

REVISTA CIENTÍFICA

CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

ISSN: 2773-7772/ Volumen 18 (2) Diciembre 2024



ÁREA CIENCIAS DE LA VIDA

Facultad de Ciencias Naturales

Universidad de Guayaquil

Responsable Editora

Dra. Carmita Bonifaz de Elao, MSc. (Universidad de Guayaquil,Ecuador).

Comité Ejecutivo

PhD. Francisco Morán Peña, Universidad de Guayaquil, Ecuador

Rector de la Universidad de Guayaquil

PhD. Sofía Lovato Torres, Universidad de Guayaquil, Ecuador

Vicerrectora Académica de la Universidad de Guayaquil

PhD Amalin Ladayse Mayorga, Universidad de Guayaquil, Ecuador

Decana de Investigación, Postgrado e Internacionalización de la Universidad de Guayaquil

PhD. Alfonso Guijarro, Universidad de Guayaquil, Ecuador

Editor General de Revistas de la Universidad de Guayaquil

MSc. Jenny Rosero Lozano, Universidad de Guayaquil, Ecuador

Decana Facultad de Ciencias Naturales

MSc. César Oswaldo Fuentes Campuzano, Universidad de Guayaquil, Ecuador

Subdecana Facultad de Ciencias Naturales

Consejo Editorial

MSc. Xavier Cornejo Sotomayor (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

PhD. Beatriz Pernía Santos (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

MSc. Ariel Escobar Troya (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Ph.D. Priscila Valverde Armas (Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador)

Ph.D. Ever Morales Avendaño (Universidad Técnica de Manabí)

Ph.D Javier Oswaldo Soto Valenzuela (Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador)

Comité Científico Internacional

PhD. Claes Persson, (Departamento de Biología y el Medio Ambiente, University of Gothenburg, Suecia)

PhD. Eulogio Chacón Moreno (Universidad de Mérida, Venezuela, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas -ICAE)

PhD. Jaime R. Cantera-Kintz (Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali, Colombia)

PhD. Bertil Stahl, (Departamento de Biología, Gotland University, Suecia)

PhD. María Eugenia Rondón (Universidad de Mérida, Venezuela, Instituto de Química)

Traducción

MSc. Xavier Cornejo Sotomayor (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Coordinación Editorial

Jessy Santana Pincay

Impresión y acabados

Imprenta de la Universidad de Guayaquil

Captura de carbono en cacao (*Theobroma cacao* L.): Una estrategia de adaptación al cambio climático

Carbon capture in cocoa (*Theobroma cacao* L.): a climate change adaptation strategy

Ángela Daniela Bermello Vélez ¹, Lorena Lucía Briones Intriago ¹,
Holanda Teresa Vivas Saltos ¹

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, campus
politécnico El Limón, Calceta, Ecuador.

Recibido 01 agosto 2024, aceptado 11 octubre 2024, en línea 07 diciembre 2024.

Resumen

La investigación evaluó la capacidad de los sistemas de producción de cacao para mitigar el cambio climático mediante la captura de carbono en sus componentes. Se analizaron dos plantaciones: una joven y otra adulta. La captura de carbono en la biomasa aérea se determinó mediante un método no destructivo y en el suelo a través del contenido de materia orgánica por calcinación. Los resultados mostraron que, aunque el cacao adulto tiene una biomasa total mayor, no hay diferencias significativas entre plantaciones. El cacao joven acumuló 54098,53 t de carbono, mientras que el adulto registró 1360125,00 t. La tasa de fijación de carbono fue de 27049,26 t/año en el cacao joven y 85007,81 t/año en el adulto. El suelo del cacao adulto tiene más carbono almacenado (7,15 tC/0,05 ha) que el suelo del cacao joven (4,73 tC/0,05 ha). Estos hallazgos confirman la efectividad del cacao en la captura de carbono.

Palabras clave: cacao, captura de carbono, cambio climático, biomasa, suelo, sostenibilidad.

Abstract

This study assessed the capacity of cocoa production systems to mitigate climate change by capturing carbon in their components. Two plantations were analyzed: one young and one adult. Carbon sequestration in aboveground biomass was determined by a non-destructive method and in soil through the content of organic matter by calcination. The results showed that although adult cocoa has a higher total biomass, there are no significant differences between plantations. Young cocoa accumulated 54098.53 t of carbon, while adult cocoa registered 1360125.00 t. The carbon fixation rate was 27049.26 t/year in young cocoa and 85007.81 t/year in adult. Adult cocoa soil has more carbon stored (7.15 tC/0.05 ha) than young cocoa soil (4.73 tC/0.05 ha). These findings confirm cocoa's effectiveness in carbon sequestration.

Keywords: cocoa, carbon sequestration, climate change, biomass, soil, sustainability-.

Introducción

En los últimos 50 años, la temperatura media del planeta ha experimentado un aumento alarmante, principalmente debido a las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO₂) (Hernández, 2021). El CO₂, el GEI más abundante, ha registrado un incremento anual del 1,3% desde 2010 (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2020).

Estas emisiones, generadas por sectores industriales, de servicios, hogares, transporte, calefacción urbana y producción de combustibles (Arroyo y Ramírez, 2020), son las responsables del aumento del nivel del

mar y del incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos (Ayuso, 2020).

El Plan de Implementación de la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional de Ecuador 2020-2025 (PI-NDC), informa que el país genera 80.627,16 Gg de CO₂-eq, ocupando el puesto 122 de 186 países en términos de contaminación (Castillo et al., 2022). El sector energético es el principal contribuyente con un 46,63%, seguido por uso del suelo, agricultura, procesos industriales y residuos (Centro de investigación y acción colectiva [FARO], 2020).

El cambio climático es un grave problema global causado principalmente por las actividades humanas,

* Correspondencia del autor:

E-mail: angela.bermello@espam.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

como la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) (Vega et al., 2020). Estas actividades liberan gases de efecto invernadero que actúan como una manta atrapando el calor del sol, lo que eleva las temperaturas en la Tierra. Este fenómeno, conocido como calentamiento global, es una realidad que amenaza la vida en el planeta, afectando tanto a la flora como a la fauna, incluida la humanidad (Zavala y Romero, 2024).

Las plantaciones de cacao son una estrategia de mitigación del cambio climático, capturando entre 10 y 60 toneladas de CO₂ por hectárea en su biomasa aérea y proporcionando servicios ecosistémicos como la fijación biológica de nitrógeno y la reducción de la erosión (Hernández et al., 2021; Epquin, 2021). El almacenamiento de carbono en estos sistemas incluye el suelo, la biomasa de árboles, la hojarasca y las raíces (Asigbaase et al., 2021).

En Ecuador, las plantaciones de cacao cubren 601,000 hectáreas entre la Costa y Amazonia, con un 53% dedicado al cultivo de CCN51 y 43% a cacao nacional (Albán, 2023; Cevallos et al., 2022). En la provincia de Manabí, se encuentran 100,961 hectáreas de cacao, distribuidas entre monocultivos y asociaciones (Bravo et al., 2020).

La captura de carbono en plantaciones de cacao es una alternativa sostenible, ya que las plantas actúan como almacenes naturales de CO₂ (Orellana y Landi,

2023). Es crucial que los sistemas productivos se adapten al cambio climático y contribuyan a su mitigación (Manchabajoy et al., 2022). La mayoría de las plantaciones de cacao utilizan árboles de sombra, lo que beneficia la absorción y retención de carbono (Suárez et al., 2019; Hernández et al., 2021).

Por tanto, esta investigación se centra en evaluar la capacidad de los sistemas de producción de cacao como medida de mitigación del cambio climático, mediante el cálculo de la captura de carbono en cada uno de sus componentes.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la parroquia Ángel Pedro Giler, en el sitio La Pastora, perteneciente al cantón Tosagua, en la provincia de Manabí. La investigación se llevó a cabo en dos lotes, cada uno con 1300 plantas de cacao. El lote uno tiene una plantación joven de 2 años en un sistema de monocultivo de cacao injertado (variedades 800 y 801), mientras que el lote dos comprende una plantación de cacao nacional adulto de 16 años. La unidad muestral se conformó por dos parcelas circulares de 500 m², adaptando las propuestas de Ramos et al. (2021) y Hernández et al. (2021) (Figura 1).

La parcela en la plantación de 2 años incluyó un total

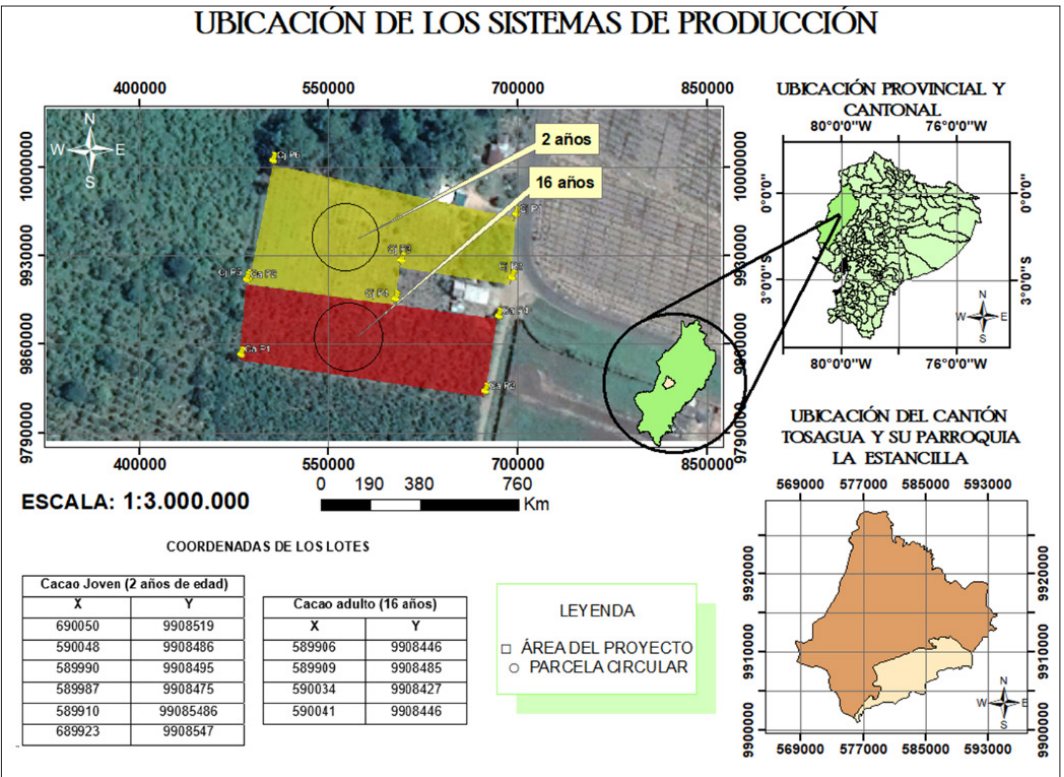


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

de 76 árboles, mientras que la parcela en la plantación de 16 años abarcó 69 árboles.

El clima del cantón Tosagua se caracteriza por ser cálido y húmedo, con una temperatura promedio anual de 25,85°C. El gradiente térmico de la zona es de aproximadamente 1°C por cada 100 metros de elevación, lo que implica que la temperatura disminuye a medida que aumenta la altitud. Además, el cantón presenta un déficit hídrico de 763,8 mm, lo que indica que la cantidad de agua que se evapora es mayor que la cantidad de agua que se precipita (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT] del cantón Tosagua 2015-2019).

Determinación de la captura de carbono en sistemas de producción de cacao

2.2.1 Biomasa aérea total

Se calculó la captura de carbono en la biomasa aérea del cacao de los dos lotes mediante el método no destructivo o modelo alométrico desarrollado por Patiño et al. (2018), el cual se basa en la medición del diámetro basal a 30 cm desde la base del suelo (d30) para las plantas de cacao (Ecuación 1).

$$B = 10^{-1,625 + 2,63 \cdot \log(d_{30})}$$

Dónde:

B= biomasa aérea total

d30= diámetro a 30 cm del suelo

Biomasa muerta

Para cuantificar la hojarasca acumulada en un área específica, se aplicó la metodología propuesta por Surco y Garate (2022), que consiste en la extracción de muestras de hojarasca de cuadrantes de 0,5 m x 0,5 m. Se registró el peso de cada muestra y se colocaron en bolsas de papel debidamente codificadas. Posteriormente, las muestras se sometieron a un proceso de secado en estufas a 75°C hasta alcanzar un peso seco constante, y luego se aplicó la ecuación [2] propuesta por Romero et al. (2022).

$$PST = \frac{PSs}{PFs} * PFT [2]$$

En dónde:

PST= Peso seco total de biomasa muerta

PSs= peso seco de la submuestra

PFs= peso fresco de la submuestra

PFT= peso fresco total

Factor de conversión= 0,04

Biomasa total

La biomasa total se determinó con base a la metodología de Zavala y Vega (2021) mediante la ecuación [3]:

$$BS\ total = B + PST [5]$$

En dónde:

BS= Biomasa seca total

B= Biomasa aérea total

PST= Peso seco total de biomasa muerta

Determinación de carbono en la biomasa

El contenido de carbono en la biomasa implicó la multiplicación de la biomasa total por una fracción de 0,5 fundamentado en la premisa de que la materia seca contiene aproximadamente un 50% del carbono capturado por la biomasa. Para llevar a cabo esta corrección, se utilizó la ecuación [4].

$$CT = BT \times FC [4]$$

CT= carbono total en toneladas (t)

BT= biomasa Total en toneladas (t)

FC= 0,5

Tasa de fijación de carbono

La tasa de fijación de carbono se obtuvo aplicando la ecuación [5], según los lineamientos de Mena y Andrade (2021):

$$TFC = CT / EA [5]$$

TFC= Tasa de fijación de carbono de carbono

CAB= carbono total en toneladas

EA= edad de la plantación

Determinación del carbono fijado en el suelo en sistemas de producción de cacao

Cálculo del carbono fijado en el suelo

Con base en la metodología propuesta por Dilas y Huamán (2020) se empleó la ecuación [6] para el cálculo del carbono fijado en el suelo:

$$CS = \left(\frac{CC}{100} \right) * Da * v [6]$$

Donde:

CS=Carbono en suelo

CC=Contenido de carbono (%)

Da=Densidad aparente

v=volumen de suelo a 30 cm de profundidad

Densidad aparente, contenido de carbono y materia orgánica en el suelo

Para determinar la densidad aparente, se aplicó la metodología de Zavala y Vega (2021) y Zavala et al. (2019). Se excavó un hoyo de 30 cm de profundidad mediante el método del cilindro posteriormente se sometieron a un proceso de deshidratación en estufa a 105 °C por 24 h.

$$Da(g/cc) = \frac{PSN}{VCH} [7]$$

Donde:

Da (g/cc) = Densidad aparente

PSN= Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH= Volumen cilindro (constante)

$$CC = \frac{MO}{1.724} [8]$$

Donde:

CC=Contenido de carbono (%)

MO=% de materia orgánica obtenido del análisis químico

Para determinar la Materia Orgánica en el Suelo (MOS) se aplicó la ecuación .

$$\% MOS = \frac{\text{peso a } 105^{\circ}C - \text{peso a } 360^{\circ}C}{\text{peso a } 105^{\circ}C} \cdot 100 \text{ [9]}$$

Para evaluar cuál de los sistemas de cacao captura más carbono, se aplicaron métodos estadísticos descriptivos para cuantificar los resultados obtenidos de la recolección de datos y, a partir de ellos, calcular la biomasa total y el carbono almacenado en cultivos asociados de cacao (Morales, 2021). Para ello, se utilizó la prueba no paramétrica T de Student.

Resultados

Los datos de biomasa aérea revelaron una marcada diferencia entre las dos plantaciones de cacao. Aunque el cacao adulto presentó una biomasa promedio de 4064,40 kg/árbol, considerablemente superior a los 56,84 kg/árbol del cacao joven (Figura 2), esta diferencia no resultó estadísticamente significativa (p > 0,05) según la prueba no paramétrica T de Student (Tabla 1).

En cuanto a la acumulación de hojarasca, el cacao adulto alcanzó los 120,60 kg/m², mientras que el cacao joven obtuvo 109,62 kg/m² (Figura 2). Aunque los valores son relativamente próximos, estos datos proporcionan información valiosa sobre la dinámica del ecosistema en cada plantación. La hojarasca, un indicador de la salud del suelo, está influenciada por diversos factores, como la edad de las plantas, el manejo del cultivo y las condiciones ambientales. El análisis de la biomasa total reveló una notable diferencia entre las plantaciones de cacao joven (166,46 kg) y adulto (4185,00 kg), evidenciando una disparidad en su productividad y desarrollo (Figura 2).

El cultivo del cacao joven alcanzó una biomasa total de 108197,05 t/ha y el cultivo de cacao adulto registró un valor de 2720250,00 t/ha lo cual corresponde al número total de plantas en cada sistema de producción (Figura 3). La diferencia de 2612052,95 t/ha destaca claramente el impacto de la edad en la acumulación de biomasa. El cacao adulto, con árboles maduros y sistemas radiculares extensos, ha tenido más tiempo para acumular biomasa mediante la fotosíntesis y el crecimiento natural.

El análisis del carbono capturado en las dos plantaciones de cacao reveló una notable diferencia de 1306026,47 t, reflejando la disparidad en su biomasa total y productividad, directamente proporcional a la edad del cultivo. El cacao joven alcanzó una captura

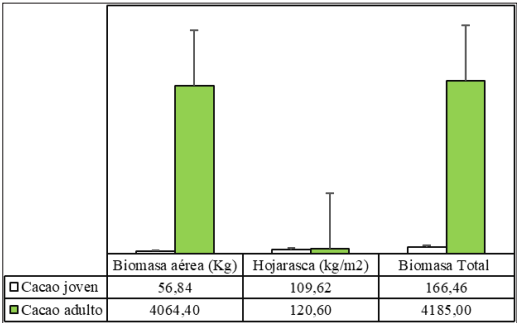


Figura 2. Variables analizadas en cuanto a la biomasa de las plantaciones.

total de carbono de 54098,53 t, mientras que el cacao adulto presentó un valor considerablemente superior de 1360125,00 t. Además, el cacao joven logró una tasa de fijación de carbono de 27049,26 t/año, mientras que el cacao adulto registró 85007,81 t/año, mostrando una diferencia de 57958,55 t/año. Esto demuestra que la edad de la plantación influye significativamente en la capacidad de los árboles de cacao para absorber CO₂ de la atmósfera (Figura 3).

En cuanto a la salud del ecosistema, el análisis de la densidad aparente del suelo en las dos plantaciones de cacao reveló una diferencia sutil, que podría estar relacionada con diversos factores propios de cada sistema. El suelo del cacao joven presenta una densidad aparente de 0,31 g/cc, mientras que el suelo del cacao adulto registra un valor de 0,29 g/cc. Aunque esta diferencia de 0,02 g/cc parece pequeña, puede tener implicaciones en la dinámica del suelo y el desarrollo de las plantas de cacao.

El contenido de materia orgánica (MO) en el suelo de las dos plantaciones de cacao mostró una diferencia de 10,34%, lo que podría tener un impacto significativo en la fertilidad, estructura y salud del suelo. El suelo del cacao adulto presenta un contenido de MO de 27,88% mientras que el suelo del cacao joven un valor de 17,54% (Figura 4).

El análisis del contenido de carbono (%) refleja una diferencia del 6% en el suelo de las dos plantaciones; pues el suelo del cacao joven presenta un contenido de carbono del 10,18%, mientras que el suelo del cacao adulto registra un valor de 16,17%, lo que evidencia la relación que existe entre los diversos factores propios de cada sistema. El suelo del cacao joven presenta un valor de carbono almacenado de 4,73 tC/0,05 ha, mientras que el suelo del cacao adulto registra un valor considerablemente superior de 7,15 tC/0,05 ha.

Tabla 1. Resultados de la prueba no paramétrica de T de student.

	F	t	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Biomasa aérea	4,493	-1,255	143	0,212	-4007,56275	3193,83241
		-1,195	68,001	0,236	-4007,56275	3353,11251

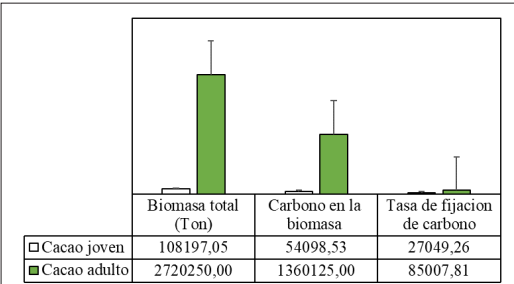


Figura 3. Carbono en la biomasa y tasa de fijación de carbono en las plantaciones analizadas.

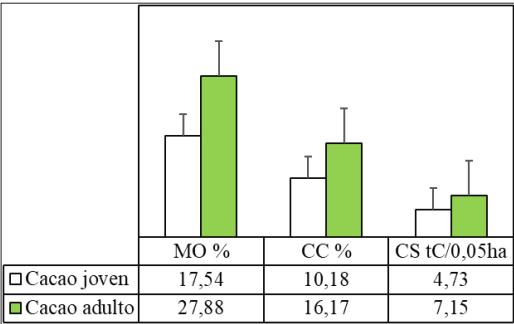


Figura 4. Resultado de las variables de materia orgánica (MO), contenido de carbono (CC) y tasa de fijación se carbono según las plantaciones analizadas.

Esta diferencia de 2,42 tC/0,05 ha resalta el impacto de la edad y el manejo del cultivo en la acumulación de carbono en el suelo.

