el mercado *gourmet* en Europa y Estados Unidos.

# Cinética microbiana del suelo en distintos sistemas de labranza y rotación de cultivos

*Sarahyt Santamaría González Figueroa<sup>1,2\*</sup>, Óscar Arath Grageda Cabrera<sup>1</sup>,  
José Antonio Ramírez Ramírez, Sarahí Figueroa Pérez, Sandra Patricia Maciel Torres<sup>1</sup>.*

1 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP),  
2 Tecnológico Nacional de México - Roque, Celaya,  
Guanajuato (México).

\* Autor de correspondencia:  
sarahygonzalez@hotmail.com

## Palabras clave:

degradación del suelo,  
UFC, microorganismos  
rizosféricos, suelo vertisol.

Las comunidades microbianas del suelo involucradas en los ciclos biogeoquímicos de los nutrimentos vegetales son afectadas negativamente por prácticas agrícolas desfavorables. Se evaluó el efecto de tres sistemas de labranza: tradicional (LT), tradicional con incorporación de residuos (LTI) y conservación (LC); con tres rotaciones de cultivo: cereal-cereal (C-C), leguminosa-cereal (L-C) y cereal-leguminosa (C-L); a tres profundidades de suelo (0-5, 5-15 y 15-30 cm), sobre las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos durante un periodo de seis ciclos de cultivo (3 años). El sistema de labranza, la rotación de cultivo y la profundidad afectaron la concentración de las poblaciones microbianas en el suelo. En LT/C-C (testigo regional) disminuyeron 7,5 %, en cambio en LC/L-C y LTI/L-C incrementaron en un 144 % y 76 %, respectivamente. Aparte de la labranza, la rotación con leguminosas, principalmente cuando la leguminosa se cultivó en el ciclo primavera-verano (C-L), ocasionó aumentos significativos en las poblaciones microbianas. Al final de tres años, en LC y LTI las poblaciones de actinomicetos incrementaron, mientras que las fúngicas se mantuvieron estables y las bacterianas fluctuaron en los diferentes ciclos de cultivo. En todos los tratamientos se observó que la cantidad de microorganismos disminuyó con la profundidad del suelo. Las prácticas locales representan un riesgo para la diversidad de la biota edáfica, y es imperante que los agricultores adopten prácticas conservacionistas para lograr la sostenibilidad.

# Evaluación de la calidad de frutos de tomate tipo uva cv Sweetelle en poscosecha

*Pedro Vásquez Santiago<sup>1</sup>, Javier López Baltazar<sup>1</sup>,  
Reyna María de los Ángeles Gámez Hernández<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Oaxaca (México).

\* Autor de correspondencia:  
pedrovasquez santiago@hotmail.com

## Palabras clave:

poscosecha, sólidos solubles, acidez titulable, firmeza, índice de madurez.

El manejo poscosecha inadecuado del tomate lleva a pérdidas de hasta un 50 % de la producción, que ocurren desde la cosecha hasta el consumidor final. Por consiguiente, es importante realizar estudios de las condiciones de manejo después de la cosecha del producto en fresco, sobre todo en lo que se refiere a las condiciones de almacenamiento, temperatura, humedad relativa y vida de anaquel. En este sentido, se planteó la presente investigación con el objetivo de evaluar la calidad fisicoquímica de frutos de tomate tipo uva cv Sweetelle almacenados en cámara de refrigeración, temperatura ambiente y mantenidos en la planta, en combinación con 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días de almacenamiento. Se utilizaron minitomates cv Sweetelle, a través de un diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo factorial 3 x 6, con tres repeticiones, en el cual cada unidad experimental estuvo constituida por diez frutos. Los resultados muestran que la interacción de métodos de almacenamiento por días de almacenamiento fue significativa para las variables fisicoquímicas firmeza, sólidos solubles, acidez titulable y color, en las tres fechas de muestreo. No obstante, el índice de madurez fue afectado significativamente por dicha interacción en la primera y tercera fecha de muestreo.

# Manejo semiorgánico del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en Nochixtlán, Oaxaca

Baldomero Hortencio Zárate Nicolás<sup>1</sup>, Melvin Gumercindo Franco Carrillo<sup>1</sup>, Reyna María de los Ángeles Gámez Hernández<sup>1</sup>.

1 Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, Oaxaca (México).

\* Autor de correspondencia: reyna.gh@voaxaca.tecnm.mx

## Palabras clave:

caracterización, semiorgánico.

Oaxaca es un estado con condiciones agrometeorológicas favorables para la producción de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). El cultivo exige algunas especificaciones de manejo para su crecimiento ideal: suelos ácidos, rico en materia orgánica, buen drenaje, nutrición y riego adecuado. El proyecto tuvo como objetivo caracterizar el manejo semiorgánico del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en la mixteca oaxaqueña. Se utilizaron plantas adultas variedad Biloxi de dos años de edad, plantadas en sustrato de corteza de pino. Se realizó poda de renovación para reactivar las plantas y se aplicó enraizador orgánico cada tres días después de la poda. Para una nutrición balanceada, se formuló y aplicó la solución nutritiva, en un volumen de 150 mililitros diarios, a través de riego por goteo. La fertilización foliar se realizó a base de productos orgánicos. La incidencia de plagas y enfermedades se controló con insecticidas y fungicidas orgánicos a base de plantas, rosa laurel y neem, además de caldo sulfocálcico. Se estableció un diseño completamente al azar con dos tratamientos, diez repeticiones y veinte unidades experimentales, constituido por una planta en cada bolsa de 50 kg. Se evaluaron las variables de crecimiento, altura, grosor de tallo, número y longitud de cañas. Se realizó análisis de varianza y prueba Tukey ( $\leq 0.05$ ), utilizando paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). El resultado del análisis estadístico de las variables altura, grosor de tallo, número y longitud de cañas, no presenta diferencia significativa. Sin embargo, el crecimiento puede ser favorecido por el manejo semiorgánico y reflejarse más adelante, debido a la edad de la planta. Por el periodo corto de evaluación, se deduce que el manejo semiorgánico proveerá las condiciones culturales y nutricionales adecuadas para el desarrollo del cultivo.

# Aportes al beneficio de la cadena productiva del café en el panorama de la química verde y de los ODS

Mábel Martínez-Rodríguez<sup>a</sup>, Ana Milena Escamilla-Santos<sup>a</sup>,  
Andrea del Pilar Sánchez-Camargo<sup>a</sup>, Fabián Parada-Alfonso<sup>a</sup>, J. Jaramillo<sup>b</sup>,  
Elena Ibáñez<sup>c</sup>, Alejandro Cifuentes<sup>c</sup>.

<sup>a</sup> Grupo de Investigación en Química de Alimentos - GIQA (COLO004549), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

<sup>b</sup> Empresa La Tostadora SAS, Bogotá.

<sup>c</sup> Laboratorio de Alimentómica (Foodomics Lab.) CIAL-CSIC/UAM, Madrid (España).

## Palabras clave:

El sector cafetero aportó el 25 % al PIB agrícola —12 % al PIB agropecuario—, lo que corresponde a cerca del 1 % del PIB total del país para el año 2019. La tradición de la industria cafetera y su importancia para la economía nacional son alicientes para la innovación en la respectiva cadena productiva, con la promisoriosa generación de valor agregado, lo cual estimularía aún más el aporte de este producto a la productividad nacional. Teniendo como marco de acción los principios de la química verde y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), una estrategia para valorizar la cadena de valor del café e incidir de forma positiva sobre el PIB, consiste en disminuir el volumen de residuos o subproductos que se generan, así como desarrollar nuevos productos involucrando dichos subproductos (1,2). La película plateada (*coffee silverskin* - CSS) es el único subproducto generado durante el proceso de tostado del grano, el cual puede corresponder al 2 % del peso del grano de café verde; el café pergamino se trilla para producir café verde. Recientes trabajos de investigación han permitido plantear algunas rutas promisorias para valorizar la CSS (3,4). Nuestra estrategia consistió en someter la CSS a extracciones secuenciales, a saber: con CO<sub>2</sub> supercrítico (CO<sub>2</sub>Sc) se obtuvo (i) una fracción poco polar rica en triglicéridos y el remanente se extrajo con EtOH presurizado, logrando (ii) una fracción polar que presentó actividad antioxidante y (iii) la torta que presentó un alto contenido de fibra; la torta se direccionó como ingrediente para la obtención de un producto horneado. Dicha estrategia aporta al desarrollo sostenible del sector cafetero, ocasionando posibles aplicaciones para un subproducto agroindustrial de interés, como es la CSS y atenuando el volumen de residuos producidos.

**Agradecimientos:** los autores reconocen el importante apoyo de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia mediante el proyecto Cód. Hermes 47233.

## Gestión y manejo de recursos naturales

# Rol trófico de los peces en un lago subtropical distrófico (laguna del Cisne, Canelones) y su potencial implicancia en los flujos de energía en el ecosistema

Martín Pacheco<sup>1</sup>, Giancarlo Tesitore<sup>1</sup>, Franco Teixeira de Mello<sup>1</sup>, César Rodríguez<sup>1</sup>, Alejandra Kröger<sup>1</sup>, Guillermo Goyenola<sup>1</sup>.