Discusión

Los resultados de esta investigación revelan que las plantaciones de cacao exhiben una dinámica de biomasa y secuestro de carbono dependiente de la edad, con un aumento significativo en la biomasa de los árboles desde las plantaciones jóvenes (56,84 kg/árbol) hasta las adultas (4064,40 kg/árbol). Esta tendencia coincide con los hallazgos de Gusli et al. (2020) en Indonesia, donde se reportó un rango de biomasa entre 75 y 150 Mg ha⁻¹. Asimismo, en Centroamérica, Somarriba et al. (2013) encontraron que el carbono total promedio en cacao fue de 117 Mg ha⁻¹, con un 42% en biomasa aérea fresca. En Camerún, se calculó un total de carbono en sistemas agroforestales de cacao de 138,1 t C ha⁻¹ (Nadègeet al., 2019). Lo cual sugiere que los sistemas de cacao en diferentes regiones pueden tener variaciones significativas en la acumulación de biomasa, posiblemente debido a diferencias en prácticas de manejo, condiciones climáticas y tipos de suelo.

La acumulación de hojarasca en las plantaciones de cacao mostró valores comparables entre el cacao joven y el adulto, con 109,62 kg/m² y 120,60 kg/m² respectivamente. Estos resultados sugieren que, independientemente de la edad de la plantación, esta variable sigue un patrón similar. Se ha reportado

que, en varios sistemas de producción de cacao, todos los componentes de la caída de hojarasca, excepto las ramas, presentan un incremento significativo durante la estación seca, lo que se relaciona con factores climáticos como la intensidad del viento y la desecación, que influyen de manera crítica en la dinámica de la hojarasca, afectando la acumulación y descomposición de la materia orgánica en el suelo (Saj et al., 2021). Lo cual es crucial para el manejo sostenible de las plantaciones de cacao y la salud a largo plazo del ecosistema.

El cacao joven alcanzó una biomasa total de 108197,05 t/ha, mientras que el cacao adulto registró un valor superior de 2720250,00 t/ha, lo que refleja la mayor acumulación de biomasa total en plantaciones más maduras. Cuesta y Arteaga (2021) estimaron que en cada individuo de *Theobroma cacao* se almacenan hasta 51,71 t de carbono. Por su parte, Mustari et al. (2020) determinaron que una plantación de cacao puede secuestrar hasta 33,19 toneladas C/ha. Además, el patrón de acumulación de biomasa está en concordancia con investigaciones previas, que han determinado que la biomasa total en esta especie es directamente proporcional a la edad de la plantación (Goñas et al., 2022).

Las plantaciones de cacao exhiben una dinámica de captura de carbono dependiente de la edad, con un aumento en la captura total de carbono desde la plantación joven (54098,53 t) hasta la adulta (1360125,00 t). Esta diferencia se asocia al mayor crecimiento y biomasa de los árboles en las plantaciones adultas, lo que permite una mayor fijación de carbono a lo largo del tiempo. Sin embargo, las variaciones en la biomasa y el secuestro de carbono entre regiones y sistemas de manejo sugieren la necesidad de investigaciones más detalladas para optimizar las prácticas agrícolas y maximizar el potencial de las plantaciones de cacao como sumideros de carbono (Fonkeng et al., 2024; Goñas et al., 2022; Saj et al., 2021). En Perú, Goñas et al. (2022) encontraron que la reserva total de carbono sobre el suelo en los sistemas de árboles de cacao jóvenes fue de casi la mitad que, en los sistemas de cacao adulto, con una diferencia de 11,22 Mg C/ha; sin diferencias significativas para ninguno de los rangos de edad. Por otra parte, en Colombia, se determinó una acumulación de carbono de 5,3 Mg C/ha en cacao de cuatro años (Mena y Andrade, 2021).

La densidad aparente del suelo presenta una diferencia entre la plantación joven (0,31 g/cc) y la adulta (0,29 g/cc), lo que podría estar asociado a cambios en la estructura del suelo a lo largo del tiempo. Estudios previos han demostrado que el aumento de la densidad aparente, como en el caso del cacao adulto, se asocia con una reducción de la porosidad total, particularmente de los macroporos que limita la capacidad del suelo para conducir agua y afecta negativamente la disponibilidad de agua para las plantas (Supriadi et al., 2022; Gusli et al., 2020). En el suelo del cacao joven el contenido de MO es

de 17,54%, mientras que el suelo del cacao adulto registra un valor superior de 27,88%, lo que refleja una mayor tasa de descomposición y reciclaje de nutrientes en las plantaciones adultas, donde el ciclo de la hojarasca y su descomposición funcionan como un sistema de insumo-producto crucial para el mantenimiento de la materia orgánica en el suelo (Agbotui et al., 2024). Además, los sistemas de manejo y las prácticas agrícolas influyen considerablemente en la acumulación de MO (Afele et al., 2021; Oderinde y Afolayan, 2021).

El suelo del cacao joven presenta un contenido de carbono del 10,18%, mientras que el suelo del cacao adulto registra un valor de 16,17%. La mayor cantidad de carbono orgánico del suelo se almacena entre 0 y 30 cm de profundidad, coincidiendo con la profundidad a la que existe entre el 80 y el 85 % de la estera de raíces laterales del cacao, es de indicar que el almacenamiento de carbono orgánico del suelo depende de la profundidad, el sistema de gestión, la región y la cantidad y calidad de los aportes de la hojarasca (Asigbaase et al., 2021).

Las plantaciones de cacao presentan una dinámica compleja en el almacenamiento de carbono orgánico, influenciada por la edad y las prácticas de manejo. Se ha demostrado que el cacao en sistemas agroforestales puede almacenar hasta 30 Mg C/ha más que en monocultivo (Miharza et al., 2023). El suelo del cacao adulto presenta un mayor contenido de carbono (16,17%) debido a la alta tasa de producción de hojarasca y su rápida descomposición, lo que genera un flujo constante de materia orgánica al suelo (Asigbaase et al., 2021). En contraste, el suelo del cacao joven muestra un menor contenido de carbono (10,18%).

Los hallazgos de esta investigación revelan que las plantaciones adultas de cacao exhiben una tasa de fijación de carbono superior a las plantaciones jóvenes, lo cual se atribuye a la capacidad de una mayor acumulación de biomasa a lo largo del tiempo. En el suelo de las plantaciones jóvenes de cacao, el carbono almacenado es de 4,73 tC/0,05 ha, mientras que en el suelo de las plantaciones adultas se almacenan 7,15 tC/0,05 ha. Salvador et al. (2020), en plantaciones de 70 años, determinaron un total de 47,25 tC/ha. Cabe destacar que las plantaciones de cacao pueden actuar como sumideros de carbono de gran capacidad, con un potencial de almacenamiento total de hasta 86,6 tC/ha (Hernández et al., 2021). En adición, Supriadi et al. (2022) establecieron mediante una revisión que, el promedio total de carbono almacenado por sistemas agroforestales de cacao es de 124,69 tonC/ha.

La determinación de la biomasa aérea, la acumulación de hojarasca y otros indicadores son esenciales para plantear estrategias de manejo sostenible y evaluar la salud de los ecosistemas de cacao. Miharza et al. (2023) encontraron que, la cobertura del dosel, la densidad de árboles y el carbono orgánico del suelo

mostraron una correlación positiva con las reservas de carbono, y una correlación negativa con la huella de carbono. Esto sugiere que los agrobosques de cacao son sistemas de gestión climáticamente sostenibles, capaces de mantener altas reservas de carbono y bajas huellas de carbono (Supriadi et al., 2022).

Conclusión

Los sistemas de producción de cacao, especialmente aquellos gestionados de manera sostenible, desempeñan un papel fundamental en la mitigación del cambio climático gracias a su capacidad para capturar carbono tanto en la biomasa como en el suelo. Es importante señalar que, aunque tanto las plantas de cacao joven como el adulto participan en la fijación de carbono, las plantas adultas, al tener una mayor biomasa, son más eficientes en la captura de carbono, alcanzando 1360125,00 t, en comparación con la plantación de cacao joven que capturan 54098,53 t. En consecuencia, el suelo bajo cultivo de cacao adulto almacena más carbono (7,15 tC/0,05 ha) en comparación con el suelo bajo cultivo de cacao joven (4,73 tC/0,05 ha). Promover prácticas sostenibles que incorporen material orgánico y reduzcan las perturbaciones del suelo puede aumentar significativamente los niveles de materia orgánica, lo que a su vez mejora la fertilidad del suelo y su capacidad de secuestro de carbono. Por lo tanto, es esencial implementar estrategias de manejo que optimicen estos procesos para maximizar la salud del suelo y asegurar la productividad sostenible de las plantaciones de cacao a largo plazo.

Recomendaciones

Profundizar en la investigación sobre la captura y almacenamiento de carbono en sistemas de producción de cacao como servicio ambiental y su aporte contra el cambio climático. Estos estudios no solo buscan una comprensión más profunda de los procesos de captura de carbono en las plantaciones de cacao, sino también la implementación de prácticas innovadoras que los potencien y generen beneficios tanto a los productores como para la mitigación del cambio climático en el planeta.

Referencias Bibliográficas

- Albán, O. (2023). Determinación de metales pesados en suelos de cultivo y en granos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenecientes a la zona litoral central del Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37932/1/CBT%20021.pdf>
- Afele, J. Dawoe, E. Abunyewa, A. Afari, V., y Asare, R. (2021). Carbon storage in cocoa growing systems across different agroecological zones in Ghana. *Pelita Perkebunan*, 37(1), 32-49. <https://biblio1.iita.org/handle/20.500.12478/7154>
- Agbotui, D. Ingold, M. y Buerkert, A. (2024). Carbon and nutrient cycling in cocoa agroforests under organic and conventional management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10705-024->

- 10349-6
- Arroyo, M. y Ramírez, A. (2020). Dióxido de carbono, sus dos caras. 116(2), 81-87. <https://analisedequimica.es/index.php/Analisedequimica/article/view/1316/1893>
- Asigbaase, M. Dawoe, E. Lomax, B. H. y Sjogersten, S. (2021). Biomass and carbon stocks of organic and conventional cocoa agroforests, Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 306(107192), 107192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107192>
- Ayuso, S. (2020). ¿Cómo contabilizar el impacto ambiental de las empresas? El caso de las emisiones de gases de efecto invernadero. *Revista de Estudios Empresariales*. Segunda Época, 2, 94-111. <https://doi.org/10.17561/ree.v2020n2.6>
- Bravo, M. Ruiz, M. y Sablón, N. (2020). Prospectivas de la economía circular en la cadena agroalimentaria del cacao ecológico fino de aroma en la provincia de Manabí. 37, 95-110. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Monserrate-Ruiz-Cedeno-2/publication/344196945_Prospectivas_de_la_economia_circular_en_la_cadena_agroalimentaria_del_cacao_ecologico_fino_de_aroma_en_la_provincia_de_Manabi/links/5f5aae65a6fdcc1164092cda/Prospectivas-d
- Castillo, R. Rodríguez, B. y Bravo, K. (2022). Fijación de carbono (Co2) del arbolado de los parques La Rotonda y La Madre, Manabí, Ecuador. Obtenido de <https://www.editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/193/327>
- Centro de investigación y acción colectiva [FARO]. “¿Cómo contribuye el Ecuador a la reducción de emisiones de GEI?” Grupo-Faro, 28 January 2022, <https://grupofaro.org/gases-efecto-invernadero-ecuador/>.
- Carvajal, B. y Andrade, J. (2020). Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso del suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *Orinoquia*, 24(1), 13-22. <https://doi.org/10.22579/20112629.587>
- Cevallos, A. Quinchuela, J. Paucar, J. y Cevallos, J. (2022). Diagnóstico para el diseño de una estación meteorológica en monitoreo de cacao. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/364537499_Diagnostico_para_el_diseño_de_una_estación_meteorológica_en_monitoreo_de_plantaciones_de_cacao
- Cuesta, K. y Arteaga, R. (2021). Estimación de captura de carbono en el Sistema Agroforestal de *Theobroma cacao* L., en Jamal, Baracoa. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25(4) 44-53. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/441/4412849005/4412849005.pdf>
- Dílas, J. y Huaman, A. (2020). Captura de carbono por un bosque montano de neblina del Perú. *Alpha Centauri*, 1(3), 13-25. <https://doi.org/10.47422/ac.v1i3.16>
- Epquin, M. (2021). Impactos ambientales en fincas de cacao mediante el balance de carbono y nutrientes, región Amazonas. Obtenido de <https://doi.org/10.25127/ucni.v4i3.811>
- European Forest Institute [EFI]. (2021). Diagnóstico de la cadena de valor del cacao, y mapeo de los indicadores y sistemas de información existentes. https://euredd.efi.int/wp-content/uploads/2022/09/Informe-1_Diagnostico-cadena-Cacao-Ecuador.pdf
- Fonkeng, E. Chevallier, T. Sauvadet, M. Enock, S. Rakotondrzafy, N. Chapuis-Lardy, L. Takoutsing, B. Tabi, O. y Harmand, J. (2024). Dynamics of soil organic carbon pools following conversion of savannah to cocoa agroforestry systems in the Centre region of Cameroon. *Geoderma Regional*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00758>
- Goñas, M. Rojas, N. B. Culqui, C. Arce, M. Marlo, G. Pariente, E. y Oliva, M. (2022). Carbon sequestration in fine aroma cocoa agroforestry systems in Amazonas, Peru. *Sustainability*, 14(15), 9739. <https://doi.org/10.3390/su14159739>
- Gusli, S. Sumeni, S. Sabodin, R. Muqfi, I. H. Nur, M. Hairiah, K. Useng, D. y Van Noordwijk, M. (2020). Soil organic matter, mitigation of and adaptation to climate change in cocoa-based agroforestry systems. *Land*, 9(9), 323. <https://doi.org/10.3390/land9090323>
- Hernández, G. (2021). Emisiones de gases de efecto invernadero y sectores clave en Colombia. *El Trimestre Económico*, 88(350), 523-550. <https://doi.org/10.20430/ete.v88i350.857>
- Hernández, H. Andrade, H. Suárez, J. Sánchez., J. Gutiérrez., D. Gutiérrez, G. Trujillo, E. y Casanoves, F. (2021). Carbon storage in agroforestry systems in Colombia's Eastern Plains. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 352-368. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42959>
- Manchabajoy, J. Andrade, D. y Castillo, A. (2022). Evaluación de captura de carbono en sistemas productivos de café en el departamento de Nariño. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5600/560070786003/html/>
- Mena, V. y Andrade, H. (2021). Potencial de reducción de emisiones y captura de carbono en bosques y sistemas agroforestales con cacao en el Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 69(4), 1252-1263. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i4.45927>
- Miharza, T. Wijayanto, N. Roshetko, J. M. y Siregar, I. (2023). Carbon stocks and footprints of smallholder cacao systems in Polewali Mandar, West Sulawesi. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.680984>
- Morales, J. (2021). *Determinación de secuestro de carbono Terminalia catappa L. (especie exótica) mediante la aplicación de ecuaciones alométricas en Isla Santay*. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORALES%20CONSEUGRA%20JANDRY%20MARTIN.pdf>
- Mustari, K. Asrul, L. Kaimuddin, Y. Faradilla, L. (2020). Carbon stock analysis of some cocoa planting systems in South Sulawesi. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 486(1), 012085. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/486/1/012085>
- Nadège, M. T. Louis, Z. Cédric, C. D. Louis-Paul, K. B. Funwi, F. P. Ingrid, T. T. Clotex, T. V. Flore, N. Y. A. Bruno, T. M. R. y Julliette Mancho, N. (2019). Carbon storage potential of cacao agroforestry systems of different age and management intensity. *Climate and Development*, 11(7), 543-554. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1456895>
- Oderinde, F. y Afolayan, O. (2021). Evaluation of the capacity of agroforestry of cocoa trees in atmospheric carbon dioxide reduction. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 25(7), 1231-1237. <https://doi.org/10.4314/jasem.v25i7.19>
- Orellana y Landi. “Estimación de la captura de carbono de la flora arbórea de la ribera del río Tarqui en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.” Repositorio UPS, 3 marzo 2023, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24504>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2020). Las emisiones de CO2 rompen otro récord: un calentamiento global catastrófico amenaza el planeta | Noticias ONU. 2020. Retrieved January 12, 2024, from <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485312>
- Parga, R. Villarroel, C. Campos, A. Gallardo, R. y Asenjo, G. (2021). Inventario forestal nacional de bosques nativos y actualización de plantaciones forestales. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/32050/32050.pdf?sequence=1>
- Patiño, J. Ruiz, A. y Pitre, R. (2018). *El emprendimiento en Colombia, una respuesta a los retos de competitividad y desarrollo sostenible*, 39(14), 24. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n14/18391424.html>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Tosagua 2015 - 2019 [PDOTCT]. (2015-2019). Obtenido de https://drive.google.com/file/d/0BwRMzL74KvcfWFWLZWwR043eVU/view?resourcekey=0-ID_6n-80RU3a73UIJ9MU6Q
- Ramos, P. Castro, M. Pesca, A. Vargas, Y. Escobar, L. y Rojas,

- M. (2021). Estructura y composición florística de bosques asociados a especies de *Theobroma* en la Amazonia colombiana. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(68), 128-150. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.1078>
- Romero, M. Velasco, E. Meza, D. y Pérez, R. (2022). Análisis y estimación del contenido de carbono en pastizales halófilos de la zona central semi-árida de México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1007>
- Sabatés, L. y Roca, J. (2020). La revisión de la literatura científica: Pautas, procedimientos y criterios de calidad. 2020. https://ddd.uab.cat/pub/recdoc/2020/222109/revliltcie_a2020.pdf
- Saj, S. Nijmeijer, A. Nieboukaho, J. E. Lauri, P. y Harmand, J. (2021). Litterfall seasonal dynamics and leaf-litter turnover in cocoa agroforests established on past forest lands or savannah. *Agroforestry Systems*, 95(4), 583-597. doi:10.1007/s10457-021-00602-0
- Salvador, P. Martínez, J. Cámara, L. y Zequeira, C. (2020). Estructura y carbono específico en una cronosecuencia de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en Tabasco, México. *Madera y bosques*, 26(3), e2632131. Epub 17 de febrero de 2021. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632131>
- Somarriba, E. Cerda, R. Orozco, L. Cifuentes, M. Dávila, H. Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E. Poveda, V. Astorga, C. Say, E. y Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 173, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>
- Suárez, G. Avendaño, C. Ruíz, P. y Estrada, P. (Septiembre de 2019). Diversidad arbórea y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas, México. 25(3). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40182019000300315&script=sci_arttext&tlng=es
- Supriadi, H. Astutik, D. y Sobari, I. (2022). The role of agroforestry based cocoa on climate change mitigation: A review. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 974(1), 012135. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/974/1/012135>
- Surco, O. y Garate, J. (2022). Reservas de carbono en cuatro sistemas agroforestales combinadas con *Theobroma cacao* L., Madre de Dios. *Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas*, 1(1), e147. <https://doi.org/10.55873/racba.v1i1.147>

Fertilizantes como fuente de contaminación por Cd en suelos cultivados y arroz en la provincia de Guayas- Ecuador

Fertilizers as a source of Cd contamination in cultivated soils and rice
in the province of Guayas, Ecuador

Jorge Muñoz¹, Beatriz Pernia^{1*}, Mariuxi Mero², Erwin Larreta³,
Kenya Bravo¹, Josué Zambrano¹, Ámbar Benavides¹, Wilson Pozo¹
and Lilian Spencer⁴

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av.
Juan Tanca Marengo, Guayaquil, C.P. 090150, Ecuador.

²Universidad de Guayaquil, Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IIRN), Av.
Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, C.P. 090150, Ecuador.

³Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Ciencias de
la Tierra, Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, C.P. 09015863,
Ecuador.

⁴Universidad Yachay Tech, Escuela de Ciencias Biológicas y Aplicadas, Hacienda San José,
Urcuquí, Ecuador.

Recibido 01 agosto 2024, aceptado 11 octubre 2024, en línea 07 diciembre 2024.

Resumen

El cadmio (Cd) es un metal pesado tóxico que contamina el arroz y los fertilizantes representan una fuente significativa de esta contaminación. Este estudio se centró en detectar la presencia de Cd en fertilizantes, suelos y plantas de *Oryza sativa* en los cantones de Daule y Nobol, en la provincia de Guayas, Ecuador. Se analizaron nueve muestras de fertilizantes inorgánicos y se recolectaron muestras triplicadas de suelos y plantas en 12 estaciones. Utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica, se encontró que la concentración máxima de Cd en los fertilizantes alcanzó 41.30 ± 1.65 mg/kg, superando en 41 veces el límite recomendado. En el suelo, las concentraciones máximas fueron de 2.59 ± 0.31 mg/kg, mientras que en las raíces, hojas y granos fueron de 0.50 ± 0.07 , 0.44 ± 0.08 y 0.19 ± 0.050 mg/kg, respectivamente. Los resultados indicaron que en Nobol, la concentración de Cd en el suelo excedió cinco veces el límite permitido por la normativa ecuatoriana, aunque los niveles en el arroz se mantuvieron dentro de los límites de la Unión Europea. Este estudio concluye que los fertilizantes son una fuente de contaminación por Cd en estas áreas, siendo Nobol el cantón más afectado.

Palabras clave: cadmio, metales pesados, *Oryza sativa*, seguridad alimentaria.

Abstract

Cadmium (Cd) is a toxic heavy metal that contaminates rice, and fertilizers represent a significant source of this contamination. This study focused on detecting the presence of Cd in fertilizers, soils, and *Oryza sativa* plants in the cantons of Daule and Nobol in the province of Guayas, Ecuador. Nine samples of inorganic fertilizers were analyzed, and triplicate samples of soils and plants were collected at 12 stations. Using an atomic absorption spectrophotometer, the maximum concentration of Cd in the fertilizers was determined to be 41.30 ± 1.65 mg/kg, over 41 times the recommended limit. In the soil, the maximum concentration was 2.59 ± 0.31 mg/kg while, in the roots, leaves, and grains, the maximum concentrations were 0.50 ± 0.07 , 0.44 ± 0.08 , and 0.19 ± 0.050 mg/kg, respectively. The results indicate that, in Nobol, the concentration of Cd in the soil was over five times the limit allowed by Ecuadorian regulations, although the levels in the rice remained within the limits set by the European Union. This study indicates that fertilizers are a source of Cd contamination in these areas, with Nobol being the most affected canton.