1 Centro Universitario Regional del Este-Maldonado (Uruguay), UDELAR.

\* Autores de correspondencia:  
martinpachedur@gmail.com / goye@fcien.edu.uy

**Palabras clave:** : rol trófico, distrofia, omnivoría, posición trófica.

La laguna del Cisne es un sistema léntico, somero y distrófico en plena reconversión productiva. Allí se buscó describir el rol trófico de la comunidad de peces y analizar su implicancia potencial sobre el flujo de energía mediante un muestreo invernal. En las veinte especies capturadas, sus estómagos fueron analizados y los ítems contenidos clasificados y cuantificados para determinar la posición trófica, omnivoría, amplitud y solapamiento de nicho. Se agruparon las dietas por similitud, se realizó un análisis trófico poblacional utilizando el diagrama de Amundsen y a su vez se esquematizaron los principales enlaces de energía entre los componentes del ecosistema. Los zooplanctívoros dominantes, con estrategias poblacionales con alto componente interfenotípico, presentaron las mayores posiciones tróficas. Por su parte, los invertívoros presentaron estrategias con dominancia del componente intrafenotípico. El mayor solapamiento de nicho ocurrió entre *Heterocheirodon yatai* y *Cheirodon interruptus* con hábitos tróficos muy similares, seguido por *Oligosarcus oligolepis* y *Characidium rachovii*. Estos dos grupos tróficos representan vías de flujo preferencial de energía y control descendente; y por otra parte, los enlaces con la productividad fitoplanctónica no son de particular relevancia. A su vez, la omnivoría fue detectada en 12 de las 20 especies analizadas, lo que se relaciona con la estabilidad de la red. La prevalencia de las especies omnívoras con tendencias carnívoras posiciona a esta laguna como un ecosistema particular donde abundan las interacciones indirectas. Este trabajo constituye uno de los primeros abordajes tróficos poblacionales utilizando el método de Amundsen en ecosistemas acuáticos uruguayos. Comprender cabalmente estos flujos de energía dependerá de mejorar en el futuro la comprensión de las abundancias relativas de las especies ícticas, así como aumentar el número de ejemplares e integrar la información anual. En consonancia, el aporte complementario de un análisis isotópico es de importancia para avanzar más en el entendimiento de esta comunidad.

## De los papeles al territorio.

# Desafíos de generar una propuesta de zonificación y gestión del refugio de fauna en la laguna de Castillos, Rocha (Uruguay)

Martín Buschiazzo<sup>1\*</sup>

1 Museo de Historia Natural Dr. Carlos A. Torres de la Llosa. CES. Montevideo (Uruguay). Instituto Superior Polo Educativo Tecnológico UTU - LATU. Montevideo.

\* Autor de correspondencia:  
buschiazomartin@gmail.com

**Palabras clave:** áreas protegidas, gestión, zonificación, actores clave, conservación.

Las áreas protegidas (AP) son fundamentales para conservar y preservar ecosistemas y biodiversidad. Colaboran para preservar la continuidad de servicios y funciones ecosistémicas que producen y sostienen, y son la principal herramienta para la conservación *in situ* de la biodiversidad. Los planes de gestión son documentos que establecen pautas de uso y gestión de un AP. Reflejan diferentes productos de un proceso de planificación estratégica, incluyendo valores de conservación, visión que guiará la gestión del área, forma de organización para toma de decisiones, objetivos y estrategias. El objetivo del trabajo fue elaborar una propuesta de zonificación y gestión preliminar del AP "Refugio de Fauna Laguna de Castillos". Se trabajó con la metodología propuesta por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay para la elaboración de planes de manejo que combina e integra los criterios de uso y condición de las AP. Se recabó información bibliográfica y se realizaron entrevistas con actores clave. Dicha AP se ubica en el SE de Uruguay, cuenta con una extensión superior a 8000 hectáreas, en su mayoría cuerpo de agua de laguna y el arroyo Valizas. Además tiene una porción terrestre de aproximadamente 150 hectáreas que alberga diferentes formaciones vegetales. Esta AP existe desde 1966 sin contar nunca con un plan de gestión, ni zonificación. Asimismo, se desarrollan actividades turísticas y de pesca artesanal en su cuerpo de agua, sin planificación ni control adecuado. Del diagnóstico y análisis de los aspectos físicos, biológicos y sociales del área junto con la visión de los diferentes actores involucrados y las actividades tanto de conservación como productivas, se plantearon posibles estrategias y pautas de gestión para ser llevadas adelante en el AP. Finalmente se realizó una propuesta de zonificación del área, tanto de la parte acuática como terrestre con una serie de pautas de manejo.

# Estudio de la bioadsorción de níquel con adsorbente de maíz en aguas residuales provenientes de una industria de galvanotécnica

Mary Janeth Garzón Gutiérrez<sup>1</sup>, Carlos Miguel Torrado Cuellar<sup>2</sup>.

1 Maestría en Ciencias Ambientales, Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá.

2 Universidad Nacional a Distancia (Unad), Bogotá (Colombia).

\* Autores de correspondencia: garzón.biología@gmail.com / carlosmigueltorrado@gmail.com

## Palabras clave:

adsorbato, bioadsorbente, bioadsorción, níquel, viabilidad.

Hoy en día la contaminación hídrica por metales pesados se genera por diversos factores dentro de los cuales se encuentran los vertimientos de industrias como la galvanotecnia. Aunque se tienen alternativas para disminuir la concentración de estos elementos son opciones de difícil manejo operacional y costosas como las zeolitas y resinas de intercambio catiónico; sin embargo, el método de bioadsorción es una herramienta que pretende contribuir a mitigar el impacto ambiental que genera la contaminación de metales pesados en aguas residuales industriales. En la presente investigación, se evaluó la bioadsorción de níquel, utilizando hojas de mazorca de maíz como adsorbente. Se obtuvieron muestras de agua residual sin tratamiento terciario, se envió a laboratorio químico acreditado para su respectivo análisis de los parámetros fisicoquímicos y a su vez se observó una mayor concentración de Ni de 1,29 mg/L en comparación con los otros metales de Cr 0,483mg/L y Cu 0,144mg/L. Se utilizaron hojas de mazorca de maíz (*Zea mays* L.), luego en Tecnoparque se realizó el análisis proximal del material vegetal, indicando que la humedad de este fue de 8,21 %, de cenizas 2,82 % y de volátiles 88,5 %. Posteriormente, se diseñó la columna bioadsorción con las hojas de mazorca de maíz, a través de la cual se hizo correr el agua residual industrial y se recolectaron las muestras en función del tiempo. Los resultados indicaron que la muestra obtenida a las 18 horas presentó la mayor eficiencia de bioadsorción de Ni con una concentración mínima a 0,275 mg/L equivalente a un porcentaje de adsorción de 78,68 % en el agua residual, y la capacidad máxima de adsorción en la columna fue de 0,1422mg Ni/g de adsorbente. El análisis de viabilidad indica que este bioadsorbente es una alternativa convencional viable para la remoción de metales pesados de níquel.

# Biodegradación de poliestireno expandido (EPS): revisión sistemática de organismos promisorios (bacterias, hongos e insectos)

Diana Carolina Russi Aldana<sup>1</sup>, Diana Karina López Carreño<sup>2</sup>, Alexandra Vásquez Ochoa<sup>3</sup>.

1 Universidad de Cundinamarca,  
Fusagasugá, Cundinamarca  
(Colombia). drussi@ucundinamarca.  
edu.co

2 Ingeniería Industrial, Universidad  
de Cundinamarca, Soacha,  
Cundinamarca (Colombia). dklopez@  
ucundinamarca.edu.co

3 Universidad de Cundinamarca,  
Fusagasugá, Cundinamarca  
(Colombia). lalexandravasquez@  
ucundinamarca.edu.co

## Palabras clave:

biodegradación,  
poliestireno expandido,  
bacterias, hongos, insectos.

El trabajo de investigación busca aportar por medio de un estado del arte, la recopilación de investigaciones sobre la biodegradación de poliestireno expandido (EPS) a partir de bacterias, hongos e insectos alrededor del mundo, como alternativa para su tratamiento. Además, contribuir con el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 “Ciudades y comunidades sostenibles de la agenda 2030”, puesto que, con el crecimiento poblacional y los inadecuados hábitos de consumo, se ha incrementado la contaminación ambiental por residuos sólidos como el EPS, cuya degradación puede tardar cientos y miles de años. Este estudio hace un aporte al tema a partir de la aplicación metodológica distribuida en tres fases, la recopilación de información de bases de datos, la consolidación de variables involucradas que intervienen en el proceso, como son: organismo, lugar y factores ambientales, y la relación de aspectos relevantes vinculados a la eficiencia de biodegradación del EPS. Por otra parte, se espera que, a partir de la construcción de una matriz de datos, se pueda desarrollar la distribución espacial de las investigaciones y la relación de los organismos competentes. Los resultados parciales evidencian la despolimerización de EPS mediante larvas de insectos como *Tenebrio molitor*, *Zophoba morio*, *Zophobas atratus* y *Galleria Mellonella* que contienen microorganismos en su intestino que facilitan la degradación de dicho polímero. Además, los análisis químicos de su excreta relacionan la formación de compuestos de bajo peso molecular y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) confirmando la mineralización del EPS. Estas especies son un aporte significativo a la revisión sistemática que se está desarrollando, lo cual es un avance para el análisis de la investigación.

# Determinación del índice y calidad de sitio del árbol de ramón (*Brosimum alicastrum*, Swartz) en el estado de Tabasco, México

Dulce Olivia Rodríguez-Hernández<sup>1</sup>, Agrícola Arrieta-Rivera<sup>1</sup>, Lorenzo Armando Aceves-Navarro<sup>2</sup>, Rufo Sánchez-Hernández<sup>1</sup> y Silvia del Carmen Ruíz-Acosta<sup>1</sup>.

Tecnológico Nacional de México/ IT de la Zona Olmeca, Cuerpo Académico Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Ignacio Zaragoza S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México. 86270.

Colegio de Posgraduados Campus Tabasco. Área del Conocimiento Ambiente. Periférico Carlos A. Molina s/n km 3,5, H. Cárdenas, Tabasco, México. CP 86570.