Keywords: cadmium, food safety, heavy metals, *Oryza sativa*

* Correspondencia del autor:

E-mail: beatriz.pernia@ug.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

Introduction

Cadmium (Cd) is one of the most toxic heavy metals found in agricultural soils. It has high mobility and is transferred to plants, in which it inhibits growth, generates a water deficit, and inhibits photosynthesis and germination, among other effects (He *et al.*, 2008; Pernia *et al.*, 2008).

In consequence, these effects reduce crop productivity, cause economic losses in the agricultural sector, and jeopardize food safety (Sharma and Archana, 2016). In addition, the Cd enters the trophic chain and affects human beings, with correlations between Cd consumption and diseases such as diabetes, osteoporosis, hypertension, renal damage, and cancer having been demonstrated (Clemens *et al.*, 2013). For instance, cadmium poisoning in rice paddies in Japan caused dozens of deaths from itai-itai, a degenerative bone disease (Inaba *et al.*, 2005).

In this sense, one of the routes of Cd intake is through the consumption of contaminated foods such as rice, which is an essential product in human food. Notably, studies have shown the presence of Cd in grains as a consequence of the contamination of agricultural soils (Pozo *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2013). According to Liu *et al.* (2019), rice appears to bioaccumulate Cd more than other crops. In Ecuador, there is evidence of Cd contamination in agricultural soils in several provinces: Esmeraldas (0.22-0.88 mg/kg Cd), Santo Domingo (0.33-0.53 mg/kg Cd), Los Ríos (0.17-0.66 mg/kg Cd), Manabí (0.46-2.37 mg/kg Cd), and Guayas (0.25-1.65 mg/kg Cd) (Mite *et al.*, 2010). Moreover, Chávez *et al.* (2015) reported high values of Cd (0.66-2.59 mg/kg Cd) in Guayas Province. Moreover, in the soils of rice crops, Cd concentrations of 0.04-0.69 mg/kg have been reported (Pozo *et al.*, 2011; Ochoa *et al.*, 2020; Atiaga *et al.*, 2021).

The presence of Cd in the province of Guayas is due to natural geogenic factors, such as the weathering of parent material from the Andes Mountains, and anthropogenic factors, such as mining activity, accumulation of industrial waste, and burning of garbage (Pozo *et al.*, 2011). However, in agricultural soils, the main factors responsible for Cd contamination are the use of phosphate fertilizers and the use of irrigation water from contaminated rivers (Pozo *et al.*, 2011; Chávez *et al.*, 2015). According to Rodríguez-Serrano *et al.* (2008), in general, phosphate fertilizers are the main source of heavy metal contamination, with a contribution of 34%, followed by natural sources at 21%; fossil combustion at 21%, metallurgical production at 12%; and cement, waste incineration, and others, which represent 12%. Growing rice is one of the main agricultural activities in the Ecuadorian littoral region.

A large part of its production is established in the lower basin of the Guayas River and, according to statistical data from the National Institute of Statistics and Census (INEC, 2015), the province of Guayas is

the largest producer of food in Ecuador, contributing about 71.8% of the national production. It is estimated that this province contains 87,888 hectares (ha) of rice crops, of which 17,027 ha correspond to the Daule canton and 5,458.50 ha correspond to the Nobol canton (GAD Provincia del Guayas, 2014). Both cantons are irrigated by the Daule River, which is contaminated with Cd at a rate of $0.011 \pm 0.003 \text{ mg L}^{-1}$ Cd, according to a study by Ramírez *et al.* (2016). In addition, large concentrations of fertilizers are used. More than 50% of the world's population consumes rice regularly, and it is a crucial source of calories and protein for people (Cheajesadagul *et al.*, 2013).

With an average daily consumption of 80 grams of rice per person, Latin America is the second most important rice-consuming area, after Asia. In terms of consumption per person, Ecuador (123 g/day) is one of the nations in South America with the highest rate of rice consumption (FAOSTAT, 2018). Ochoa *et al.* (2020) conducted studies in the province of Guayas in search of heavy metals in rice (Ochoa *et al.*, 2020). They focused on finding sources of contamination in irrigation water, where they found low Cd values ($0.017 \pm 0.020 \text{ } \mu\text{g/L}$). The present study focused on analyzing fertilizers as a source of Cd contamination in rice.

Therefore, the aim of this work was to determine the concentrations of Cd in fertilizers, soils, and plants of *O. sativa* in the Daule and Nobol cantons in the province of Guayas, in order to verify if they were within the maximum permissible national and international limits. Based on the results, the risk to the health of the Ecuadorian population was analyzed.

Materials and Methods

Study area

The study area was located in the Daule ($1^{\circ}52'00''\text{S}$, $79^{\circ}59'00''\text{W}$) and Nobol ($1^{\circ}55'00''\text{S}$, $80^{\circ}00'42''\text{W}$) cantons of the province of Guayas in the coastal region of Ecuador north of the city of Guayaquil. Daule is located at 22 m.s., with an average annual temperature of 24 °C and an annual rainfall of 1500 mm (Figure 1).

The Nobol canton is located at 9 m.s., with an average annual temperature of 27 °C and an average annual rainfall of 500 to 1000 mm. It is characterized by agricultural and livestock production. Overall, six stations in the Daule canton and six stations in the Nobol canton were studied (Figure 1).

Sampling

At each study station, we randomly selected three patches. Then, we divided each patch into three sub-patches for use as replicas and geographically positioned them using a portable GPS (model: Triton Magellan®). From each sub-patch, we collected fully mature rice plants, including grains. In the laboratory, we separated each plant into roots, stem, leaves, and grains; washed them with bi-distilled water; and dried

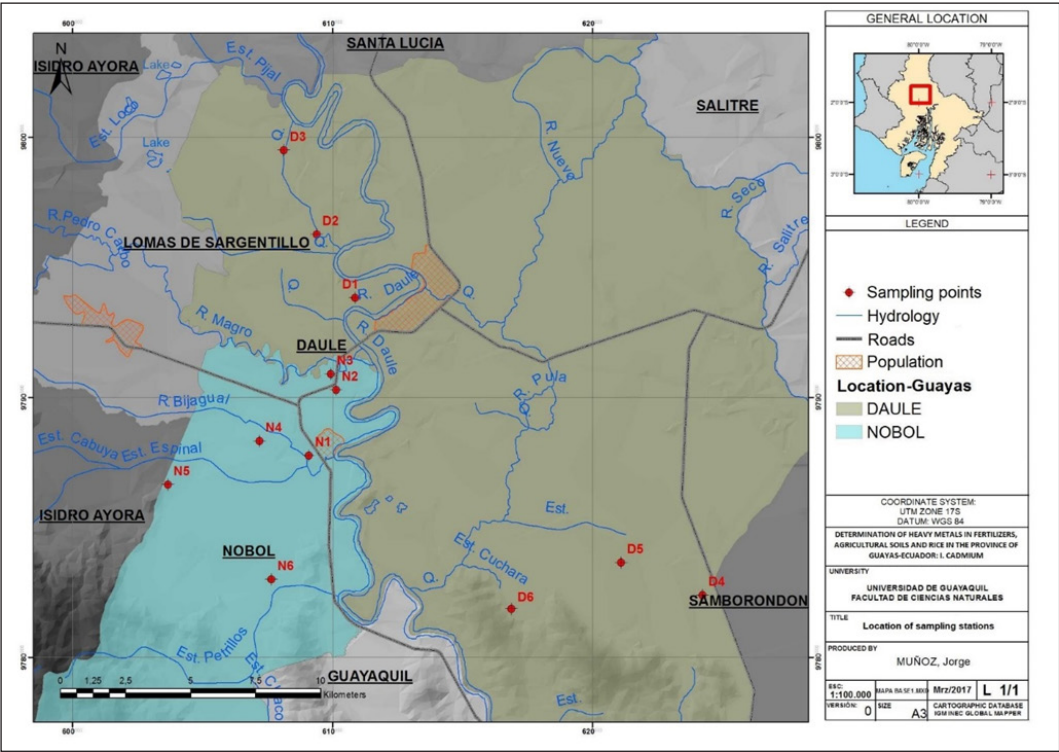


Figure 1. Location of sampling stations.

them with paper towels. Finally, the plants were dried in an oven at 80 °C for 48 hours. We took triplicate soil samples from the places where the plants were located in each sub-patch.

The Ministry of Agriculture, Livestock and Fisheries donated triplicates of samples of fertilizers used for rice cultivation: ammonium sulfate, calcium nitrate, magnesium sulfate, muriate of potash, phosphate fertilizer complex 8-20-20, phosphate fertilizer complex, potassium nitrate, and urea (Table 1).

The soil samples were collected from the top layer, between 5 and 10 cm deep, using a 1.5 m long plastic shovel. Care was taken to avoid disturbing the sediments, which were stored in airtight bags until they reached the laboratory.

Determination of cadmium in soils and plants

In the laboratory, the soils were spread out on a plastic surface and dried at room temperature for 2 weeks. Subsequently, the samples were disaggregated and sieved through a 71 µm mesh. The sieved samples were dried in an oven at 80 °C for 1 hour to remove moisture, and 1 g was weighed for further digestion in triplicate.

For detection of the total metal fraction, the procedure proposed by EPA Standard 3050B (EPA, 1996) was used. A 0.5 g sample was weighed. Then, 5 mL of 65% HNO₃ (Merck, Ensure®) was added to the sample in a hermetically sealed test tube, which was placed

in a water bath at 100 °C for 1 hour. Subsequently, the solution was filtered using Whatman No. 40 paper and diluted to 100 mL with ultrapure water. Additionally, a certified reference material (CRM-016, Sigma) was used as a quality control measure. It showed a recovery percentage of 101%.

To analyze of Cd contents in the roots, stems, leaves, and grains, the dried samples were disintegrated in a mortar. Next, 1 g samples were weighed on a Sartorius analytical balance (model BL210S), digested in an open system with 5 mL of 65% HNO₃ and 3 mL of 30%

Table 1. Types of fertilizers recommended for rice cultivation.

Sample	Type	Presentation
F1	Phosphate fertilizer Complex 8-20-20	Grain
F2	Calcium nitrate	Grain
F3	Muriate of potash standard	Powder
F4	Muriate of potash	Grain
F5	Phosphate fertilizer Complex	Grain
F6	Magnesium sulfate	Grain
F7	Urea	Grain
F8	Ammonium sulfate	Grain
F9	Potassium nitrate	Powder

H₂O₂, and heated at 80 °C in a heating dish (PMC) for 1 h. Then, the resulting solutions were filtered with Whatman No. 40 paper and diluted to 50 ml with ultrapure water.

The fertilizer samples were broken down in a porcelain mortar. For their digestion, we used the methodology proposed by Borges *et al.* (2014), with certain modifications. We added 15 mL of HNO₃ to 1 g of a sample. Then, we heated the mixture at 75 ± 5 °C for 30 min, added 3 mL of 30% H₂O₂, and heated the mixture once more. The residual solution was filtered and diluted to 50 mL with ultrapure water.

The Cd present in the plants, soils, and fertilizers was analyzed in a flame atomic absorption spectrophotometer (Perkin Elmer, model: AAnalyst100) using the internal methodology of the IIRN laboratory, which is based on the methodology described in *Standard Methods* (2005).

Quality control

Quantification of the Cd concentrations in the tissues of the plants and the soils was carried out using calibration curves with a coefficient of variation of $r^2 = 0.99$. The calibration curves for Cd were generated using certified standards from Accustandard (Cd: 1000 mgL⁻¹). The assessed validation parameters included linearity, limits of detection (LOD), limits of quantification (LOQ), accuracy, and precision, and statistical tests were employed to ensure reliability.

The limit of quantification (LOQ) established for Cd was 0.028 mg kg⁻¹. Each analysis also included reagent blanks, triplicate samples, and spike samples, in order to enhance the robustness of the findings.

The samples were read at 228.8 nm for Cd, with a detection limit of 0.028 mg/L. All measurements were made in triplicate (n = 3). The certified reference material CRM-016 (trace metals/freshwater sediment) was used as quality control for the soils, and BCR-670 (duckweed trace elements) was used as quality control for the plants. The recovery percentages were 98-99%.

Bioconcentration factor

The ability to accumulate heavy metals in *O. sativa* was determined using the bioconcentration factor (BCF). This indicated the relationship between the Cd accumulated in the plant and the Cd present in the medium or substrate (Brooks, 1998) and was determined using the following formula:

$$BCF = \frac{\text{Concentration of Cd in the plant}}{\text{Concentration of Cd in the substrate}}$$

Transfer factor

The Cd transfer factor (TF) indicated the ability to transfer the heavy metal from the roots to the stem (Brooks, 1998). It was determined with the following formula:

$$TF = \frac{\text{Concentration of Cd in the stem}}{\text{Concentration of Cd in the root}}$$

Potential Risk Assessment

To evaluate the potential health risks associated with cadmium (Cd) exposure from rice consumption in Ecuador, we employed the Average Daily Dose (ADD) assessment method, as recommended by the United States Environmental Protection Agency (2011).

We gathered data on the cadmium concentration in rice, which was determined to be 0.19 mg/kg (the maximum value found in this study). Additionally, we obtained demographic information, including the average body weights for Ecuadorian men (74.2 kg) and women (66.9 kg), from the WorldData database (2023). The annual per capita rice consumption was 53.2 kg, equivalent to 0.145 kg/day (Zambrano *et al.*, 2018).

Average Daily Dose (ADD) Calculation: The ADD was calculated using the following formula:

$$ADD = \frac{C \times IR \times ED}{BW \times AT}$$

where C represents the heavy metal concentration in rice (mg/kg), IR is the daily rice intake (kg/day), ED is the exposure duration (days), BW is body weight (kg), and AT is the average time (days). For our analysis, we assumed a lifetime exposure duration of 70 years, which translated to 25,550 days.

We calculated the non-carcinogenic risk using the hazard quotient (HQ) approach, which was defined as follows:

$$HQ = \frac{ADD}{RfD}$$

where RfD is the reference dose for cadmium, typically estimated at 0.001 mg/kg/day. We determined HQs for both the male and female populations based on their respective ADD values.

Finally, the calculated HQ values were analyzed to assess the potential health risks associated with cadmium exposure through rice consumption. An HQ value below 1 indicates an acceptable risk level, while values above 1 suggest potential health concerns.

Statistical analysis

The results are shown as means ± standard deviations. The normality of the data was verified using the Anderson-Darling test, and homoscedasticity was verified using the Levene test. We used a one-way ANOVA to compare means to determine if there were statistically significant differences in the concentrations of metals in the different localities (taking $p < 0.05$ as a significant value for an a posteriori Tukey test). For the evaluation of the cadmium contents in the grains and stems of the rice plants, the data were non-parametric, and the Kruskal-Wallis test was used.

To determine if there were correlations between the Cd present in the parts of the rice plants and the heavy metals in the soils, we calculated Spearman correlation coefficients and carried out a principal

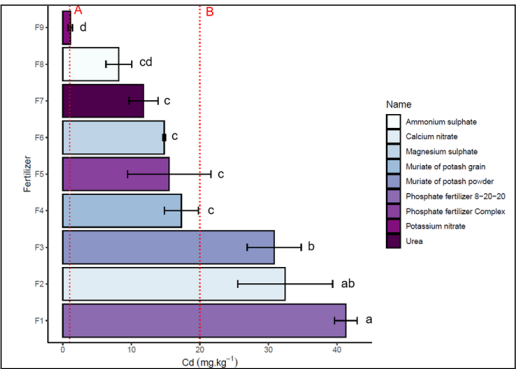


Figure 2. Concentrations of Cd in the fertilizers recommended for rice cultivation in Ecuador. A. MPL established by the Washington State Ecological Department (0.1 mg/kg Cd). B. MPL established by the Canadian regulations (20 mg/kg Cd). The bars and dots represent standard deviation (n = 3). Matching letters mean that there is no significant difference by one-way ANOVA and Tukey test ($p \geq 0.05$).

component analysis. All tests were performed and all graphics were generated with RStudio and R version 4.0.2.

Results

Cd in fertilizers used for rice crops

All samples studied presented concentrations of Cd, and these results are presented in Figure 2. The

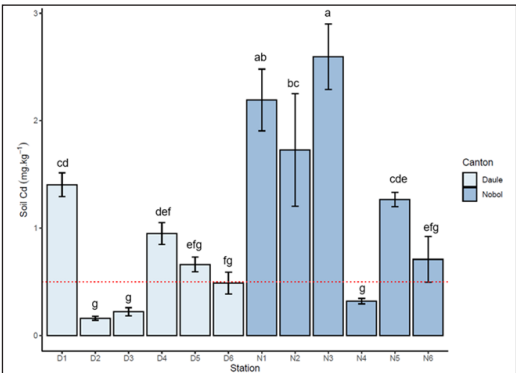


Figure 3. Cadmium total concentration in the analyzed soils in the cantons Daule and Nobol. Matching letters mean that there are no significantly difference by one-way ANOVA and Tukey test ($P \geq 0.05$) The bars mean standard deviation (n=3).

highest value found in the phosphorus fertilizer was observed in sample F1 (41.30 ± 1.65 mg/kg Cd), and the lowest value was observed in the F9 nitrogen (1.10 ± 0.31 mg/kg Cd). At the same time, a group with high values formed by samples F2 (32.45 ± 6.93 mg/kg Cd) and F3 (30 ± 3.94 mg/kg Cd) was detected. Another grouping of mean values was formed by F4 (17.30 ± 2.48 mg/kg Cd), F5 (15.52 ± 6.08 mg/kg Cd), F6 (14.81 ± 0.20 mg/kg Cd), F7 (11.78 ± 2.12 mg/kg Cd), and F8 (8.18 ± 1.88 mg/kg Cd). These samples were analyzed using a one-way ANOVA and a subsequent Tukey test ($F = 38.42$; $p = 0.00$).

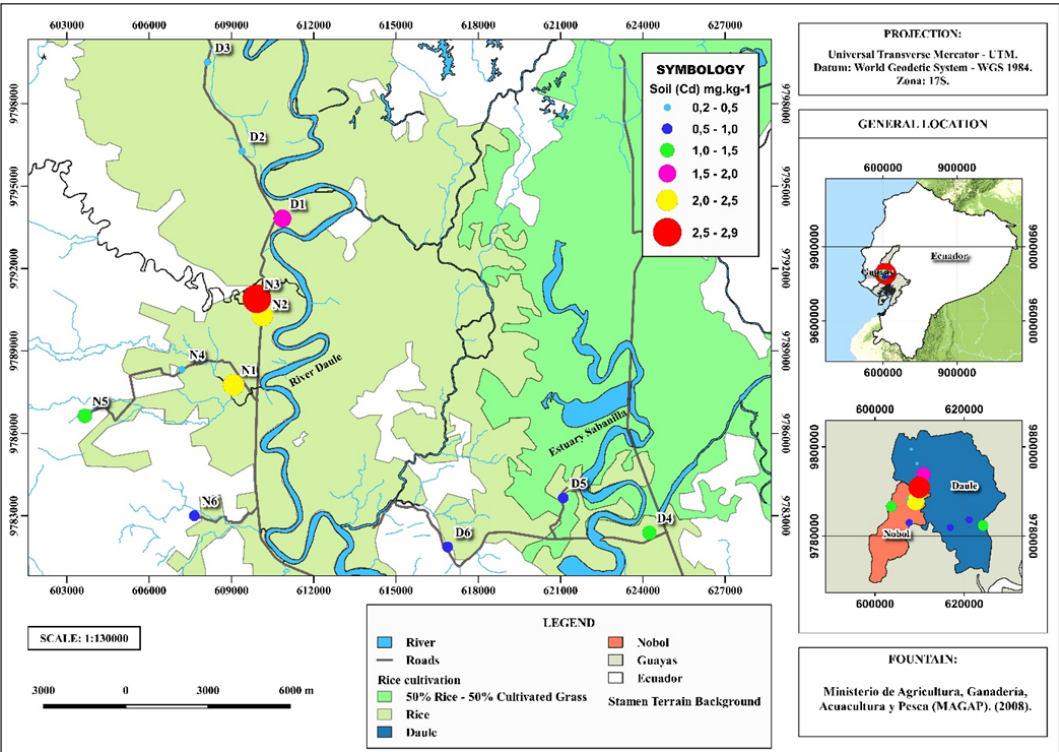


Figure 4. Geographic distribution of cadmium in agricultural soils in the cantons Daule and Nobol.

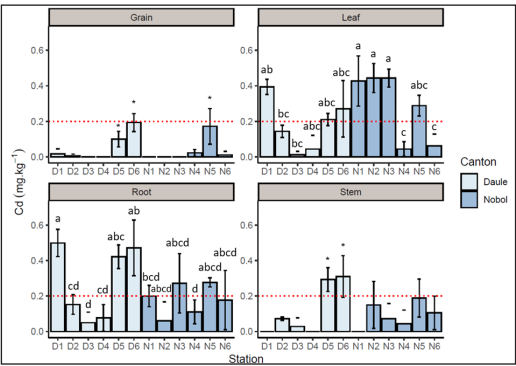


Figure 5. Cadmium concentrations detected in the plants *O. sativa* in the cantons Daule and Nobol. Red line: MPL in rice grains according to the international regulations of the European Union and the Alimentarius Codex of the WHO and the FAO. The bars mean standard deviation (n = 3). Matching letters mean that there are no significant differences by one-way ANOVA and Tukey test ($P \geq 0.05$). * statistically significant differences according to Kruskal-Wallis.