\*Autor de correspondencia: agrícola.ar@zolmeca.tecnm.mx

**Palabras clave:** *Brosimum alicastrum*, índice de sitio, potencial productivo.

Por sus múltiples usos y beneficios de *Brosimum alicastrum* (Swartz) en la alimentación humana y animal, se requiere conocer si en el estado de Tabasco existen condiciones edafoclimáticas para su establecimiento, además de determinar la calidad de sitio en el estado de Tabasco y definir áreas con alto potencial para el establecimiento del ramón. Se realizaron recorridos de campo en todo el estado para determinar la presencia y abundancia del ramón. Para los sitios muestreados se determinó los índices de sitio correspondientes. El modelo utilizado fue el de Chapman-Richards. Para definir las áreas con alto potencial productivo, se utilizó el método de Zonificación Agroecológica propuesto por la FAO. Para evaluar el recurso clima, se utilizaron datos diarios de temperatura y precipitación de 29 estaciones climatológicas distribuidas en el estado. Para la evaluación del recurso suelo, se utilizaron datos detallados de las unidades y subunidades del sistema FAO/Unesco reportados digitalmente para Tabasco. Para definir las áreas edafoclimáticamente óptimas para el cultivo del ramón, se utilizaron los límites propuestos por la FAO/Ecocrop para las variables climáticas y de suelos. Se obtuvieron cinco índices de sitio, que se clasificaron en bajo (11 m), regular (13 m), medio (18 m), alto (22 m) y excelente (25 m). También se encontró que edafoclimáticamente, Tabasco cuenta con una superficie total de 986,877.38 ha con alto potencial para el establecimiento de plantaciones de ramón, que representan el 39,9 % del total de la superficie del estado. Los suelos predominantes con alto potencial, en orden de importancia, son los leptosoles, vertisoles, luvisoles y cambisoles. Y son los municipios de Balancán, Tenosique, Huimanguillo, Macuspana y Cárdenas, donde se concentra más del 67 % del área con alto potencial. Se concluye que en todo el estado de Tabasco existen zonas con aptitud óptima edafoclimática para establecer el ramón.

# Un acercamiento a la sostenibilidad hídrica en la unidad agroambiental La Esperanza de la Universidad de Cundinamarca

Ricardo Andrés Mancipe Muñoz<sup>1\*</sup>.

1 Maestría en Ciencias Ambientales, ingeniero industrial.

\* Autor de correspondencia:  
ramancipe@ucundinamarca.edu.co

**Palabras clave:** huella hídrica, indicador de sostenibilidad, gestión hídrica.

El manejo eficiente de la economía exige una valoración adecuada de los recursos naturales y ambientales (Samuelson y Nordhaus, 2009, p. 274). La Unidad Agroambiental La Esperanza del Centro de Estudios Agroambientales es un módulo académico de la Universidad de Cundinamarca. Esta unidad lleva a cabo actividades agropecuarias que hacen uso de recursos naturales valiosos y escasos. Debido a esto, el recurso hídrico es indispensable para el desarrollo y sostenimiento de sus actividades productivas, académicas y de investigación, entre otras. En conjunto, esta investigación calculó la huella hídrica de negocio de los sistemas productivos: (1) producción bovina, (2) producción ovina, (3) producción cunícola, (4) producción porcina, (5) producción de café y (6) producción equina, haciendo uso de un modelo diseñado para este caso, a partir de la metodología de Hoekstra *et al.* (2011). Los datos han sido obtenidos a partir de los registros del Sistema de Gestión de Calidad y el levantamiento cualitativo de procesos.

# Usos de sistemas de información geográfica para la planificación territorial en el municipio de Silvania, Cundinamarca

*Hernán Granda-Rodríguez<sup>1</sup>, Jenny Patricia-Vanegas<sup>1</sup>, Daniel Robledo-Buitrago<sup>1</sup>, John Jairo Castañeda<sup>1</sup>, Édier Fernando Ávila-Vélez<sup>1</sup>, Miguel A. De Luque-Villa<sup>1,2</sup>.*

1 Grupo de investigación Cundinamarca Agroambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ingeniería Ambiental, Facatativá, Colombia.

2 Departamento de Ecología y Territorio, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana.

\* Autor de correspondencia: hgranda@ucundinamarca.edu.co

**Palabras clave:** Silvania, SIG, posconflicto, deforestación.

Colombia es el país más afectado por el conflicto armado en América Latina, donde convergen los grupos armados y los narcotraficantes, lo que ha generado desplazamientos en la zona rural. Este desplazamiento histórico permitió aumentar la frontera agrícola y ganadera, transformando los ecosistemas naturales en paisajes fragmentados, alterando la funcionalidad, estabilidad y dinámica de todos los ecosistemas nacionales. Esta investigación propone recopilar e interpretar datos geográficos y temporales sobre los cambios en la cobertura del uso de la tierra en el municipio de Silvania. Con el fin de ayudar a mejorar el desarrollo sostenible y la planificación del uso de la tierra en Silvania, Colombia, se realizó un análisis espacio-temporal de los cambios de la cobertura vegetal en los años 1994 a 2018. La fotointerpretación de las imágenes de satélite se realizó con el programa informático ArcGIS 10.5 y siguiendo la metodología Corine Land Cover. Este estudio reporta que en los últimos 20 años en Silvania el cambio de uso de la tierra de las áreas forestales y seminaturales solo disminuyó en un 6 %. Estos cambios no son significativos en comparación con otras áreas colombianas, donde la deforestación ha aumentado después del fin del conflicto armado. Tal vez la presencia del conflicto armado en Silvania evitó hasta cierto punto la acelerada tasa de deforestación, comparados con otras áreas de Colombia como el Caribe, el Chocó, la Amazonía o el Caquetá. Es urgente llevar a cabo una planificación estratégica en este municipio con la ayuda de diferentes herramientas tecnológicas como los SIG, ya que son importantes para la planificación del uso del suelo, y permiten la comprensión y el análisis de la información relacionada con el territorio.

# Recursos naturales y desarrollo local

## Actitudes y percepciones de comunidades locales hacia los anfibios en entornos urbanos y rurales: herramientas para la conservación biológica

Danny Vergara-Ríos<sup>1</sup>, Andrés Camilo Montes-Correa<sup>2</sup>, J. Nicolás Urbina-Cardona<sup>3</sup>, Miguel De Luque-Villa<sup>4</sup>, Pedro E. Cattán<sup>5</sup>, Hernán D. Granda-Rodríguez<sup>4\*</sup>.

1 Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Biología, Universidad del Magdalena.

2 Grupo de Investigación en Manejo y Conservación de Fauna, Flora y Ecosistemas Estratégicos Neotropicales (MIKU), Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

3 Departamento de Ecología y Territorio, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana.

4 Grupo de investigación Cundinamarca Agroambiental, Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Ingeniería Ambiental, Facatativá, Colombia.

5 Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, Santiago (Chile).

\*Autor de correspondencia: hgranda@ucundinamarca.edu.co

Las percepciones humanas determinan el grado en que las personas pueden coexistir con la biodiversidad. En esta investigación se determinó el efecto de la localidad urbana y rural en que viven las personas, así como su sexo, edad y nivel de educación, en lo que respecta a los conocimientos y las percepciones sobre los anfibios. Los datos se recogieron mediante encuestas, que trataron de evaluar las percepciones de 401 participantes sobre los anfibios. Se midieron siete variables de respuesta a través de la escala de Likert: composición de los grupos taxonómicos, número de grupos taxonómicos conocidos, composición de especies de anuros, número de especies de anuros, nivel de importancia de los anfibios en la naturaleza, percepciones positivas sobre los anfibios y creencias negativas sobre los anfibios. Para cada variable de respuesta se generó una matriz Bray-Curtis y un análisis multivariado de la varianza (PERMANOVA). El 92 % de las personas reconocieron correctamente a las ranas y los sapos como anfibios, pero hubo confusión al clasificar a las cecilias y las salamandras dentro de este grupo, o al incluir a los reptiles, en el grupo de los anfibios. Esta confusión fue más evidente para las mujeres de la localidad urbana. Nadie reconoció las cinco especies nativas que se muestran en el estudio, aunque los habitantes de la localidad rural reconocieron más especies que los de la localidad urbana. Las percepciones positivas sobre los anfibios variaban entre la localidad urbana y la rural para los adultos jóvenes, las personas con un nivel de educación secundaria y las personas sin educación formal. Los resultados sugieren que los planes de conservación de anfibios que tienen por objeto informar y educar al público deberían enfocarse de manera diferente según los grupos de edad, los géneros y el nivel educativo de las personas en las localidades.

**Palabras clave:** población local, percepciones humanas, conservación de la biodiversidad, conocimiento local, Sierra Nevada de Santa Marta.

# Distribución espacial de los escenarios de riesgo a desastres naturales del municipio de Sylvania, Cundinamarca

*Darly Geraldine Hernández Bermúdez<sup>1</sup>, Diana Paola Hueje Samacá<sup>1</sup>, Daniel Armando Robledo Buitrago<sup>1,2</sup>, Hernán Darío Granda Rodríguez<sup>1</sup>.*

1 Universidad de Cundinamarca, Facatativá (Colombia).

2 Universidad de Manizales, Manizales (Colombia).

\* Autores de correspondencia: dgeraldinehernandez@ucundinamarca.edu.co / dhueje@ucundinamarca.edu.co / drobledo@ucundinamarca.edu.co / hgranda@ucundinamarca.edu.co