Cd in agricultural soils from Daule and Nobol cantons

Table 1 shows the types of fertilizers recommended in Ecuador for rice cultivation. We found high Cd contents in the fertilizers used in the soils from Daule and Nobol cantons that had high concentrations of this heavy metal (Figure 3). In general, the soils from the canton of Nobol (average= 1.43, min = 0.06, max = 2.86 mg/kg Cd) were more contaminated than those from Daule canton (average = 0.56, min = 0.00, Max = 1.53 mg/kg Cd). According to the results of the one-

way ANOVA test ($F = 13.15$, $p = 0.001$), both exceeded the maximum permissible limit for agricultural soils (0.5 mg/kg).

We determined a group of soils with high concentrations of Cd (Figure 3), which was formed by N1 (2.19 ± 0.28 mg/kg Cd) and N3 (2.59 ± 0.30 mg/kg Cd), and another group with intermediate concentrations formed by the D1 stations (1.4 ± 0.37 mg/kg Cd), N5 (1.26 ± 0.06 mg/kg Cd), D4 (0.75 ± 0.42 mg/kg Cd), N6 (0.71 ± 0.21 mg/kg Cd), and D5 (0.66 ± 0.06 mg/kg Cd), which all had concentrations above the maximum permissible limits. The only stations with Cd values below the norm were D2, D3, D6, and N4.

One of the parameters that affects the bioavailability of cadmium is pH. Daule's soils were characterized by being more acidic, with an average pH of 5.7 ± 0.2 , while Nobol's soils had an average pH of 6.5 ± 0.2 .

In reference to the geographic distribution of cadmium in agricultural soils in the cantons of Daule and Nobol, Figure 4 shows that the sites most contaminated with cadmium were near the Daule River, while the sites with the lowest concentrations of this metal were far from the main roads and the Daule River.

Cd in rice plants

Figure 5 presents the Cd concentrations in the *O. sativa* plants from both cantons. In the roots of *O. sativa* belonging to station D5, we found the highest concentration of Cd (0.66 ± 0.07 mg/kg Cd). This was followed by the D1 station (0.50 ± 0.07 mg/kg Cd), D6 (0.49 ± 0.10 mg/kg Cd), and finally the D3 station, where the lowest concentration was observed ($0.05 \pm$

Table 2. Transference Factor (TF) and Cd Bioconcentration Factor in roots (BCF roots), shoots (BCF shoot), and grains (BCF grain) of *O. sativa* plants by stations.

Stations	BCFoot	BCFshoot	FBCgrain	TF
D1	0.36±0.08 ^{bc}	0.28±0.02 ^{bc}	0.01±0.02 ^d	0.84±0.19
D2	0.93±0.22 ^{ab}	1.37±0.38 ^a	0.03±0.05 ^{cd}	1.59±0.63
D3	0.30±0.19 ^{abc}	0.18±0.22 ^{bc}	0.00±0.00 ^d	1.42±1.60
D4	0.12±0.03 ^c	0.04±0.07 ^c	0.00±0.00 ^d	0.44±0.63
D5	0.64±0.12 ^{abc}	0.77±0.18 ^{ab}	0.15±0.05 ^b	1.43±0.04
D6	1.02±0.52 ^a	1.19±0.51 ^a	0.39±0.02 ^a	1.71±0.77
N1	0.09±0.03 ^c	0.20±0.08 ^{bc}	0.00±0.00 ^d	2.43±1.48
N2	0.14±0.00 ^{abc}	0.37±0.13 ^{bc}	0.00±0.00 ^d	3.55±0.00
N3	0.11±0.06 ^c	0.20±0.03 ^{bc}	0.00±0.00 ^d	2.47±1.59
N4	0.36±0.24 ^{bc}	0.29±0.38 ^{bc}	0.07±0.06 ^{bcd}	0.84±0.46
N5	0.22±0.03 ^c	0.38±0.11 ^{bc}	0.13±0.07 ^{bc}	2.34±0.41
N6	0.32±0.12 ^c	0.20±0.02 ^{bc}	0.01±0.11 ^d	1.10±0.89
F	6.24	9.13	29.84	2.06
P	<0.001	<0.001	<0.001	0.07

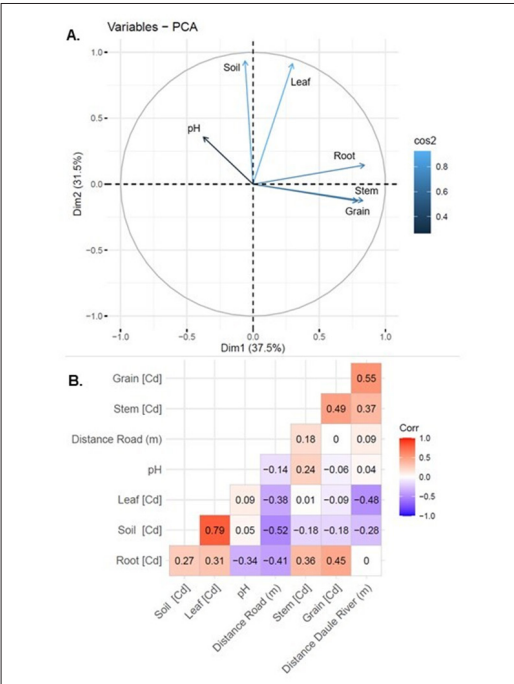


Figure 6. A. Analysis of principal components among pH, Cd concentration in roots (Root [Cd]), stems (Stem [Cd]), leaves (Leaf [Cd]), grain (Grain [Cd]) and soil (Soil [Cd]) B. Spearman Matrix between the concentration of Cd in grains, stems, roots, leaves and the concentrations in soils, and pH in Daule and Nobol.

0.06 mg/kg Cd). As for the studied stems, the metal was not detectable in the localities D1, D4, and N1. However, the D6 station had the highest concentration (0.03 ± 0.118 mg/kg Cd).

In the case of the leaves, the stations with the highest concentrations of Cd were N2 (0.44 ± 0.08 mg/kg Cd), N3 (0.44 ± 0.05 mg/kg Cd), and N1 (0.043 ± 0 mg/kg Cd), while the stations with lower concentrations were D3 (0.01 ± 0.02 mg/kg Cd), N4 (0.04 ± 0.04 mg/kg Cd), and N6 (0.06 ± 0.07 mg/kg Cd). Concerning the grain samples, no Cd was detected at stations D3, D4, N1, N2, and N3. However, at the other stations, we found some Cd: D6 (0.19 ± 0.05 mg/kg Cd), N5 (0.17 ± 0.10 mg/kg Cd), and D5 (0.10 mg/kg Cd). Table 2 presents the transference factor and Cd bioconcentration factor of *O. sativa*. Stations D2 and D6 presented BCFs higher than one, which implies that these rice varieties are cadmium accumulators. Similarly, TFs greater than one were also observed at 9 of the 12 stations, indicating that cadmium is being transferred from the roots to the shoots efficiently, which represents a risk to food safety. Fortunately, the BCF was low in the grains.

Figure 6 shows the correlation between the concentrations of Cd found in the soils and plants. An analysis of the main components was carried out with the concentrations of Cd in the plants and soils. The test evidenced a remarkable relationship between the

concentrations of Cd in the grains and stems. These values were related to the Cd in the roots, while the values of Cd in the leaves were related to the concentrations of Cd in the soils (see Figure 6A).

As shown in Figure 6B, in order to corroborate these correlations, a Spearman test was applied to the values of the correlations between the Cd concentrations in the grains and roots ($r = 0.54$, $p = 0.004$); stems and roots ($r = 0.48$, $p = 0.001$); and stems and grains ($r = 0.61$, $p < 0.001$). On the other hand, the Cd present in the leaves was correlated with the total concentration of Cd in the soil ($r = 0.75$, $p < 0.000$). Finally, we did not find correlations between pH and most of the parameters.

These results demonstrate that Cd contamination in *O. sativa* plants is a consequence of soil Cd contamination, which is caused by the use of fertilizers and proximity to the Daule River and the main roads.

Potential Risk Assessment

The assessment of potential health risks associated with Cd exposure from rice consumption revealed the Average Daily Dose (ADD) values for Ecuadorian consumers. The ADD for men was calculated to be approximately 0.00055 mg/kg/day, while for women, it was found to be around 0.00066 mg/kg/day. Subsequently, the hazard quotients (HQs) for non-carcinogenic risks were determined to be 0.55 for men and 0.66 for women, both of which are below the threshold of 1. This indicates that the risk of adverse health effects from Cd exposure through rice consumption is within acceptable limits for the average Ecuadorian consumer.

Discussion

It was observed that 33% of the analyzed fertilizers exceeded the limits established by Canadian regulations (20 mg/kg Cd), while 100% exceeded the limits allowed by the Department of Ecology of the State of Washington (1 mg/kg Cd); however, they did not exceed the limits recommended in Costa Rican regulations (80 mg/kg Cd). This finding is particularly significant, as elevated levels of Cd in fertilizers pose serious environmental and health risks. The presence of Cd can lead to bioaccumulation in plants, which may subsequently enter the food chain, affecting not only agricultural productivity but also human health and ecosystem stability (Luo *et al.*, 2024; Musa *et al.*, 2024). Given that cadmium is a toxic heavy metal, its accumulation in soil and crops can have detrimental effects on both agricultural systems and consumer safety (Suci *et al.*, 2022; Alhaj *et al.*, 2024).

In humans, exposure to cadmium can result in toxic effects such as stunted growth, diabetes, osteoporosis, and hypertension as well as toxicity in the kidneys and liver (Clemens *et al.*, 2013). On a molecular level, Cd contributes to the generation of reactive oxygen species, causes DNA damage, and hampers DNA repair

processes, which can lead to cancer (Zhang and Reynolds, 2019).

The results obtained in the present study coincide with those described by Qian et al. (2016), who presented similar Cd concentrations of up to 56 mg/kg in fertilizer samples. Similarly, they coincide with other studies that reported Cd concentrations of 1,1-3,9 mg/kg in NPK fertilizers (McBride and Spiers, 2001). Also, a Cd concentration of 38 mg/kg was observed in simple superphosphate (McBride and Spiers, 2001). This was lower than those found in di-ammonium phosphate (153 mg/kg Cd) and triple superphosphate (174 mg/kg Cd).

Furthermore, the analyzed fertilizers evidenced that phosphate had the highest values of Cd, followed by nitrogen, like those reported in Argentina by Marti et al. (2002), who found Cd concentrations of 10.43 ± 3.24 mg/kg in phosphate fertilizers and 2.03 ± 0.49 mg/kg in nitrogenous fertilizers. In summary, this suggests that the use of phosphates is the main cause of Cd contamination in agricultural soils. The origin of this Cd contamination in phosphate fertilizers has been attributed to the use of phosphate rock for its elaboration, as mentioned by Mar and Okazaki (2012), as well as apatite rock (Suciu et al., 2022).

As a consequence of Cd contamination in fertilizers, and as expected, the soil exhibited high levels of Cd. In reference to the sampling stations, the station with the highest concentration of metal in the soil (N3) was found in Nobol (2.59 ± 0.30 mg/kg Cd). When comparing these results with the MPL of Cd in agricultural soils of 0.5 mg/kg, according to Annex 2 of AM097A (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2015), they were up to five times higher than this limit, and they exceeded the limit value of the Canadian standard of 1.4 mg/kg. These values were higher than those reported by Atiaga et al. (2021) (0.23 ± 0.14 mg/kg for rice cultivation soils in the province of Guayas), which implies that Nobol soils present more significant Cd contamination.

In our study, we found average cadmium (Cd) concentrations of 0.56 mg/kg in rice cultivation soils in Daule and 1.43 mg/kg in rice cultivation soils in Nobol, with maximum values reaching 2.86 mg/kg. These findings are concerning, especially when compared to other studies conducted in Ecuador that have documented the presence of Cd in various agricultural lands. For instance, Mite et al. (2010) reported Cd concentrations ranging from 0.46 to 2.37 mg/kg in cacao soils across different provinces, including 0.25 to 1.65 mg/kg in Guayas and 0.22 to 0.88 mg/kg in Esmeraldas. Similarly, Chávez et al. (2015) found Cd levels between 0.66 and 2.59 mg/kg in Guayas, while Arguello et al. (2019) detected maximum values of up to 8 mg/kg. These studies illustrate a worrying trend of elevated Cd levels in agricultural soils, which can pose significant risks to both environmental and human health.

Moreover, when we consider the average concentration of Cd in the Earth's crust, which was reported to be 0.15 mg/kg by Lide (2008), it becomes evident that the levels found in our study and those reported in other research are substantially higher. This discrepancy highlights the potential impact of agricultural practices, particularly the use of fertilizers and contaminated water for irrigation that may contain cadmium, leading to soil contamination.

In comparison with results from other countries, the Cd concentration in our soil samples coincides with those determined by Zhao et al. (2010), which ranged from 0 to 3.45 mg/kg. On the other hand, our concentration differs from the low levels reported by other authors, such as 0.77 mg/kg in Malaysia (Yap et al., 2009) and 0.08 mg/kg in Finland (Singh, 1994).

In contrast, 33% of the soils presented low concentrations of Cd; the stations D2, D3, D6, and N4 registered values lower than the national and international MPLs. The soils at stations D2, D3, D6, and N4 showed lower contamination levels, likely due to their distances from main roads. In contrast, stations D1, N1, N2, and N3 exhibited higher contamination levels, primarily due to their proximity to villages and heavily trafficked roads. Additionally, the most contaminated sites were found near the Daule River, which is used for irrigation and has been documented to contain Cd (Mero et al., 2019). The contamination levels may also be influenced by the types of fertilizers used and the rice varieties cultivated in these areas.

Research conducted by Pernía et al. (2021) revealed that different rice varieties in Ecuador show varying levels of Cd tolerance, with 'SFL-011' and 'INIAP-Arenillas' demonstrating the highest tolerance, while 'INIAP-11' and 'INIAP-14' show the lowest tolerance to Cd.

For future research, it would be ideal to identify specific rice varieties and the types of fertilizers used in cultivation. This information will be crucial for establishing traceability and understanding the causal relationships associated with contamination. Recording these variables will enable researchers to more accurately determine how agricultural practices affect environmental health and food safety, paving the way for strategies to more effectively mitigate contamination risk.

In order to verify this result, the concentrations of Cd in the soils were compared with their proximity to the Daule River and main secondary roads using a statistical test and Spearman correlation analysis, which showed that there was a moderate correlation between the concentration of Cd in a soil and its location. These results were similar to those reported by Bedregal et al. (2012), who established critical points of contamination with Cd and other metals due to vehicular emissions.

According to the literature, the bioavailability of

heavy metals depends on parameters such as pH, electrical conductivity, the content of organic matter, soil texture, and competition with other ions (McLaughlin *et al.*, 1996). To verify if the bioavailability depended on the pH, we conducted a Spearman correlation analysis, which showed there was no correlation between pH and bioavailability, contrary to the results described by McLaughlin *et al.* (2000), who indicated that at a lower pH there is greater bioavailability of metals. In this case, the bioavailability may be due to other factors such as the organic matter content or competition between divalent ions in the soils of crops.

With respect to the bioconcentration factor, unlike the other stations, the rice plants at D6's station presented BCFs higher than one. This is a criterion of hyperaccumulation, according to Brooks (1998). At the root level, the BCF was 1.02 ± 0.52 , and the BCF in the stems was 1.19 ± 0.51 , but this value decreased in the grains (0.39 ± 0.02). Similarly, at station D2, a stem BCF of 1.37 ± 0.38 was recorded, but the BCF decreased significantly in the grains (0.03 ± 0.05). In contrast, the stations where the plants had the highest BCFs in the grains were D5 (0.15 ± 0.05) and N5 (0.13 ± 0.07). These differences were likely due to the fact that the cultivated rice varieties were different. Unlike the present study, Song *et al.* (2015) compared 20 rice varieties in China and found much higher bioconcentration factors in roots (4.62 - 22.27) and grains (0.30 - 1.07). Therefore, it seems that Ecuadorian rice varieties have exclusion mechanisms for Cd.

Another variable that has been considered to estimate if a species of plant is a Cd accumulator is the transfer factor, and in this work this variable was greater than one at all stations except D1, D4, and N4. This confirmed that *O. sativa* is a Cd-accumulating species, but there are varieties with different transference and accumulation capacities for this heavy metal.

There are several factors that affect Cd accumulation in rice plants, such as the soil pH, the organic matter content, the nutrient concentration in the soil, and the rice variety (Li *et al.*, 2017). With regard to the different rice varieties, it has been reported that their capacities to absorb Cd and transfer it to their stems vary widely (Ye *et al.*, 2012). In the present study, the rice variety present at each sampling point was not identified, so it cannot be demonstrated if this factor influenced the differences found in the Cd in the grains. Therefore, we propose comparing the Ecuadorian varieties to detect which accumulates the least cadmium in its grains in order to propose its use in soils contaminated with this heavy metal.

We concluded that although some Daule stations (D5 and D6) had soil Cd concentrations near the PML, the plants accumulated higher concentrations of this heavy metal in their roots, stems, and grains. When we compared them with the Nobol stations, the Cd levels in the soil were very high.

In contrast, at the N1 station, where the highest soil concentrations of Cd were found, Cd was not found in rice stems or grains. These results could be explained by the differences found in the bioconcentration and transfer factors of the *O. sativa* plants in both cantons, suggesting that the variety of rice cultivated at N1 is ideal for use in soils contaminated with Cd.

The results for the rice grains did not exceed the limit values, according to the international norms that were considered, which included the European Union and the Codex Alimentary of the WHO and the FAO with a reference value of 0.2 mg/kg for Cd in grains of rice (FAO/OMS, 1995). The MPL of the national standard NTE INEN 1234 for Cd in rice grains is 0.4 mg/kg, and it also was not exceeded. These results coincide with those obtained by Atiaga *et al.* (2021), who found low Cd concentrations in Ecuadorian rice (0.17 ± 0.26 mg/kg).

The low concentrations of Cd found in the grains in the present study were lower than those described by other authors in China (6 mg/kg (Wu *et al.*, 2011), 0.79 mg/kg (Song *et al.*, 2015), and 0.26 mg/kg (Yu *et al.*, 2016)) and Colombia (0.33 mg/kg (Méndez-Fajardo *et al.*, 2007)).

Although the risk of adverse health effects from cadmium (Cd) exposure through rice consumption is considered acceptable for the average Ecuadorian consumer, it is important to note that other products in Ecuador also contain cadmium. According to Benavides *et al.* (2022), items such as soybeans, carrots, tomatoes, lettuce, and cocoa also contribute to cadmium exposure. The cumulative effect of consuming these products could potentially increase the overall risk for consumers.

Nonetheless, it is crucial to emphasize the importance of ongoing monitoring of heavy metal concentrations in food sources, as well as the need for further research to ensure public health safety and to mitigate potential long-term health effects associated with heavy metal exposure.

It is recommended that farmers utilize fertilizers that are free from heavy metals, assess metal concentrations in their soils prior to planting, and select plant varieties that have reduced capacities to bioaccumulate these substances (Benavides *et al.*, 2022).

Conclusion

In summary, all fertilizers used for rice cultivation in Ecuador have high concentrations of Cd that exceed the limits established by Canada and the Department of Ecology of Washington State. The most-contaminated fertilizers are phosphates, followed by nitrogenated ones.

The concentrations of Cd in the agricultural soils at stations D1, D4, D5, N1, N2, N3, N5, and N6 exceeded the limits established by national and international

regulations, with bioavailable concentrations occurring at all stations. Likewise, the average Cd values in each canton's soils surpassed the established maximum limits.

Comparing the concentrations of Cd in the soil and plant samples from the different cantons, it was concluded that the soils in the canton of Nobol were more contaminated, while the concentrations in the plants in Daule canton were higher.

The rice plants presented BCFs and TFs greater than one, indicating that they are Cd accumulators. However, the varieties grown at D3, D4, N1, N2, and N3 stations were able to exclude Cd from their grains. Finally, the risk of adverse health effects from cadmium (Cd) exposure through rice consumption is considered acceptable for the average Ecuadorian consumer

Acknowledgments

The authors acknowledge the research funding from Project FCI-003-1 and to Professor Galo Vélez for their recommendations and contributions to the research.