**Palabras clave:** incendios forestales, remoción en masa, inundación, amenaza, riesgo.

La investigación realizó el análisis de la distribución espacial de los escenarios de riesgo por remoción en masa, inundaciones e incendios forestales. En la primera etapa se hizo consulta y análisis de información asociada a variables del territorio como la cobertura vegetal, pendientes, textura de suelos, litología, cartografía base y demás factores estructurales, económicos, ecológicos, patrimoniales, institucionales, territoriales y poblacionales; dicha información fue obtenida mediante portales institucionales y consulta con la administración municipal de Sylvania. Toda la información fue procesada y analizada por medio de sistemas de información geográfica, mediante análisis multicriterio y álgebra de mapas, asignando calificaciones entre 1 (muy baja) a 5 (muy alta) según la influencia que tuvieran las características del territorio en la amenaza por cada fenómeno, así como en la vulnerabilidad. Finalmente, la determinación del riesgo fue producto entre la vulnerabilidad total y amenaza de cada fenómeno. El territorio de Sylvania posee un 20 % de su área con riesgo alto y muy alto de inundaciones, 17 % con riesgo alto y muy alto de incendios forestales y 33 % de riesgo alto y muy alto de remoción en masa. Las categorías de riesgo más relevantes son muy baja, baja y moderada, que para inundaciones corresponden a 18,39 %, 27,01 % y 30,76 %, respectivamente, incendios forestales 31,17 %, 30,71 % y 21,60 %, respectivamente, y remoción en masa 0,08 %, 27,59 % y 38,81 %, respectivamente. El porcentaje de ocurrencia de cada fenómeno es mayor para el escenario de remoción en masa y menor nivel de ocurrencia para inundaciones. En conclusión, Sylvania esta propenso a sufrir fenómenos de remoción en masa al sureste, en sus límites con Fusagasugá y Sibaté, el riesgo de inundaciones con la categoría más alta se ubica al suroeste del municipio e incendios presenta mayor riesgo en la zona que rodea el centro urbano.

# Producción de papa (*Solanum tuberosum*) y uso de TIC: una aproximación desde el pequeño productor

Lilia Yohanna Martínez Acosta<sup>1\*</sup> y Yudy Bonilla Bonilla<sup>2.</sup>

1 Universidad de Cundinamarca,  
Fusagasugá, Colombia.

2 Facultad de Ciencias  
Administrativas, Económicas  
y Contables. Universidad de  
Cundinamarca, sede Chía.

\* Autoras de correspondencia:  
ymarlenbonilla@ucundinamarca.  
edu.co / lymartineza@unal.edu.co

**Palabras clave:** TIC, papa,  
pequeño productor.

La producción de papa representa un renglón importante en la economía colombiana, sin embargo, existen dificultades en cuanto al acceso, uso y apropiación de las TIC como herramienta útil en el medio productivo de los pequeños productores rurales, lo cual representa una brecha significativa con respecto a los productores de gran talante. El objetivo de esta investigación busca proponer estrategias sostenibles a través de la gestión del conocimiento, el uso y la apropiación de las TIC con el fin de mejorar la productividad del cultivo de papa en pequeños productores. En este sentido, se hace una aproximación desde la Investigación Acción Participación en el entorno rural del pequeño productor. Es realizada en tres fases: la primera de diagnóstico, en la cual se construye la caracterización socioeconómica de los productores. La segunda, en la que se establecen los actuales niveles de uso y apropiación de las TIC, y la tercera fase, el diseño de una propuesta con estrategias dirigidas a incentivar el uso y la apropiación de las TIC en el medio productivo de los cultivadores de papa. Esta investigación se soporta en tres ejes establecidos así: 1) economía campesina en el municipio de Chocontá, vereda Pueblo Viejo, 2) gestión del conocimiento y TIC, 3) sostenibilidad. Es un estudio de caso, el cual se realizó con una metodología Investigación Acción Participación, y tiene un diseño exploratorio con un enfoque mixto, dado que hace uso de información cualitativa y análisis cuantitativo. La metodología incluye diferentes instrumentos como encuestas, entrevistas semiestructuradas y grupos focales, y a partir de la información obtenida se contrastó con estrategias en contextos similares y se determinaron estrategias sostenibles coherentes con las necesidades y características territoriales, así como los lineamientos vigentes.

# Impacto de las buenas prácticas de uso eficiente y ahorro de agua en la huella hídrica de los establecimientos de alojamiento y hospedaje (Melgar, Tolima)

José Nicolás López Betancourt<sup>1\*</sup>

1 Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá (Colombia).

\* Autor de correspondencia: jnicolaslopez@ucundinamarca.edu.co

## Palabras clave:

establecimientos de alojamiento y hospedaje, buenas prácticas ambientales, uso eficiente y ahorro de agua, huella hídrica.

En la actualidad, la problemática asociada a la contaminación del agua y el agotamiento de los recursos hídricos, como el agua dulce, constituye uno de los grandes desafíos ambientales del siglo XXI (Hogeboom, 2020). Esto se ve reflejado en diversas actividades humanas, entre las que se incluye el turismo, el cual impacta considerablemente en el uso del agua, debido principalmente a los altos consumos de agua, requeridos por los turistas. Por ello, en el mundo se han emitido normas ambientales para el control de la cantidad de agua y la contaminación ambiental en términos generales del sector turístico. En Colombia se encuentra la Norma Técnica Sectorial de Turismo Sostenible, NTS-TS 002 del 2014 regulada por la Resolución 3860 del 2015, la cual consolida los principios básicos para la implementación del turismo sostenible en el país. Teniendo en cuenta lo antes descrito, el objeto del presente proyecto es analizar el impacto de las buenas prácticas ambientales en la huella hídrica de agua potable por parte de los establecimientos de alojamiento y hospedaje (EAH) del municipio de Melgar (Tolima) entre 2015 y 2019. Para ello, se abordará la implementación de las buenas prácticas ambientales de gestión integral del recurso hídrico en los EAH y se determinarán las variaciones en los consumos de agua presentados por estos establecimientos, entre los años de estudio y teniendo como referencia el antes y después de 2017, siendo este el año fijado para la obligatoria implementación de la norma antes descrita. Finalmente en este estudio, se aplicarán 121 encuestas a los establecimientos de alojamiento y hospedaje del municipio de estudio; además, se solicitó al acueducto municipal, los consumos históricos de agua de estas organizaciones hoteleras. A partir de esto, se realizará una correlación de Pearson y se analizará la implementación de las buenas prácticas de uso eficiente y ahorro de agua dentro de los EAH, y se evaluará la efectividad de la implementación de dichas prácticas con respecto a los consumos de agua potable.

# Análisis espacial del grado de amenaza por incendios forestales en el municipio de El Rosal, Cundinamarca

Laura Amaya Devia<sup>1</sup>, Daniel Armando Robledo Buitrago<sup>2</sup>.

1 Universidad de Cundinamarca, Facatativá, Colombia.

\* Autor de correspondencia: lamayad@ucundinamarca.edu.co

2 Universidad de Cundinamarca, Facatativá, Colombia. Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.

\* Autor de correspondencia: drobledo@ucundinamarca.edu.co

**Palabras clave:** incendios forestales, cobertura vegetal, zonificación, sistemas de información geográfica.

Se hace necesario implementar un análisis espacial del grado de amenazas por incendios forestales en el municipio de El Rosal, en aras de preservar la integridad ambiental del territorio y sus habitantes. Esta herramienta es fundamento base para pronosticar el comportamiento de los fuegos en todo el territorio permitiendo actuar de manera temprana y eficiente frente a dichas ocurrencias. La presente ponencia realizó el análisis espacial y la distribución del fenómeno amenazante por incendios forestales en el municipio de El Rosal y, a su vez, se identificaron las variables con mayor grado de influencia en la generación de algún incendio forestal en la zona. Se adaptó la guía consignada en el protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal propuesta por el Ideam, en la cual se integraron factores de susceptibilidad de la vegetación relacionados con la cobertura vegetal del año 2020, factores climáticos, relieve, factor histórico y accesibilidad; dicha integración se ejecutó con ayuda de sistemas de información geográfica, lo cual generó una calificación y ponderación a cada variable. El grado de amenaza por incendios forestales en El Rosal es en su mayoría “alto”, con un 96,51 % del territorio con este nivel. La mayor parte de estas zonas están influenciadas en gran medida por los factores de relieve y cobertura vegetal, y concentra esta última un grado de susceptibilidad “alto” con un 79,07 %, lo cual indica que la zona presenta condiciones aptas para la generación y propagación de un incendio forestal. El municipio requiere implementar planes de acción para la mitigación de la amenaza por incendios forestales y, a su vez, se ayuda a ampliar la información para el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres y en las actualizaciones del Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

# Monitoreo automatizado de calidad de agua: experiencias, oportunidades y desafíos

Guillermo Goyenola<sup>1\*</sup>, Javier García<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ecología y Rehabilitación de Sistemas Acuáticos, Departamento de Ecología y Gestión Ambiental, Centro Universitario Regional Este.

\* Autor de correspondencia: goyenola@gmail.com

**Palabras clave:** monitoreo automatizado, internet de las cosas, telemetría, calidad de agua, eutrofización.

Las tecnologías de monitoreo automatizado de sistemas acuáticos hacen posible conocer la variabilidad de sistemas fuertemente dinámicos, obtener datos nocturnos, en condiciones meteorológicas extremas y superar otros condicionantes de las estrategias tradicionales. El seguimiento de alta frecuencia combinado con el envío telemétrico de datos, posibilita generar grandes cantidades de datos, detectar tempranamente el mal funcionamiento de equipos, como también establecer alertas tempranas. Por otra parte, su implementación involucra el desarrollo de capacidades en múltiples disciplinas y demanda una ingente capacidad de curación, análisis e interpretación de datos. Como consecuencia, su desarrollo original involucra un vínculo efectivo con la generación de conocimiento. Se presenta la experiencia multistitucional desarrollada en colaboración entre actores académicos, gestores ambientales, instituciones de educación media y el sector privado en lagos urbanos eutróficos del departamento de Canelones, Uruguay.



**UDEC**  
UNIVERSIDAD DE  
CUNDINAMARCA

[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co)



Vigilada MinEducación