References

- APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC.
- Atiaga, O., J. Ruales, L.M. Nunes & X.L. Otero. 2021. Toxic Elements in Soil and Rice in Ecuador. *Agronomy* 11: 1594. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081594>
- Bedregal P., M. Ubillús, J. Hurtado & P. Mendoza. 2012. Evaluación de la contaminación atmosférica en puntos críticos de la ciudad de Lima y Callao, utilizando Tillandsia capillaris como biomonitor. *Informe Científico Tecnológico* 12: 41-47.
- Borges A.R., E.M. Becker, M.B. Dessuy, M.G.R. Vale & B. Welz. 2014. Investigation of chemical modifiers for the determination of lead in fertilizers and limestone using graphite furnace atomic absorption spectrometry with Zeeman-effect background correction and slurry sampling. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy* 92:1-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sab.2013.11.001>
- Brooks R. 1998. Plants that hyperaccumulate heavy metals. Their role in phytoremediation, microbiology archaeology, mineral exploration and phytomining (CAB Intern). Wallingford.
- Chávez E., Z.L. He, P.J. Stoffella, R.S. Mylavarapu, Y.C. Li, B. Moyano & V.C. Baligar. 2015. Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Sci Total Environ.* 533:205-214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>
- Cheajesadagul, P., J. Shiowatana, A. Siripinyanond, J. Szpunar. 2013. Chapter 24—Rice. In *Food Protected Designation of Origin*; de la Guardia, M., González, A.B.T.-C.A.C., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. pp. 623-655.
- Clemens S., M. Aarts, S. Thomine & N. Verbruggen. 2013. Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. *Trends in Plant Science* 18(2):92-99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.003>
- Dunbar K.R., M.J. McLaughlin & R.J. Reid. 2003. The uptake and partitioning of cadmium in two cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). *J Exp Bot.* 54(381): 349-354. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erg016>
- FAO/OMS. 1995. Comisión del Codex Alimentarius: Manual de procedimiento. (Novena edición). FAO, Roma.
- FAOSTAT. 2018. Faostat: Food Balance Sheets. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy. Available online: <https://faostat.fao.org/beta/en/#data/FBS>
- He J., Y. Ren, C. Zhu & D. Jiang. 2008. Effects of cadmium stress on seed germination, seedling growth and seed amylase activities in rice (*Oryza sativa*). *Rice Science* 15(4): 319-325. doi: [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(09\)60010-X](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(09)60010-X)
- Inaba, T., E.Kobayashi, Y. Suwazono, M. Uetani, M. Oishi, H. Nakagawa, & K. Nogawa. 2005. Estimation of cumulative cadmium intake causing Itai-itai disease. *Tox. Lett.* 159: 192-201.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2018. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Quito. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-bbd/> [Enero 2018].
- Li H., N. Luo, Y.W. Li, Q.Y. Cai, H.Y. Li, C.H. Mo & M.H. Wong. 2017. Cadmium in rice: Transport mechanisms, influencing factors, and minimizing measures. *Environ Pollut.* 224: 622-630. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.087>
- Liu W., W. Pan, Y. Li, Y. Duan, J. Min, S., Liu, L. Liu, X. Sheng & X. Li. 2019. Identification of QTLs and validation of qCd-2Associated with grain cadmium concentrations in rice. *Rice Science* 26(1): 42-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.12.003>
- Mar, S.S. & M. Okazaki. 2012. Investigation of Cd contents in several phosphate rocks used for the production of fertilizer. *Microchemical Journal* 104: 17-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.03.020>
- Martí L., J. Burba, & M. Cavagnaro. 2002. Metales pesados en fertilizantes fosforados, nitrogenados y mixtos. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias.* 34(2): 43-48.
- McBride M.B. & G. Spiers. 2001. Trace Element Content of Selected Fertilizers and Dairy Manures As Determined By Icp-MS. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32(1-2): 139-156. doi: <https://doi.org/10.1081/CSS-100102999>
- McLaughlin M.J., B.A. Zarcinas, D.P. Stevens & N. Cook. 2000. Soil testing for heavy metals. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34: 1-54. doi: <https://doi.org/10.1080/00103620009370531>
- Méndez-Fajardo S., J.A. Lara-Borrero, G. Moreno & A. Ayala. 2007. Estudio preliminar de los niveles de cadmio en arroz, frijoles y lentejas distribuidos en supermercados de Bogotá y plazas de Manizales. *Fitotecnia Colombiana* 7(2): 40-47.
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. 2015. Acuerdo Ministerial 097A. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Ecuador. Quito, Ecuador, 71 pp.
- Mite F., M. Carrillo & W. Durando. 2010. Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas de Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo 17-19.
- Ochoa, M., W. Tierra, D. S. Tupuna-Yerovi, D. Guanaluiza, X. L. Otero & J. Ruales. 2020. Assessment of cadmium and lead contamination in rice farming soils and rice (*Oryza sativa* L.) from Guayas province in Ecuador. *Environmental Pollution* 260: 114050. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114050
- Parra J. & L. Espinosa. 2008. Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora mangle* en el río Sevilla - Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigación Marino Costera* 37: 95-110.
- Perämäki P., J. Itämes, V. Karttunen, L.H.J. Lajunen & E. Pulliainen. 1992. Influence of pH on the accumulation of cadmium and lead in earthworms (Aporrectodea coliginosa) under controlled conditions. *Ann Zool Fennici* 29: 105-111.
- Pernia B., A. De Sousa, R. Reyes & M. Castrillo. 2008. Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas. *Interciencia* 33(2): 112-119.
- Pernia B., M. Mero, J. Muñoz, K. Bravo, N. Morán, J. Zambrano & G. Torres. 2016. Plantas acuáticas con potencial para fitoextracción de Cadmio en arrozales del Cantón Daule,

- provincia del Guayas, Ecuador. Rev Cient Cien Nat Ambien. 10(2): 25-30.
- Pozo W., T. Sanfeliu & G. Carrera. 2011. Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. Maskana 2(1): 17-30.
- Qian M., H. Wu, J. Wang, H. Zhang, Z. Zhang, Y. Zhang & J. Ma. 2016. Occurrence of trace elements and antibiotics in manure-based fertilizers from the Zhejiang Province of China. Sci Tot Environ. 559: 174-181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.123>
- Ramírez N., B. Pernia, M. Mero, E. Larreta, A. Noboa-Cárdenas, L. Ramírez-Moreira & R. Castro. 2016. Pomacea canaliculata (Lamarck, 1828) como bioindicador de la presencia de cadmio en el río Guayas, Daule y Babahoyo. Rev Cient Cien Nat Ambien. 10: 19-28.
- Rodríguez-Serrano M., N. Martínez-de la Casa, M.C. Romero-Puertas, L.A. del Río & L.M. Sandalio. 2008. Toxicidad del Cadmio en Plantas. Ecosistemas 17(3): 139-146.
- Sharma R.K. & G. Archana. 2016. Cadmium minimization in food crops by cadmium resistant plant growth promoting rhizobacteria. Applied Soil Ecology 107: 66-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.05.009>
- Singh B.R. 1994. Trace element availability to plants in agricultural soils, with special emphasis on fertilizer inputs. Environ. Rev. 2(2): 133-146. doi: <https://doi.org/10.1139/a94-009>
- Song, W.E., S.B. Chen, J.F. Liu, L. Chen, N.N. Song, N. Li & B. Liu. 2015. Variation of Cd concentration in various rice cultivars and derivation of cadmium toxicity thresholds for paddy soil by species-sensitivity distribution. J Integrative Agric. 14(9): 1845-1854. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60926-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60926-6)
- Uraguchi S. & T. Fujiwara. 2012. Cadmium transport and tolerance in rice: perspectives for reducing grain cadmium accumulation. Rice 5(1): 5. doi: <https://doi.org/10.1186/1939-8433-5-5>
- Wu F., D. Lin & D. Su. 2011. The Effect of Planting Oilseed Rape and Compost Application on Heavy Metal Forms in Soil and Cd and Pb Uptake in Rice. Agricultural Sciences in China 10(2): 267-274. doi: [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(11\)60004-7](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60004-7)
- Xie P.P., J.W. Deng, H.M. Zhang, Y.H. Ma, D.J. Cao, R.X. Ma & Y.G. Liang. 2015. Effects of cadmium on bioaccumulation and biochemical stress response in rice (Oryza sativa L.). Ecotoxicol Environ Safety 122: 392-398. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.007>
- Xu W., Y. Li, J. He, Q. Ma, X. Zhang, G. Chen & H. Zhang. 2010. Cd uptake in rice cultivars treated with organic acids and EDTA. J Environ Sci. 22(3): 441-447. doi: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60127-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60127-3)
- Yap D.W., J. Adezrian, J. Khairiah & B.S. Ismail. 2009. The Uptake of Heavy Metals by Paddy Plants (Oryza sativa) in Kota Marudu, Sabah, Malaysia. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 6(1): 16-19.
- Ye X., Y. Ma & B. Sun. 2012. Influence of soil type and genotype on Cd bioavailability and uptake by rice and implications for food safety. J Environ. Sci. 24(9): 1647-1654. doi: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60982-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60982-0)
- Yu H.Y., X. Ding, F. Li, X. Wang, S. Zhang, J. Yi & Q. Wang. 2016. The availabilities of arsenic and cadmium in rice paddy fields from a mining area: The role of soil extractable and plant silicon. Environ Pollut. 215: 258-265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.008>
- Zhang C., Z. Wu, T. Ju & Y. Ge. 2013. Purification and Identification of Glutathione S-transferase in Rice Root under Cadmium Stress. Rice Science 20(3): 173-178. doi: [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(13\)60114-6](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(13)60114-6)
- Zhao K., X. Liu, J. Xu & H.M. Selim. 2010. Heavy metal contaminations in a soil - rice system : Identification of spatial dependence in relation to soil properties of paddy fields. J Hazard Mat. 181(1-3): 778-787. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.081>
- WorldData.info. 2023. Average height and weight by country. <https://www.worlddata.info/average-bodyheight.php>

Enfermedades Asociadas a las Actividades Agropecuarias: Análisis Geoespacial en San Isidro, Manabí-Ecuador

Diseases Associated with Agricultural Activities: Geospatial Analysis in
San Isidro, Manabí-Ecuador

José Cedeño Zambrano^{1*}, Holanda Vivas Saltos² & Jhon Gaón Rojas³

¹Universidad de Sonsonate, El Salvador. ORCID

²Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de
Ingeniería Ambiental, Calceta, Ecuador. ORCID

³Investigador Independiente, Calceta, Ecuador. ORCID

Recibido 01 agosto 2024, aceptado 11 octubre 2024, en línea 07 diciembre 2024.

Resumen

La población dedicada a la actividad agropecuaria es particularmente vulnerable a enfermedades debido a una combinación de factores asociados a su entorno laboral. La presente investigación tiene como objetivo identificar enfermedades asociadas a la actividad agropecuaria en la parroquia San Isidro de la provincia de Manabí, Ecuador. Se tomó muestra de 92 familias, donde los datos fueron recolectados a través de revisión de documentos, entrevistas, encuestas y observación directa, y analizados utilizando Microsoft Excel y ArcGIS para obtener resultados descriptivos y cartográficos. La parroquia San Isidro posee una superficie de 277,95 km², donde el 89,73% de las familias se dedica principalmente a actividades agrícolas y el 7,34% a las actividades forestales. En esta área rural se destacó que existe una prevalencia de educación de nivel primaria con un 60,29% de la población, de las cuales el 71,56% son económicamente activa. En materia de salud, el 81,52% cuenta con seguro campesino, pero sólo el 17,39% está jubilado; en consecuencia, el 98,91% de los productores han sufrido alguna enfermedad o lesiones parenterales a causa de sus actividades diarias y tan solo el 79,35% acude al centro de salud más cercano, la enfermedad más común es la influenza en las zonas más cercanas a la cabecera parroquial, seguida de los problemas de columna que afectan al 42,39% de la población. Con esto, la investigación contribuye a comprender la salud en entornos agropecuarios para establecer políticas públicas adaptadas a las necesidades de la parroquia, promoviendo su sostenibilidad y desarrollo integral.

Palabras claves: Agricultura, distribución de enfermedades, mapa, riesgos laborales, salud ocupacional.

Abstract

The population engaged in agricultural activity is particularly vulnerable to diseases due to a combination of factors associated with their work environment. The present research aims to identify diseases associated with agricultural activity in the San Isidro parish of the province of Manabí, Ecuador. A sample of 92 families was taken, where the data was collected through document review, interviews, surveys and direct observation, and analysis using Microsoft Excel and ArcGIS to obtain descriptive and cartographic results. The San Isidro parish has an area of 277.95 km², where 89.73% of families are mainly engaged in agricultural activities and 7.34% in forestry activities. In this rural area, it was highlighted that there is a prevalence of primary level education with 60.29% of the population, of which 71.56% are economically active. In terms of health, 81.52% have peasant insurance, but only 17.39% are retired; consequently, 98.91% of producers have suffered some illness or parenteral injury due to their daily activities and only 79.35% go to the nearest health center; the most common illness is influenza in the areas closest to the parish capital, followed by spinal problems that affect 42.39% of the population. With this, the research contributes to understanding health in agricultural environments to establish public policies adapted to the needs of the parish, promoting its sustainability and integral development.

Keywords: agriculture, distribution of diseases, map, labor risks, occupational health.

* Correspondencia del autor:

E-mail: kinves.scient@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

Introducción

En Ecuador, el sector primario engloba diversas actividades como la agricultura, ganadería, apicultura, acuicultura, pesca y minería, todas ellas orientadas hacia la obtención de materias primas (Eras et al., 2021). En el primer trimestre de 2023, el Producto Interno Bruto (PIB) experimentó un crecimiento interanual del 0,7%, con 12 de 18 sectores industriales informando un desempeño positivo. Entre los sectores destacados se encuentran la Refinación de petróleo (16,6%), Acuicultura y Pesca de Camarón (6,4%), Correo y Comunicaciones (6,2%), Alojamiento y Servicios de Comida (3,7%) y Agricultura (2,7%), según datos del Banco Central del Ecuador (BCE, 2023).

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2021) revela que el sector rural ecuatoriano abarca 12.5 millones de hectáreas, con 5.2 millones destinadas a actividades agrícolas y pecuarias. La provincia de Manabí se destaca como un territorio agropecuario, representando el 15.84% de la producción agropecuaria nacional, especialmente en ganado vacuno, donde posee un total del 22.0% de 4.3 millones consideradas en el país.

Actualmente, la población agropecuaria es particularmente vulnerable a los riesgos asociados con los agroquímicos, enfrentando desafíos relacionados con enfermedades como la de Chagas, leishmaniasis y otras, que impactan significativamente a comunidades empobrecidas y marginadas, con dificultades tanto en el diagnóstico como en la disponibilidad de tratamientos adecuados (Reyes et al., 2022). Además, según Guzmán y Cruz (2019) las sustancias agroquímicas plantean riesgos que van desde envenenamiento, indigestión y malestar general hasta irritación de la piel, efectos respiratorios graves, cáncer, enfermedades crónicas y, en casos extremos, la muerte.

En los países en desarrollo, la dependencia de economías tradicionales con sistemas agrícolas poco sostenibles conduce al colapso agrícola debido a la alta contaminación ambiental (Mogro et al., 2020). La necesidad global de limitar el uso de productos fitosanitarios, impulsada por su impacto negativo y la resistencia de patógenos, ha llevado a la búsqueda de métodos de control alternativos, como los biológicos, que benefician tanto la salud humana como el medio ambiente (Viera et al., 2020).

Dada la exposición de los trabajadores del sector agropecuario a diversos riesgos, comprender estas problemáticas es crucial para que las instituciones y profesionales de la salud puedan proponer programas de prevención y promoción integral del bienestar de los agricultores (Jiménez et al., 2016). Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo determinar las enfermedades asociadas a la actividad agropecuaria en la parroquia San Isidro del cantón Sucre, provincia de Manabí.

Materiales y Métodos

Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en la parroquia San Isidro, situada en el cantón Sucre, provincia de Manabí-Ecuador. La temperatura promedio anual es de 25.1 °C, con vientos favorables durante la temporada seca que mantienen una oscilación térmica entre los 23 y 26 °C. En la temporada húmeda, la temperatura puede alcanzar los 34 °C, y se registra una precipitación anual que oscila entre 500-600 mm en condiciones normales.

Población y muestra

La población universo correspondió a 12196 habitantes de acuerdo a los datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC 2023), para el efecto de esta investigación se utilizará una muestra representativa de la población, que se determinará mediante la siguiente ecuación 1.

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

Donde:

n= Tamaño de la muestra buscado.

N= Tamaño de la población

Z= Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza

E= Precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

P= Probabilidad de éxito, o proporción esperada

q= (1-p) Probabilidad de fracaso.

Como lo indica Torres et al. (n.d.), para una mayor precisión se necesitará un mayor tamaño de la muestra, al igual que si se desea trabajar con un nivel de confianza. La muestra evaluada, con un nivel de confianza del 95% y una precisión del 5%, considerando una proporción esperada del 50%, resulta en un total de 372 individuos. Dado que la investigación se centra en el ámbito familiar, se calculó con base al tamaño medio de los hogares en Manabí (4,1 miembros) de acuerdo Afonso et al., (2014), por lo cual la muestra para esta investigación se estableció en 92 familias.

Análisis de información

La información se recopiló mediante revisión documental y la obtención de datos de campo, mediante entrevistas, encuestas y observación directa, con el propósito de enriquecer la investigación con información que permita diagnosticar la situación actual de la población en estudio. La información recopilada fue procesada utilizando el software Microsoft Excel, aplicando frecuencias, proporciones y análisis estadístico descriptivo simple. Asimismo, los datos cartográficos fueron manejados a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS.

Diagnóstico de la situación socioeconómica ambiental de los productores agropecuarios de la parroquia San Isidro.

Se llevó a cabo una entrevista con el jefe de hogar,

con el propósito de informar sobre el alcance del proyecto y determinar su disposición para colaborar en la investigación. Posteriormente, se aplicaron instrumentos de recolección de datos, en este caso, encuestas, que abordaron diversas áreas, incluyendo factores sociales (sexo, edad, escolaridad), económicos (ingreso mensual del jefe de familia, actividad económica) y de saneamiento ambiental (fuente de agua, entre otros) según lo propuesto por Condemayta et al. (2018). Para facilitar la gestión de los datos, los jefes de hogar (productores) fueron identificados mediante un código, por ejemplo, (Pro 1, Pro 2, Pro 3... Pro n).

Determinación la incidencia de las enfermedades con la actividad agropecuaria

Identificación de los factores de riesgo de enfermedades agropecuarias

Se ejecutó la recolección, procesamiento y caracterización de grupos de datos agropecuarios de acuerdo a la metodología propuesta por Princhich y Pérez, (2018) y mediante la matriz planteada por Tafur (2023) se verificó si el productor cumple con las siguientes variables:

- Asistencia técnica (AT)
- Programa de desinfección (PD)
- Disposición de residuos sólidos (DS)
- Disposición de la mortalidad (DM)

Adicional a esta información se incluye la distancia aproximada del área de crianza con respecto a la vivienda (DAC), donde estos valores fueron

considerados mediante la matriz presentada por Guerrero y Gonzáles, (2017).

Análisis de la relación de las enfermedades con las actividades agropecuarias

A través de una lista de chequeo, se identificaron las enfermedades experimentadas por los jefes de hogar o algún miembro de la familia relacionado con la actividad agropecuaria. Las enfermedades relacionadas con las actividades pecuarias se fundamentaron en la investigación de Pulido et al. (2022), mientras que las vinculadas a las actividades agrícolas, de la investigación llevada a cabo por Guzmán y Cruz (2019). Además, se investigó si acudieron a un centro de salud (CS), y toda esta información se compararon con la información recopilada por centros de salud cercanos tanto públicos como privados.

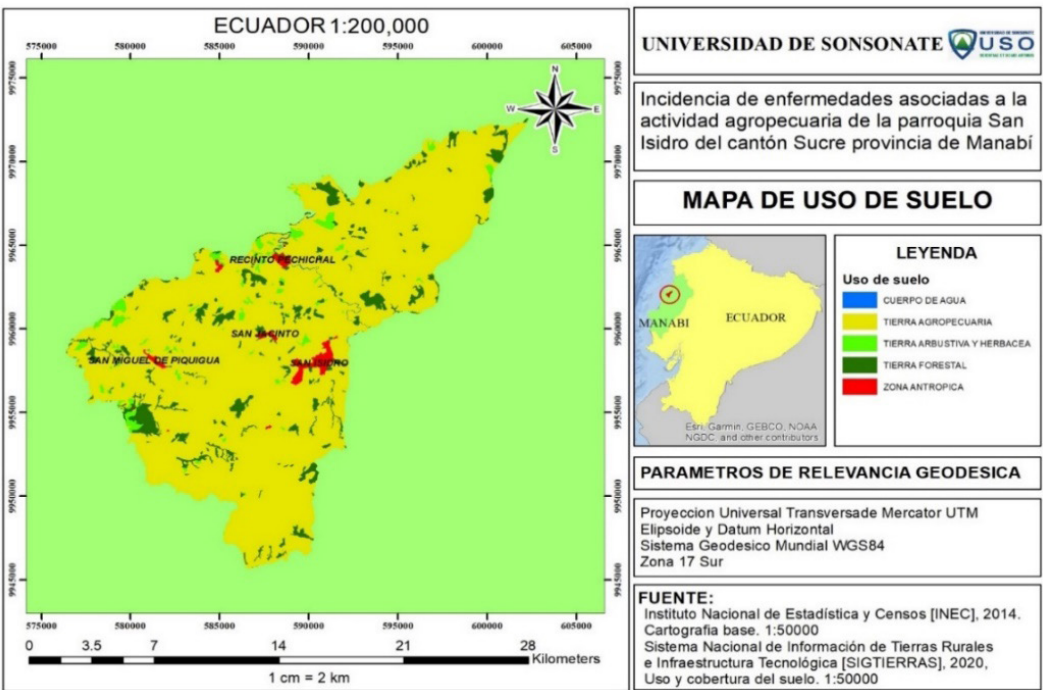
Finalmente, se emplearon las coordenadas de los hogares junto con las enfermedades registradas en cada uno para generar mapas geoespaciales mediante el software ArcGIS, permitiendo identificar posibles relaciones espaciales. Este enfoque proporcionará una comprensión más completa de los problemas, las potencialidades y los conflictos sociales existentes, tal como sugieren Gómez et al. (2019).

Resultados y Discusión

Diagnóstico de la situación socioeconómica ambiental de los productores agropecuarios de la parroquia San Isidro

La parroquia San Isidro abarca una extensión de

Figura 1. Mapa de uso de suelo



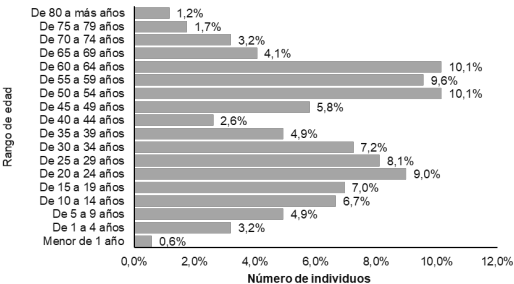


Figura 2. Edad de los individuos

277.95 km², donde el 89.73% se destina a actividades agropecuarias, seguido por un 7.34% de áreas aptas para uso forestal. El 2.35% se compone de vegetación arbustiva y herbácea, mientras que el 0.41% corresponde a zonas antrópicas, y el resto se distribuye en cuerpos de agua. La parroquia alberga alrededor de 4752 viviendas, con un 43.90% ubicadas en centros poblados que concentran la mayoría de los servicios básicos (Figura 1). Por este motivo, el análisis socioeconómico y ambiental se centró en las áreas más rurales, donde las actividades agropecuarias tienen un impacto directo en la economía de la población.

Al administrar la encuesta a 92 familias y abarcar un total de 345 individuos, se logra captar una muestra diversa y lo suficientemente grande para obtener resultados estadísticamente relevantes. El equilibrio de género en la población es de un 50.14% de hombres y un 49.86% de mujeres, de acuerdo con la Figura 2, la mayor concentración de la población se encuentra en un rango de 50 a 54 años y de 60 a 64 años.

En cuanto a la escolaridad de los encuestados, el 60.29% de la población completó su educación hasta el nivel primario, le sigue el 15.36% que alcanzó la educación secundaria, mientras que el 6.09% no recibió educación formal y solo el 1.74% logró alcanzar la educación superior. Vale la pena destacar que un 12.46% de la población continúa con sus estudios, y un 4.06% no estudia debido a que aún no ha alcanzado la edad escolar o debido a la falta de instituciones educativas de niveles superior cercana a la comunidad, como se ilustra en la Figura 3.

Según el Ministerio de Educación de Ecuador, las zonas rurales enfrentan mayores desafíos y rezagos en términos de acceso, permanencia y calidad educativa (Moreno et al., 2024). En 2019, los

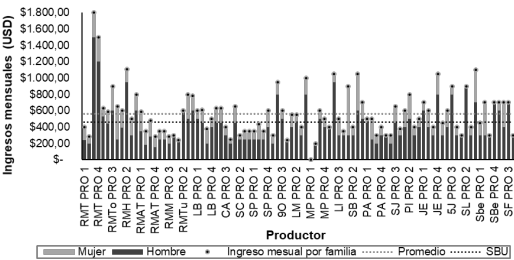


Figura 4. Ingresos mensuales por familia

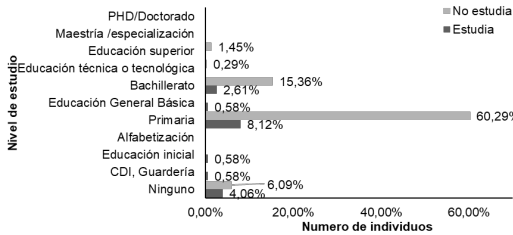


Figura 3. Nivel de escolaridad de los individuos

indicadores revelaron que estas áreas registran tasas significativamente más bajas de rendimiento académico, acompañadas de niveles alarmantemente altos de deserción escolar y analfabetismo con una tasa del 12,9% a nivel nacional, lo que refleja profundas inequidades en el sistema educativo (Ministerio de Educación del Ecuador, 2019).

Una de las consecuencias directas de la situación económica es el abandono escolar, especialmente en la transición de la educación básica al bachillerato (Ministerio de Educación del Ecuador, 2023). De acuerdo con Hernández et al. (2020) el nivel de educación genera una brecha significativa en el acceso al conocimiento y a la información clave sobre la prevención de enfermedades, prácticas de higiene, y el adecuado uso de los servicios de salud, perpetuando un círculo de vulnerabilidad social. Quintero et al. (2017) expresan que en la actualidad la promoción de salud se ha convertido en un ejercicio que implica aspectos como la educación, formación, investigación, legislación, coordinación de políticas y desarrollo comunitario.

La Población Económicamente Activa [PEA] alcanza 71,59% de la población de estudio, dividida en 56,28% de hombres y 43,72% de mujeres; las actividades realizadas por la población encuestada generan alrededor de un total de \$ 51.765,00 USD al mes, siendo la actividad agropecuaria la de mayor influencia con un 90,19% de los ingresos, seguido de la actividad netamente agrícola con un 7,98 % de generación de activos. Según los datos obtenidos, los hombres tienen la mayor generación económica del sector, recaudando el 74,55% de los ingresos antes mencionados. En promedio el ingreso mensual ronda los \$ 563,00 USD al mes como se observa en la Figura 4.

Con respecto a la salud, los encuestados revelaron que el 81,52% se encuentra afiliado al seguro campesino

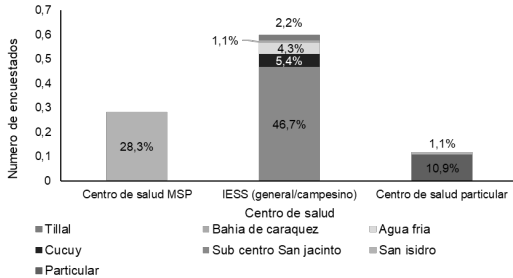


Figura 5. Asistencia al centro de salud

Tabla 1. Información sobre los servicios básicos disponibles en las viviendas objeto de la encuesta

Servicio de electricidad		
Parámetros	Número de encuestados	%
Conectados a la red publica	91	98.91
Generador a base de combustibles	1	1.09
Fuente de agua		
Agua potable	2	2.17
Agua subterránea	18	19.57
Agua superficial	72	78.26
Agua que consumen en el hogar		
La beben como llega al hogar	33	35.87
Compran agua envasada	6	6.52
La hierven	49	53.26
Le ponen cloro	3	3.26
La filtran o usan purificadores	1	1.09
Servicios higiénicos de la vivienda		
Inodoro o escusado conectados a pozos sépticos	87	94.57
Inodoro o escusado con descargas al ambiente	2	2.17
Letrina	3	3.26
Eliminación de los desechos sólidos		
Carro recolector	10	10.87
La quema	76	82.61
La entierra	6	6.52

del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social [IESS]; sin embargo, solo el 17,39 % se encuentra jubilado. La asistencia al sistema de salud demuestra que 59,78% se hace atender en el IESS cuando sufren un deterioro en su salud, el porcentaje restante concurre al centro de salud pública o a centros de salud particulares como se evidencia en la Figura 5.

Principio del formulario

En relación con los servicios básicos, los resultados se muestran en la Tabla 1, donde el 98,91% de los hogares toman la energía eléctrica por medio de la red pública, y una vivienda utiliza un generador a base de combustible para solventar el uso de energía eléctrica. En cuanto, a la fuente de agua que abastece a los hogares intervenidos, tiene sus bases en el flujo superficial con un 78,26%, un 19,57%

obtiene el agua mediante pozos y solo el 2,17% se encuentra conectado a la red pública de agua potable. Además, se determina el tratamiento que recibe el agua para el consumo en el sector, donde el 53,26% de los encuestados indican que hierven el agua que consumen, el 6,52% la compran envasada, el 3,26% le da tratamiento a base de cloro y 1,09% cuenta con filtros o purificadores; en contraste a esto, un 35,87% exteriorizó que el agua para el consumo la beben tal cual como llega a sus hogares.

Entre los factores que generan impactos negativos en el ambiente, está la disposición final de los desechos sólidos y líquidos, donde se evidencia que el 82,61% de los encuestados queman sus desechos sólidos, seguido de 6,52% que indican que lo entierran en su patio y tan solo 10,87% tiene una buena gestión entregando a un carro recolector. Por su parte el 94,57% de los desechos líquidos son descargados hacia un pozo séptico, mientras que el 3,26% cuenta con letrina en sus hogares y un 2,17% cuenta con biodigestor para una mejor gestión de los desechos líquidos.

Determinación la incidencia de las enfermedades con la actividad agropecuaria

De acuerdo con la Figura 6, el 47,83% de los hogares cuenta con ganado vacuno, porcino y aves, un 26,09% cuenta con cerdos y aves de corral, mientras que un 22,83% se dedica a la crianza de aves de corral. La



Figura 6. Clasificación de los individuos criados

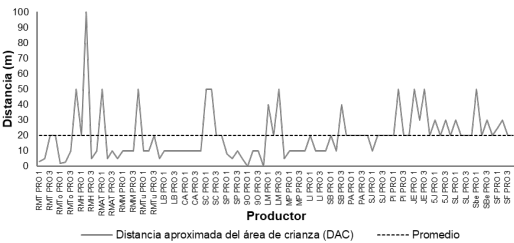


Figura 7. Distancia Aproximada del área de Crianza (DAC)

identificación de los vectores pecuarios reveló que el 88,04% de los productores no cuenta con asistencia técnica para la crianza de animales; no obstante, el 86,96% de los productores indicaron que cuentan con un programa de desinfección el mismo que es aplicado una vez culminado un periodo de crianza.

Según Özlü et al. (2020) y Gong et al. (2021) la tendencia a buscar ayuda profesional para adquirir servicios y productos relacionados con la cría, nutrición y salud animal se encuentra estrechamente vinculada al nivel de educación formal. En su estudio, se observó que los agricultores con bajos niveles de alfabetización o educación informal tendieron a tener un menor número de visitas a proveedores de estos servicios en comparación con aquellos que habían completado al menos un grado de educación formal. Los resultados de esta investigación corroboran esta conexión entre el nivel educativo y la búsqueda de servicios relacionados con la actividad agrícola ya que la mayor parte de la población posee un grado académico de primaria.

Con respecto a la disposición de los desechos sólidos de los animales, el 95,65% indico que no aprovechan estos desechos y los deja en el ambiente. En referencia a la disposición de la mortalidad el 57,61% de los productores entierra a los animales y un 40,22% de los productores los queman. La disposición inadecuada de la mortalidad animal podría generar consecuencias adversas, dado que puede tener un impacto negativo tanto en la salud pública como en el medio ambiente; esta práctica inadecuada puede resultar en la contaminación del suelo y del agua, así como en la atracción de vectores de enfermedades (Ge et al., 2022; Onyimony et al., 2013).

La falta de conocimientos técnicos resulta en práctica de crianza inadecuada que aumentan el riesgo de

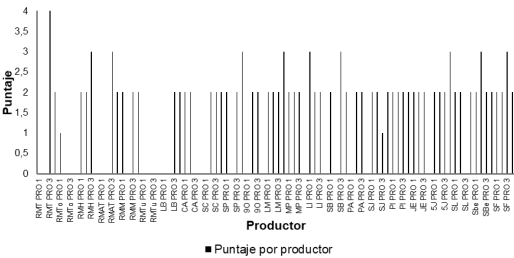


Figura 8. Puntaje del Checklist de los productores agrícolas

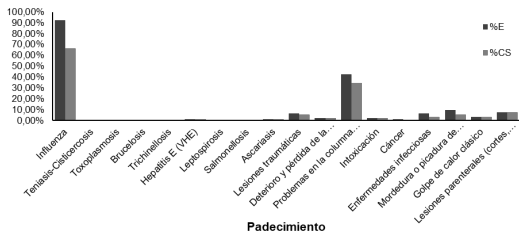


Figura 9. Pacemiento de las enfermedades agropecuarias

enfermedades zoonóticas o lesiones laborales (Eiros y Oteo, 2011). De acuerdo con Slingenbergh et al. (2004) y Terra et al. (2018) entre los macroorganismos más comunes que pueden infectar a los trabajadores son bacterias, virus, parásitos y hongos, transmitiendo enfermedades como la salmonelosis, la campilobacteriosis, la criptosporidiosis, la rabia, la enfermedad de Lyme, la psitacosis y la influenza aviar.

En referencia a la Distancia Aproximada del área de Crianza (DAC) en promedio los hogares encuestados producen a sus animales a una distancia de 20 m, tan solo el 21,74% de los productores superan la media como se evidencia en la figura 7, esta distancia es variable dependiendo del tipo de animal criado, inclusive la cantidad de individuos. Según investigaciones, se ha establecido que, en el caso de granjas porcinas convencionales, la distancia mínima recomendada entre estas instalaciones y las viviendas es de aproximadamente un kilómetro (Guberti et al., 2020; Martin y Rivera, 2018).

Sin embargo, en el contexto de la cría intensiva de animales, como ocurre en las macrogranjas, la proximidad entre las áreas de crianza y las zonas residenciales puede reducirse considerablemente, esta situación se debe a la necesidad de maximizar la producción y eficiencia en la generación de alimentos (Craviotti, 2007; Kodols, 2018). Si es así, es esencial destacar la importancia de considerar cuidadosamente los factores relacionados con la salud animal, la seguridad alimentaria y la prevención de enfermedades zoonóticas, especialmente dado que en la investigación la distancia entre las instalaciones de crianza animal y la población circundante es significativamente reducida (Fernández et al., 2009).

El Checklist del riesgo agrícola demuestra que el 67,39% de los agricultores cuentan con un área de almacenamiento de insumo agrícola independiente a la vivienda a una distancia mínima de 10 m, un 9,78% cuenta con un botiquín de primeros auxilios, el 2,17% tiene una bodega para las herramientas y el 1,09% han evaluado la calidad del agua, mientras que un productor cuenta con un sitio identificado para verter aguas residuales contaminadas con pesticidas y esta distante de las fuentes de aguas.

Además, se analizó que existe carencia en realizar triple lavado a los envases de plaguicidas y no utilizan equipos de protección individual, por lo que existe ausencia de capacitación y plan en caso de una

Table 2. Transference Factor (TF) and Cd Bioconcentration Factor in roots (BCF roots), shoots (BCF shoot), and grains (BCF grain) of *O. sativa* plants by stations.

Descripción	Emergencias
J18 - Neumonía, organismo no especificado	2
E11 - Diabetes mellitus tipo 2	1
F43 - Reacción al estrés grave y trastornos de adaptación	1
G40 - Epilepsia	1
J20 - Bronquitis aguda	1
J21 - Bronquiolitis aguda	1
J80 - Síndrome de dificultad respiratoria del adulto	1
J96 - Insuficiencia respiratoria, no clasificada en otra parte	1
K25 - Úlcera gástrica	1
K35 - Apendicitis aguda	1
K37 - Apendicitis, no especificada	1
K74 - Fibrosis y cirrosis del hígado	1
L03 - Celulitis	1
O01 - Mola hidatiforme	1
O06 - Aborto no especificado	1
O14 - Preeclampsia	1
O33 - Atención materna por desproporción conocida o presunta	1
K40 - Hernia inguinal	1
O42 - Ruptura prematura de las membranas	1
P05 - Retardo del crecimiento fetal y desnutrición fetal	1
P59 - Ictericia neonatal por otras causas y por las no especificadas	1
Q67 - Deformidades osteomusculares congénitas de la cabeza, de la cara, de la columna vertebral y del tórax	1
R10 - Dolor abdominal y pélvico	1
S31 - Herida del abdomen, de la región lumbosacra y de la pelvis	1
S59 - Otros traumatismos y los no especificados del antebrazo	1
S68 - Amputación traumática de la muñeca y de la mano	1
S86 - Traumatismo de tendón y músculo a nivel de la pierna	1
T00 - Traumatismos superficiales que afectan múltiples regiones del cuerpo	1
T63 - Efecto toxico del contacto con animales venenosos	1
Total, de emergencias	30

Fuente: Ministerio de Salud Pública (MSP, 2023)

emergencia, lo que es notable que la mayoría de los productores tienen deficiencia al ejecutar buenas prácticas agrícolas, siendo el caso de productores de una puntuación de cero de once posibles, como se observa en la Figura 8.

Con respecto a las enfermedades que afectan a los productores o a un miembro de la familia se determinó que el 98,91% de los productores agropecuarios han sufrido alguna enfermedad por causa de sus actividades diarias; sin embargo, tan solo el 79,35% acude a un centro de salud. La enfermedad más común es la influenza debido a que 92,39% de las

familias participantes han sufrido esta enfermedad, de acuerdo a Báez et al. (2021) y Meza et al. (2022) los trabajadores agropecuarios están expuestos a polvo, gases, vapores, contaminantes aerobiológica y otros contaminantes del aire que pueden provocar enfermedades, como asma, neumonía y enfermedad pulmonar respiratorias; no obstante, el 66,30% acuden al centro de salud al momento de contraerla.

En este estudio, la segunda enfermedad más común desarrollada por los productores son los problemas en la columna vertebral la misma que afecta 42,39% de los productores, del porcentaje antes mencionado

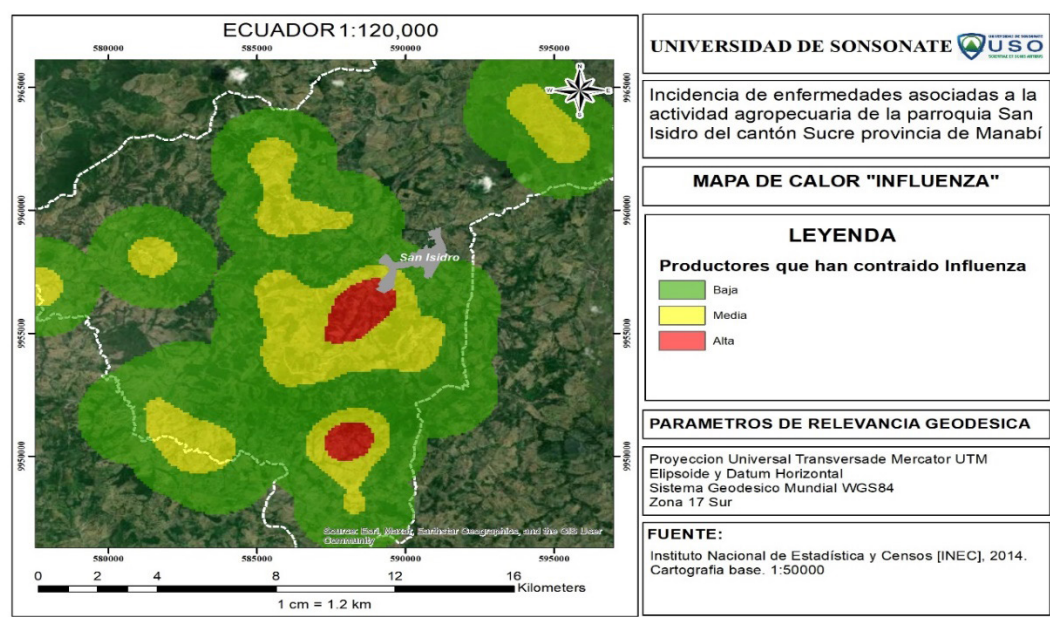


Figura 10. Mapa de Calor de los productores que han contraído influenza

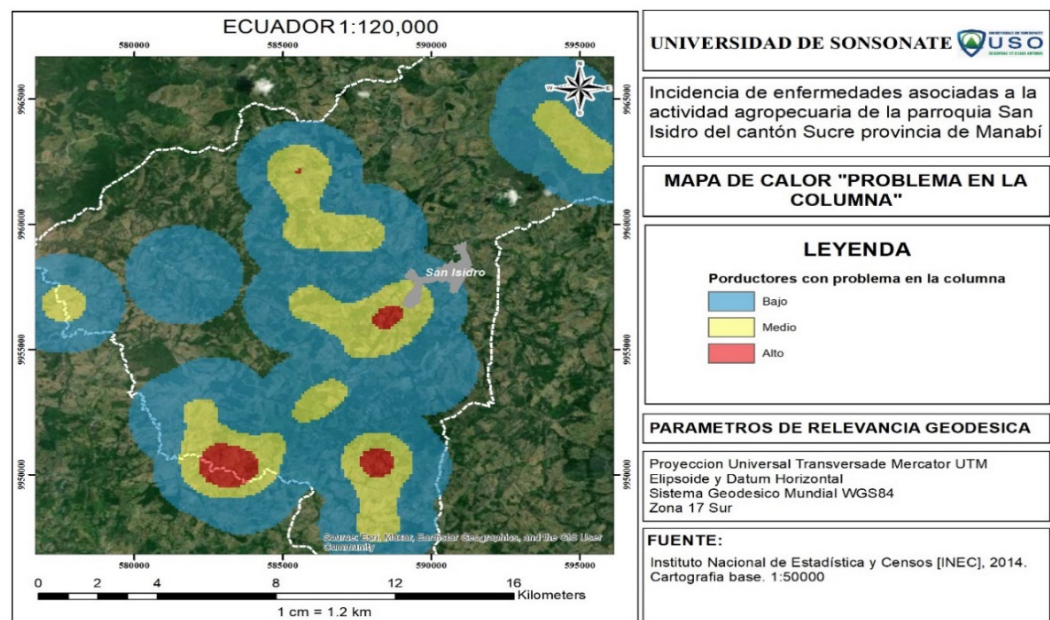


Figura 11. Mapa de calor de los productores con problemas en la columna

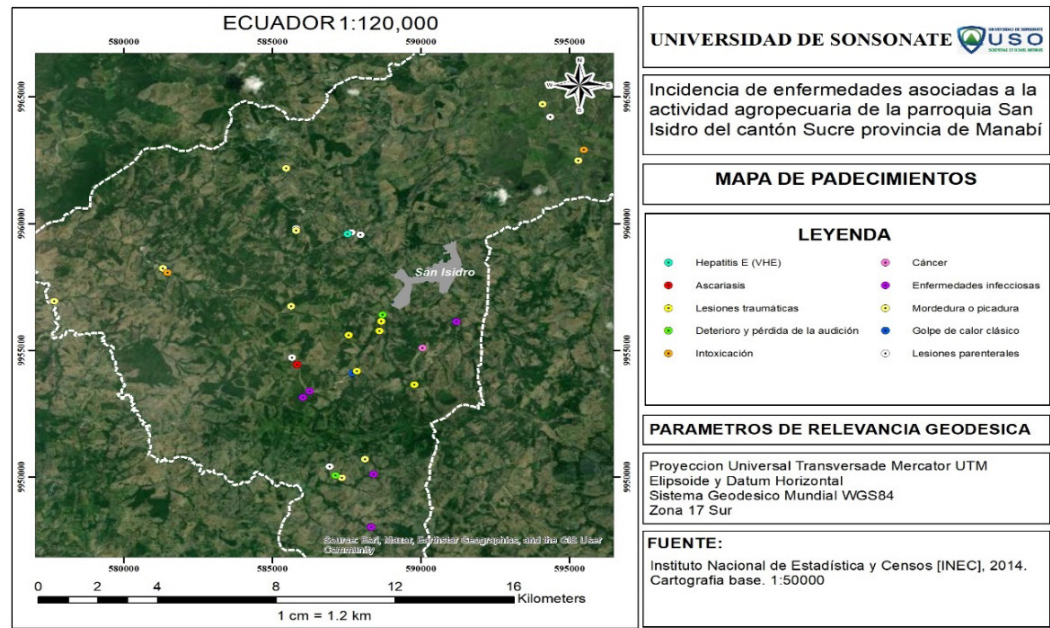


Figura 12. Distribución espacial de las enfermedades padecidas por los productores.

el 34,78% atiende este padecimiento; en su totalidad los productores que sufren lesiones parenterales (cortes, pinchazos, úlceras, llagas); el restante de las enfermedades sufridas por los productores son hepatitis e (VHE), ascariasis, lesiones traumáticas, deterioro y pérdida de la audición, intoxicación, cáncer, enfermedades infecciosas, mordedura o picadura de ciertos animales silvestres (ratas, serpientes, murciélagos, abejas), golpe de calor clásico como se visualiza en la Figura 9.

López et al. (2015) en su investigación realizada a una población agropecuaria determinó que el 80% de los agricultores no usaban equipos de protección personal y la morbilidad más frecuente fue infecciones respiratorias agudas. Mientras que Gaibor et al. (2017) expresó que agricultores de la provincia de Los Ríos-Ecuador, el 33% adquieren enfermedades respiratorias debido a los agrotóxicos y el 24% son musculares u óseas, debido a que muchos agricultores carecen de conocimiento sobre las posturas correctas, el manejo adecuado de cargas y la ergonomía en el uso de herramientas (Maradei et al., 2019).

La obtención de información a los establecimientos de salud públicos y privados de la parroquia, fue negada; sin embargo, mediante el uso de datos públicos del Ministerio de Salud (2023) se determinó que, de un total de 30 emergencias atendidas en el centro de salud tipo B San Isidro, solamente una puede ser considerada como adquirida por las actividades agropecuarias el efecto tóxico del contacto con animales venenosos, si bien existen otras emergencias como traumatismos y amputaciones no se da la certeza que se presenta por la actividad agropecuaria; tal como se evidencia en la Tabla 2.

Jiménez et al. (2016) destaca la importancia de las prácticas en el entorno laboral de los agricultores, así como la necesidad de realizar estudios que consideren los contextos regionales en los que los campesinos están expuestos al manejo de sustancias químicas. La distribución espacial de las enfermedades padecidas por los productores reveló que el contagio de influenza es alto en zonas cercanas a la cabecera parroquial, en las comunidades Cañaverale, San Pablo y Santa Clara; además, al sur las comunidades de Río Mariano, La Tola, R.M. Humedal y el R.M. Tope, como se muestra en la Figura 10.

En el caso de los problemas de columna vertebral son más frecuentes en las mismas comunidades que la influenza incluyendo la comunidad Río Mariano en Medio, R.M. Tutumbe y R.M. Aguas Turbias, todas ubicadas al sur de la parroquia como se muestra en la Figura 11, Las demás enfermedades tienen una menor frecuencia por lo que no se realizó el análisis de densidad como se muestra en la Figura 12.

Conclusión

La situación socioeconómica de la población de San Isidro revela un limitado acceso a la educación, con una prevalencia del 60,29% de nivel primario, siendo la agricultura la principal actividad económica. La atención de salud se brinda principalmente a través del sistema público y el 79,35% acuden a esta. Los servicios básicos son escasos, siendo la electricidad el único servicio ampliamente disponible. En el análisis de la distribución espacial de las enfermedades, existe alta influencia en las zonas cercanas a la cabecera parroquial, en las comunidades Cañaverale, San Pablo y Santa Clara, donde los riesgos agrícolas inciden

directamente en la prevalencia de enfermedades, siendo la influenza la más común, seguido de los problemas de columna vertebral misma que afecta al 42,39% de los productores.

Referencias bibliográficas

- Afonso, A., Montalvo, V., & Monar, C. (2014). Necesidades nutricionales de la población rural de manabí (ecuador). Un estudio de partida para el diseño de huertos familiares destinados al autoconsumo. <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/163>
- Báez, A., Piedra, J., & Zalakeviciute, R. (2021). Condiciones de trabajo asociadas a síntomas respiratorios por exposición a residuos de plaguicidas. *Cambios Rev. Mé*, 20(1), 15-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.36015/cambios.v20.n1.2021.645>
- Banco Central del Ecuador [BCE]. (2023). La economía ecuatoriana registró un crecimiento interanual de 0,7% en el primer trimestre de 2023. <https://www.bce.fin.ec/boletines-de-prensa-archivo/la-economia-ecuatoriana-registro-un-crecimiento-interanual-de-0-7-en-el-primer-trimestre-de-2023>
- Condemayta, Z., Condemayta, D., Ruelas, D., & Ibañez, V. (2018). Prevalencia de *Balantidium coli* en la población humana y porcina asociado a factores socioeconómicos y saneamiento ambiental en el Distrito de Acora Puno Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 85-94. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.332>
- Craviotti, C. (2007). Tensiones entre una ruralidad productiva y otra residencial: El caso del partido de Exaltación de la Cruz, Buenos Aires, Argentina. *Economía Sociedad y Territorio*, 6(23), 745-772. <https://doi.org/10.22136/est002007255>
- Eiros, J., & Oteo, J. (2011). Enfermedades infecciosas zoonóticas. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 29(SUPPL. 3), 51-54. [https://doi.org/10.1016/S0213-005X\(11\)70028-3](https://doi.org/10.1016/S0213-005X(11)70028-3)
- Eras, R., Lalangui, M., Cabrera, C., Espinoza, E., Vilela, A., Vilela, E., & Veledela, L. (2021). El Sector Agropecuario en el Ecuador: análisis descriptivo del impacto en la sostenibilidad por el COVID-19 / The Agricultural Sector in Ecuador: descriptive analysis of the impact on sustainability by COVID-19. *South Florida Journal of Development*, 2(3), 4105-4122. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-024>
- Fernández, L., Cabrera, S., & Rodríguez, R. (2009). Infestación de *Aedes* (St.) *aegypti* en bebederos de animales en un área de salud. *Rev Cubana Med Trop*, 61(1), 82-87.
- Gaibor, J., Bravo, E., Fierro, M. (2017). Percepción de la salud por parte de los agricultores en zonas de producción agrícolas dedicadas al monocultivo de maíz duro. Caso Cantón Ventanas, Provincia de Los Ríos-Ecuador. *Rev YACHANA*, 6(1). <http://dx.doi.org/10.1234/yach.v6i1.361>
- Ge, X., Sarkar, A., Ruishi, S., Rahman, M., Azim, J., Zhang, S., & Qian, L. (2022). Determinants of Sick and Dead Pig Waste Recycling—A Case Study of Hebei, Shandong, and Henan Provinces in China. *Animals*, 12(6), 1-20. <https://doi.org/10.3390/ani12060775>
- Gómez, J., González, D., Sotelo, M., & Martínez, Á. (2019). La Cartografía Social (Mapeo Colectivo) En un mundo globalizado: diagnóstico y reconocimiento del territorio y la problemática ambiental en el municipio de Cimitarra-Santander. *Revista CITECSA*, 11(17), 1-22. <http://search.proquest.com/openview/7767713e5f865d72a3b37d34d777aed6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2043072>
- Gong, B., Zhang, S., Liu, X., & Chen, K. (2021). The Zoonotic diseases, agricultural production, and impact channels: Evidence from China. *Global Food Security*, 28(May 2020), 100463. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100463>
- Guberti, V., Khomenko, S., Masiulis, M., & Kerba, S. (2020). Peste porcina africana en jabalíes: Ecología y bioseguridad. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO), 22. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca5987es>
- Guerrero, Y., & Gonzáez, A. (2017). Evaluación del nivel de implementación de buenas prácticas agrícolas en productores de la asociación de plataneros del municipio tame, Arauca (APTA). *Revista Digital de Semilleros de Investigación REDSI*, 4(1), 1-11.
- Guzmán, L., & Cruz, D. (2019). Enfermedades y accidentes laborales generados por factores de riesgo en la actividad agrícola. *Universidad Libre*, 8(1), 89-105. https://revistas.unilivre.edu.co/index.php/mente_joven/article/view/7556
- Hernandez, J., Jaramillo, L., Villegas, J., Álvarez, L., Roldan, M., Calle, M., Ospina, M., Martínez, L. (2020). La educación en salud como una importante estrategia de promoción y prevención. *Archivos de Medicina*, 20(2), pp. 490-504. <https://doi.org/10.30554/archmed.20.2.3487.2020>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2021). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, ESPAC 2020. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin_Tecnico_ESPAC_2020.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2023). Geografía estadística. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Geografia_Estadistica/Micrositio_geoportal/index.html
- Jiménez, C., Pantoja, A., & Leonel, H. (2016). Riesgos en la salud de agricultores por uso y manejo de plaguicidas, microcuenca “La Pila.” *Universidad y Salud*, 18(3), 417. <https://doi.org/10.22267/rus.161803.48>
- Kodols, I. (2018). Problemas ambientales y la convivencia entre usos residenciales y productivos : Hacia la sustentabilidad urbana en Roque Pérez [Universidad Nacional de la Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70810>
- López K., Pinedo C y Zambrano M. (2015). Prácticas de Salud Ocupacional y niveles de biomarcadores séricos en aplicadores de plaguicidas de cultivos de arroz en Natagaima-Tolima, *Rev. Toxicol* 32: 102-106p
- Martin, M., & Rivera, C. (2018). Desarrollo de una guía metodológica de producción más limpia, en la granja avícola de la Finca San Miguel de la Universidad de La Salle. *Ciencia Unisalle*, 35. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1815&context=ing_ambiental_sanitaria
- Maradei, F., Ardila, C., Sanobria, S. (2019). Síntomas musculoesqueléticos en las actividades de cosecha de mora de castilla de piedecuesta, Colombia. *Revista Hacia la Promoción de la Salud*. 24(2), 91-106. <https://doi.org/10.17151/hpsal.2019.24.2.8>
- Meza, Y., Castillo, M., Brochero, H., & Escamilla, M. (2022). Effects on Respiratory Health of Workers who Use Chemical Substances in their Work Environment. A Systemic Review. *Salud Uninorte*, 38(2), 560-585. <https://doi.org/10.14482/sun.38.2.616.2>
- Ministerio de Salud Pública (MSP). (2023). Información de emergencia de los establecimientos de salud del Ministerio de Salud Pública. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoieTYg3YTkwZWQOGlyNy00ODJLTk4ZmltND-MzZjU5NTYyZWQ5IiwidCI6IjcwNjlyMGRlLTliMjktNGU5M-S1h0DI1LT1NmlwNmQyNjlmMy9j&pageName=ReportSection>
- Ministerio de Educación. (2019). Educación en Territorios Rurales en Ecuador. <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Educacion-en-territorios-rurales-en-Ecuador.pdf>
- Ministerio de Educación. (2023). Estadística Educativa Vol. 4-Datos Abiertos. <https://educacion.gob.ec/datos-abiertos/>
- Mogro, E., Berrio, A., Jácome, S., Quevedo, K., & Epeda, V. (2020). Caracterización De Fincas Agropecuarias De El Tingo La Esperanza / Pujilí / Cotopaxi / Ecuador. *Ecología Aplicada*, 19(2), 49. <https://doi.org/10.21704/rea>

- v19i2.1555
- Moreno, G., Moya, A., Intriago S y Arias, R. (2024). Estrategias para mejorar la calidad de la educación en zonas rurales de Ecuador. *Revista Latina Ciencia Multidisciplinar*. 8(2), 2926-2943. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10724
- Onyimony, A., Machebe, S., & Ugwuoke, J. (2013). Statutory regulations of dead animal carcass disposal in Nigeria: A case study of Enugu State. *African Journal of Agricultural Research*, 8(12), 1093-1099. <https://doi.org/10.5897/ajar12.1904>
- Özliü, H., Atasever, M., & Atasever, M. (2020). Knowledge, attitude, and practices of cattle farmers regarding zoonotic diseases in Erzurum, Turkey. *Austral Journal of Veterinary Sciences*, 52(3), 79-85. <https://doi.org/10.4067/S0719-81322020000300079>
- Pinargote, V., Posligua, J., & Loor, P. (2019). Manabí: territorio de producción hacia la industrialización. ¿cómo aprovechar su productividad? *Revista Ciencia e Investigación*, 4(3), 44-51. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.3280927>
- Princich, L., & Pérez, P. (2018). Tipificación de los sistemas de producción de cabañas de ganado bovino de carne en Formosa, Argentina. *Recría y terminación de toros. Rev. Agron. Noroeste Argent*, 38(2), 124-155.
- Pulido, A., Castañeda, R., Márquez, A., Martínez, J., Martínez, D., & Palencia, F. (2022). Risk factors associated with zoonotic diseases derived from pig production: A scoping review. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 33(2), 1-17. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i2.22591>
- Quintero, E., de la Mella, F., Gómez, L. (2017). La promoción de la salud y su vínculo con la prevención primaria. *Medicent Electrón.* 1(2), 101-111. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30432017000200003
- Reyes, S., Micaela, D., & Ccoa, C. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad Effects of intensive agriculture and climate change on biodiversity Sección: Artículo de revisión. *Revista de Investigaciones Altoandinas-Journal of High Andean Research*, 24(1), 53-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Slingenbergh, J., Gilbert, M., Balogh, K. De, & Wint, W. (2004). Ecological sources of zoonotic diseases. *Revue scientifique et technique-Office international des épizooties. International Technical and Scientific Journal - Office of Epizooties .*, 23(2), 467-484. [http://www.fao.org/avianflu/conferences/rome_avian/documents/Ecological sources of zoonotic diseases.pdf](http://www.fao.org/avianflu/conferences/rome_avian/documents/Ecological%20sources%20of%20zoonotic%20diseases.pdf)
- Tafur, M. (2023). Diagnóstico de buenas prácticas pecuarias en producción porcícola—Finca Villa Nancy municipio de Ibagué departamento del Tolima [Universidad Nacional Abierta a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55189>
- Terra, K., Bunn, D., Joshi, N., Grooms, D., Devkota, D., Devkota, N., Paudel, L., Roug, A., Wolking, D., & Mazet, J. (2018). Awareness and practices relating to zoonotic diseases among smallholder farmers in Nepal. *EcoHealth*, 15(3), 656-669. <https://doi.org/10.1007/s10393-018-1343-4>
- Torres, M., Paz, K., & Salazr, F. (n.d.). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02_DETERMINACION_TAMAÑO_MUESTRA.pdf
- Viera, W., Tello, C., Martínez, A., Navia, D., Medina, L., Delgado, A., Perdomo, C., Pincay, A., Báez, F., Vásquez, W., & Trevor, J. (2020). Biological Control: A tool for sustainable agriculture, with a point of view of its benefits in Ecuador Editado por: Selva Andina Research Society. *Journal of the Selva Biosphere*, 8(2), 128-149.

Uso de la cáscara de banano para la remoción de cobre (II) en soluciones acuosas

Use of banana peel for the removal of copper (II) in aqueous solutions

César Damian Zambrano Bazurto¹, Segundo Alcides García Muentes¹
& Ramón Eudoro Cevallos Cedeño¹

¹Universidad Técnica de Manabí, Av. José María Urbina y Che Guevara, Portoviejo, Manabí

Recibido 01 agosto 2024, aceptado 11 octubre 2024, en línea 07 diciembre 2024

Resumen

En la actualidad, la presencia de metales pesados en el agua constituye una preocupación ambiental en potencia, debido a los efectos perjudiciales que pueden tener en la salud humana por el nivel de toxicidad que poseen. La materia prima para la obtención del bioadsorbente fue cáscara de banano (*Musa paradisiaca*); se aplicaron las operaciones unitarias, las mismas que consistieron en: limpieza, secado, molienda y una caracterización al bioadsorbente obtenido. Se realizó la determinación de los espectros FT-IR, un análisis bromatológico y organoléptico: lignina, hemicelulosa, color, olor y un análisis físico químico que comprendió: humedad y cenizas según lo estipulado por la norma ASTM D5630-13 Y ASTM D-4607. El desarrollo de los ensayos de adsorción se llevó a cabo a través de ensayos en sistema discontinuo, utilizando cuatro muestras, una concentración inicial de 0,93 mg/L, un pH de 5,4, y cuatro tiempos de contacto (45 min, 60 min, 120 min y 240 min), teniendo el mayor porcentaje de remoción en la M3 a los 120 min de 90,33%. En conclusión, se disminuyó el porcentaje de Cu (II) presente en las disoluciones con sulfato de Cobre (II) pentahidratado utilizando cáscara de banano como bioadsorbente y sobre todo se demostró que los desechos agrícolas como cáscaras de banano pueden servir en la mitigación de aguas contaminadas y aprovechamiento de desechos.

Palabras Clave: Remoción, bioadsorción, metales pesados, contaminación.

Abstract

Currently, the presence of heavy metals in water constitutes a potential environmental concern, due to the harmful effects they can have on human health due to the level of toxicity they have. The raw material to obtain the bioadsorbent was banana peel (*Musa paradisiaca*); The unit operations were applied, which consisted of: cleaning, drying, grinding and a characterization of the bioadsorbent obtained. The determination of the FT-IR spectra, a bromatological and organoleptic analysis were carried out: lignin, hemicellulose, color, odor and a physical-chemical analysis that included: humidity and ash as stipulated by the ASTM D5630-13 and ASTM D-4607 standards. . The development of the adsorption tests was carried out through batch system tests, using four samples, an initial concentration of 0.93 mg/L, a pH of 5.4, and four contact times (45 min, 60 min, 120 min and 240 min), having the highest removal percentage in the M3 at 120 min of 90.33%. In conclusion, the percentage of Cu (II) present in the solutions with Copper (II) sulfate pentahydrate was reduced using banana peel as a bioadsorbent and, above all, it was demonstrated that agricultural waste such as banana peels can serve in water mitigation. contaminated and use of waste.

Keywords: Removal, bioadsorption, heavy metals, contamination

Introducción

El agua, es un elemento esencial en la vida humana, además de su interconexión en diferentes áreas, como: la salud, los alimentos, la energía y la economía (Reyes, y otros 2006). Del agua que dispone

el planeta, apenas un 0.025% es considerada apta para el consumo humano y los ecosistemas; sin embargo, sus fuentes sufren las consecuencias de la contaminación atribuida principalmente a actividades antropogénicas (CNA 2012). Según la Organización

* Correspondencia del autor:

E-mail: goroe40@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

de las Naciones Unidas (ONU s.f.), la presencia de componentes químicos o de otra naturaleza en una densidad superior a la situación natural, como los microorganismos, los metales pesados o los sedimentos, degradan la calidad del agua.

La presencia de metales pesados en el agua constituye un significativo problema ambiental, ya que puede generar efectos tóxicos perjudiciales para la salud humana (Verdugo 2017). Por lo general, los metales pesados no son eliminados de los ecosistemas acuáticos a través de procesos naturales, ya que no son biodegradables (Pabón, y otros 2020).

En la actualidad, existen numerosas clases de contaminantes de origen antrópico; entre los más comunes se encuentran el plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Estos, son componentes tóxicos que se acumulan en el organismo de los seres vivos por medio de inhalación, al alimentarse y al consumir agua (Londoño, Londoño y Muñoz 2016). El cobre, tiene una enorme aplicación en la industria y por el manejo inadecuado de los desechos residuales, concentraciones de este metal se depositan en fuentes de agua. Esto se debe a que las paredes celulares de estas biomásas contienen proteínas, lípidos y polisacáridos, que presentan una variedad de grupos funcionales. Entre estos grupos se encuentran los amino, carboxilo, fosfato, hidroxilo, sulfato y tiol (Fernandez, y otros 2020).

Una alternativa para tratar aguas contaminadas por metales pesados es la bioadsorción, por medio de biomateriales como cáscara de frutas, y que a su vez contribuyen en el reciclado de los mismos, ya que, muchas veces terminan como desechos que se queman o acumulan (Bustamante y Salazar Villaroel 2023). Esto se debe a que las paredes celulares de estas biomásas contienen proteínas, lípidos y polisacáridos, que presentan una variedad de grupos funcionales. Entre estos grupos se encuentran los amino, carboxilo, fosfato, hidroxilo, sulfato y tiol (Fernandez, y otros 2020).

La bioadsorción, es una tecnología que consiste en la captación de metales mediante una biomasa a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. La utilización de residuos agrícolas disponibles se presenta como una opción viable para la remediación de metales pesados, dado que son considerados una fuente relevante para el proceso de adsorción (López y Lacayo 2020).

La industria bananera genera millones de toneladas de cáscaras como desecho, en nuestro medio; este residuo, no es aprovechado a plenitud. Varios autores han evidenciado que la cáscara de banano posee una alta capacidad bioadsorbente de metales pesados; su estructura química se encuentra formada principalmente por lignina. Su superficie está cargada negativamente debido a los grupos carbonilo e hidroxilo, los cuales favorecen la captación de metales pesados por el ya mencionado mecanismo de

adsorción (Bonilla, Calderón y Armijos 2015).

En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de la cáscara de banano para la remoción de cobre (II) en soluciones acuosas, proporcionando las condiciones adecuadas de operación que influyen en la bioadsorción, tales como: pH, dosis de biomasa, tiempo de contacto y la comprobación de la efectividad en el proceso de remoción.

Materiales y Métodos

La materia prima empleada para la obtención del bioadsorbente fue la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) suministrada por una chiflería local; la misma fue sometida a través de las siguientes etapas descritas en la (tabla 1) para su posterior caracterización y aplicación.

Preparación de la biomasa

Selección de la materia prima: Se seleccionó las cáscaras de banano que estuvieran en buen estado, para evitar su pronta degradación.

Limpieza: Se siguió la metodología expuesta por Arias (2019), donde se sumergieron las cáscaras de banano en una solución de NaClO (hipoclorito de sodio). Se realizaron lavados con agua destilada para la eliminación de posibles impurezas y compuestos solubles como resinas, taninos y agentes colorantes.

Secado: Las muestras fueron llevadas a la estufa (Helos heat, modelo H055N), a una temperatura de 105 °C durante 24 h.

Molienda: Se llevó las muestras al molino eléctrico modelo M-12, con un disco de abertura de 5,5 mm y una velocidad de rotación de 1700 rpm. El bioadsorbente obtenido correspondió a la fracción entre 0,300 mm - 0,420 mm y fue reservada en frascos color ámbar herméticamente cerrados.

Caracterización del bioadsorbente

Se realizó la determinación de los espectros FT-IR por medio del laboratorio de Química A-210 de la Universidad Central del Ecuador; un análisis bromatológico: lignina, hemicelulosa, un análisis organoléptico: color (método cualitativo), olor (método sensorial) y un análisis físico químico que comprendió: humedad (mediante el método de termobalanza marca BOECO, modelo BMA150) y cenizas (método de calcinación) según lo estipulado por la norma ASTM D5630-13 Y ASTM D-4607.

Preparación de solución estándar

Las disoluciones de Cu (II) se prepararon a partir de Sulfato de Cobre (II) pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) grado analítico Merck. Se preparó una solución estándar, la misma que se elaboró pesando 0,254 g Cu (II) en 1000 mL H_2O .

La ejecución de los experimentos de adsorción se llevó a cabo mediante procesos de sistema discontinuos a temperatura ambiente, para los cuales se utilizó

100 mL de solución para cada muestra a partir de la solución estándar a diferentes concentraciones. El sólido adsorbente se pesó e introdujo en un vaso de precipitación que previamente contenía la disolución de cobre a la concentración deseada. La solución se puso en contacto mediante agitación magnética a 1700 rpm durante un tiempo de 45 min, 60 min, 120 min y 240 min, correspondientes al tiempo de equilibrio.

El pH de las disoluciones se controló mediante la adición de HCl para garantizar un pH constate en todo momento con la utilización de un potenciómetro (Multifunction, modelo EZ-9902). Luego del tiempo de adsorción, se determinó la concentración final del metal presente en la fase líquida con la utilización de un checker hanna (modelo HI1702, copper HR).

Los ensayos se realizaron por triplicado. El porcentaje de remoción del metal por el bioadsorbente se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ remoción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

Donde Co (mg L-1) y Cf (mg L-1) corresponden a la concentración inicial y final del ión metálico después de la adsorción respectivamente (Rodríguez , y otros 2016).

Análisis estadístico

Se utilizó como prueba paramétrica la ANOVA, además de un procedimiento para determinar la normalidad de los datos, mismos que son descritos a continuación: Para asegurar la validez de los análisis realizados, se

verificaron los supuestos de la normalidad de los datos previo a la aplicación de la ANOVA de dos factores, mediante la prueba de Shapiro-Wilk, esto debido al tamaño de muestra. La misma fue realizada en Statgraphics Centurion XVIII, teniendo como hipótesis nula: que los datos siguen una distribución normal, y como hipótesis alternativa que los datos no tienen una distribución normal.

Se aplicó una ANOVA de dos factores con varias muestras (4 muestras) por grupo (4 grupos), el software utilizado fue Statgraphics Centurion XVIII, los dos factores incidentes en el porcentaje de remoción evaluado fueron la cantidad de bioadsorbente y el tiempo de contacto. El pH y la concentración inicial de la disolución al ser valores fijos sin variación en todos los ensayos no fueron tomados en cuenta para este análisis.

Se omitió la aplicación de un análisis post hoc, debido a que este es útil cuando se usan más de dos factores, en este caso al ser dos la incidencia se pudo interpretar directamente sin necesidad de análisis adicionales.

Se aplicó una herramienta de estadística descriptiva para plantear de manera visual la comparación entre el porcentaje de remoción de las muestras vs tiempo, mediante un gráfico de barras, el software utilizado fue Microsoft Excel. En primera instancia se recolectaron los datos, se procesaron y posteriormente se seleccionó el gráfico de barras debido a su utilidad para comparar valores entre algunas categorías.

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos, bromatológicos y organolépticos

Parámetros	Método	%	Reportado por otros autores (%)	Fuente
Contenido de cenizas	Calcinación	10,2	11,37	(Monsalve, Medina y Ruiz 2022)
Humedad	Termobalanza	85	89,1	
Lignina	ANKOM	14,20	-	-
Hemicelulosa	ANKOM	12,04	-	-
Color	Observación bajo luz natural	Verde intenso	-	-
Olor	Sensorial	Olor suave y aromático/frutal	-	-

Nota: En la tabla 1, se describen los resultados obtenidos respecto a la caracterización de la muestra de cáscara de plátano y su comparación con los resultados reportados por otros autores en donde se utilizó este modelo de estudio.

Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos experimentalmente del trabajo de investigación analizando la cáscara de banano como bioadsorbente; los datos se muestran en las siguientes tablas y figuras:

En la Tabla 1, se presentan los análisis fisicoquímicos, bromatológicos y organolépticos de la cáscara de banano. Los parámetros evaluados incluyen el contenido de cenizas, humedad, lignina y hemicelulosa. El contenido de cenizas determinado por calcinación fue del 10,2%, valor que se compara con el 11,37% reportado por otros autores (Monsalve, Medina y Ruiz, 2022). La humedad medida por termobalanza resultó ser del 85%, ligeramente inferior al 89,1% encontrado en estudios previos. Los contenidos de lignina y hemicelulosa, determinados mediante el método ANKOM, fueron de 14,20% y 12,04%, respectivamente, aunque no se encontraron datos comparativos en la literatura revisada. Adicionalmente, se observó que la cáscara de banano presenta un color verde intenso, el mismo puede variar dependiendo del nivel de maduración que tenga la fruta. Una vez pulverizada, la cáscara toma un color marrón verdoso. De la misma manera el olor presente en la cáscara de banano fue suave y aromático frutal, característico de la etapa inicial de maduración en la que se utilizó.

El espectro FT-IR que se muestra en la figura 1 muestra la presencia de varios grupos funcionales en la cáscara de banano pulverizada, como grupos hidroxilo (O-H), carbonilo (C=O), y grupos aromáticos (C=C). Los grupos mencionados son conocidos por sus capacidades de interacción con una gran variedad de sustancias químicas a través de enlaces de hidrógeno e interacciones dipolo-dipolo, lo cual contribuye a mejorar la eficacia de la cáscara de banano como bioadsorbente.

Por lo tanto, la presencia y distribución de estos grupos funcionales en el espectro FT-IR confirman la capacidad de la cáscara de banano pulverizada para adsorber contaminantes como metales pesados.

Tabla 2. Resultados posteriores a la aplicación del bioadsorbente

Tiempo (min)	Porcentaje de remoción alcanzado (%)				Ci (mg/L)	pH	Color
	M1 (3g)	M2 (5 g)	M3 (10 g)	M4 (20 g)			
45	60,66	67,8	75,93	79,53	0,93	5,4	Ligeramente amarillo- marrón
60	54	78,06	80,66	82,66			
120	78,66	83,66	90,33	83,66			
240	74,33	79,33	83,66	88,33			

Nota: En la tabla 2, se describen los resultados correspondientes a la aplicación del bioadsorbente con respecto a las variables utilizadas que influyen en el proceso; pH, tiempo de contacto, cantidad del bioadsorbente, color de las muestras en contacto con el bioadsorbente, concentración inicial (Ci) y porcentaje de remoción alcanzado para cada muestra.

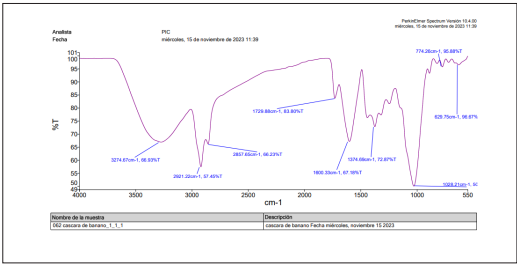


Figura 1. Porcentaje de remoción de Cu (II) con cáscara de banano (Musa paradisíaca) obtenido de cada muestra (g de bioadsorbente) vs el tiempo de contacto (min) para cada ensayo

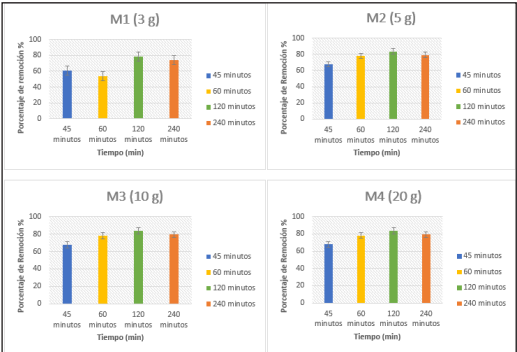


Figura 2. Espectro FT-IR de la cáscara de banano pulverizada, en donde %T (eje y) expresa el porcentaje de transmitancia y cm-1 (eje x) el número de onda

En la tabla 2, se aplicaron 4 tiempos para el ensayo de bioadsorción, con una dosis de biomasa (M1, M2, M3, M4) diferentes para cada tiempo expresadas en g, se proponen las medias del porcentaje de remoción obtenido para cada ensayo. Las soluciones tuvieron una concentración inicial de 0,93 mg/L de . y a su vez un pH constante de 5,4 en todos los ensayos, dichos valores fueron fijados en concordancia con lo aconsejable por bibliografía previamente consultada sobre investigaciones similares a esta.

Tabla 3. Análisis de Varianza de dos factores

ANOVA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad (Gl)	Promedio de los cuadrados	Probabilidad	Valor crítico para F
Cantidad de bioadsorbente	2102,21333	3	700,737778	1,9967E-13	2,901119584
Tiempo de contacto	1373,30667	3	457,768889	5,276E-11	2,901119584
Interacción	676,813333	9	75,2014815	2,6052E-05	2,188765768
Dentro del grupo	361,733333	32	11,3041667		
Total	4514,06667	47			

El color de la solución cambió ligeramente tras la adición del bioadsorbente, pasando de un tono ligeramente amarillento a un tono ligeramente marrón conforme se incrementaba la cantidad de bioadsorbente y el tiempo de contacto.

La prueba de normalidad previo a la ANOVA, nos sirvió para saber si los datos que íbamos a procesar cumplían con la normalidad establecida, se obtuvo un W: 0,97 y un P-valor de 0,11. Debido a que el valor de P es mayor a 0,05 la hipótesis nula no se rechaza, significando que los datos cumplen con una distribución normal, por lo que se consideró apropiado seguir con la elaboración de la ANOVA.

La tabla 3 ANOVA, descompone la varianza de los datos en 3 componentes: la cantidad de bioadsorbente, el tiempo de contacto y la interacción entre ellos. Además, el valor de la probabilidad de la prueba-F de cada uno de los componentes es relativamente muy inferior a 0.05% que es el nivel de significancia, el cual al ser comparados conlleva a la afirmación que existen diferencias significativas en el proceso.

En la figura 2 se muestra el porcentaje de remoción de Cu (II) con cáscara de banano para cada muestra en función del tiempo, se puede visualizar barras de error, mismas que exponen la confianza en las medidas de % de remoción. Se observa que a medida que aumenta la cantidad de bioadsorbente aplicado de la M1, M2, M3 y M4, el porcentaje de remoción inicial también aumenta. En todos los ensayos el porcentaje de remoción es exponencial con respecto al tiempo. Las muestras con mayor cantidad de bioadsorbente M3 y M4 indican resultados más persistentes con lo cual dichas condiciones podrían ser las más efectivas para la remoción de Cu (II) en tiempos más cortos comparadas con las muestras M1 y M2. La variabilidad presentada en las muestras M1 y M2 podría indicar que estas condiciones son más sensibles a cambios en el proceso o que existen otros factores no controlados que afectan la remoción en estos puntos. Lo planteado nos demuestra que, aunque el tiempo es un factor crucial, si el porcentaje de bioadsorbente no es controlado el ensayo no lograra una alta bioadsorción de Cu (II) en aguas contaminadas.

Discusión

El contenido de cenizas obtenido (tabla 1.), fue de 10,2%, el mismo que se consideró óptimo para la utilización del bioadsorbente; un valor elevado, sería contraproducente para el proceso de adsorción. Otros autores obtuvieron en su investigación un valor similar de 11,37% (Monsalve et al. 2022) utilizando también como biomasa cáscara de banano pulverizada.

En cuanto al porcentaje de humedad, se reportó un valor de 85%, el mismo que pese a ser un porcentaje alto no influyó en el rendimiento del bioadsorbente. Otros autores han reportado porcentajes de humedad mayor del 89,1% (Monsalve et al. 2022) esto se puede dar por muchos factores, el más recurrente es debido a la calidad de cáscaras de banano utilizadas; si estas tienen un índice de degradación considerable, la humedad será mayor, y, esto deriva en que la materia orgánica se degrade y el bioadsorbente tienda a ser contaminado con moho u otro tipo de microorganismo. El porcentaje de lignina obtenido fue de 14,20%, siendo este parámetro de suma importancia para el proceso de bioadsorción. En investigaciones vinculadas emplearon lignina como un adsorbente eficaz de metales pesados, así lo establecen autores que afirman que utilizar lignina o biomasa rica en este polímero deriva en un proceso de adsorción eficaz, debido a que esta contiene grupos funcionales que le confieren una gran capacidad de intercambio iónico (Crist, Crist y Martin 2018). Respecto al análisis de hemicelulosa se obtuvo un 12,04%. Citando a (Salman, Athar y Farooq 2015), dichos autores evidenciaron que, debido a su alta riqueza en grupos funcionales, los materiales lignocelulósicos se ofrecen como materias primas más eficaces en la eliminación de aguas contaminadas de metales pesados, como es el caso del planteado en esta investigación.

El análisis de los grupos funcionales presentes en la superficie de la cáscara de banano se determinó mediante FT-IR. En la figura 1, se puede observar que los picos muestran un incremento en la intensidad de las bandas a excepción del pico comprendido en los

enlaces carbono e hidrógeno que aparecen entre la región 1729,88 a 2857,65 cm^{-1} . El pico ancho obtenido en 3274,67 cm^{-1} corresponde a las vibraciones O-H, esto, producto del estiramiento de alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos que se encuentran presentes en la pectina, celulosa y lignina, estableciendo hidroxilos libres, tal como lo menciona (Castro 2015). El pico alrededor de 2921,22 cm^{-1} ocurre en las vibraciones C-H de grupos metoxi, mientras que el pico observado en 1600,33 cm^{-1} hace referencia al estiramiento del enlace carbonilo ($\text{C}=\text{O}$), que puede ocurrir debido a las vibraciones de los grupos carboxilos presentes en la pectina y la lignina. Finalmente, los picos alrededor de 1028,21 cm^{-1} corresponden al estiramiento de enlaces C-O, correlacionado con lo expuesto por (Morón, 2018). En relación autores como afirman que la complejación de la superficie, la precipitación química y el intercambio iónico son responsables en la adsorción, éste último gracias a un gran número de grupos funcionales presentes como -OH, -CO, mismos que también se encuentran en un gran porcentaje en frutas como el coco (Fernandez, y otros 2020).

En cuanto a los ensayos de bioadsorción se obtuvo que en la M3 (10 g) se obtuvo el mayor porcentaje de remoción de Cu (II) en la matriz acuosa, teniendo un 90,33% en un tiempo de 120 min. Autores como Ahmad y Danish (2018), alcanzaron en su investigación una remoción del 98% con un tiempo de contacto de 60 minutos para su muestra utilizando una cantidad de bioadsorbente de 15 g aproximadamente. Esto nos rectifica que el porcentaje de remoción que obtuvimos fue óptimo utilizando menos biomasa y aplicando un mayor tiempo de contacto. Adicionalmente, en todas las muestras a partir de los 120 min el porcentaje de remoción no tenía un incremento significativo (Tabla 2); por tanto, se establece que a partir de este tiempo el adsorbente llegó a su pico tope de saturación con respecto a la concentración de la disolución.

Influencia del pH

Se trabajó con un pH de 5,4 para todas las muestras, debido a que existe evidencia científica que afirma que un rango de pH entre 3-5 favorece a un alto rendimiento en el proceso de bioadsorción. En relación a esto autores como Calero y otros (2011), en su investigación sobre adsorción de cobre (II) afirman que a partir de pH 5, la concentración de cobre en disolución comienza a disminuir debido a la precipitación del cobre en forma de CuO . A su vez los autores López y Lacayo (2020) evidenciaron en su investigación de remoción de Cromo hexavalente con cáscara de banano que al aumentar el pH se incrementa las concentraciones de los iones OH- induciendo cambios en la superficie de adsorbente, impidiendo la bioadsorción de los iones de cromo cargados negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal.

Influencia del tiempo de contacto y cantidad de bioadsorbente

La cantidad de adsorbente es uno de los factores que va a limitar hasta cierto punto la concentración

del metal que se adsorbe; dicho de otra manera, a mayor cantidad de adsorbente, teóricamente se debería tener una mayor adsorción (Vijayaraghavan y Balasubramanian 2015). En relación a lo expuesto, dichos autores afirman que la bioadsorción de metales pesados usualmente se completa en un intervalo de tiempo corto, logrando el equilibrio en pocas horas. Como se muestra en la Figura 2. El efecto de la dosis del adsorbente en los ensayos, muestra que la eliminación del cobre (II) fue alta con una dosis de 3 g de adsorbente y aumentó gradualmente con el aumento de la dosis a 20 g del bioadsorbente empleado. Es de saber científico que las cáscaras de frutas son ricas en pectinas, por lo que el mecanismo de bioadsorción de metales en pectinas procedentes de cítricos está condicionada principalmente por la cantidad de grupos de ácidos carboxílicos presentes, los mismos que reflejan una mayor cantidad de pectina cuando hay un bajo grado de metoxilación y una menor cantidad cuando el grado de metoxilación es alto (García Villegas, y otros 2011).

La tabla 3 muestra la prueba de significancia Anova con dos factores, estos fueron propuestos obviando el pH y la concentración inicial, ya que estos últimos eran valores fijos en los ensayos. Dichos factores presentan diferencias estadísticamente significativas entre sus medias, lo que propone que tienen una influencia relevante en el proceso de remoción de Cu (II). En la investigación de Ríos (2014) acerca de la cinética de arsénico utilizando cáscara de banano como bioadsorbente se determinó que no existió diferencia significativa ($p > 0,05$) entre los tratamientos estudiados: concentración de bioadsorbente y granulometría, sin embargo, dicho estudio no tomo como variable el tiempo de contacto, mismo que si tiene una influencia en el % de remoción de metales como el Cu (II).

Conclusión

Se disminuyó el porcentaje de Cu (II) presente en las disoluciones con sulfato de Cobre (II) pentahidratado utilizando cáscara de banano como bioadsorbente teniendo una concentración inicial de 0,93 ppm. Los ensayos de bioadsorción mostraron que tanto el tiempo de contacto como la cantidad de bioadsorbente son factores críticos que influyen significativamente en la eficiencia y eficacia del proceso. Se observó una alta capacidad de remoción del contaminante, alcanzando hasta el 90,33% de eliminación de Cu (II) bajo las condiciones de 120 min, 10 g de bioadsorbente. La aplicación de ANOVA (Tabla 2) comprobó la significancia de las variables estudiadas con respecto a su influencia en la remoción del metal.

Es importante realizar futuros estudios analizando la cinética de adsorción con cáscaras de diferente origen y que a su vez tengan un alto porcentaje de material lignocelulósico, esto aplicado a otro tipo de metales pesados que actualmente son una problemática ambiental. La bioadsorción utilizando residuos

agrícolas como es la cáscara de banano no solo brinda una solución eficiente, sino que también contribuye a que estos desechos puedan tener otro uso que no sea la basura. Este enfoque podría tener aplicaciones prácticas en la mitigación de aguas contaminadas por metales pesados y difundir estrategias más sostenibles para el manejo de residuos agrícolas que no tienen más valor agregado.

Referencias Bibliográficas

- Ahmad, T, y M Danish. «Prospects of banana waste utilization in wastewater.» A review. *Journal of Environmental Management*, n° 206 (2018): 330-348.
- Bonilla, Calderón, y Armijos. «Efecto de tres pre-tratamientos de cáscara de banano para la obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis enzimática.» *Avances en Química* 10, n° 1 (2015): 79-82.
- Bustamante, J, y S Salazar Villaroel. «Evaluación del efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto en la remoción de metales pesados plomo (pb) y mercurio (hg) presentes en aguas contaminadas utilizando cáscara de naranja (citrus sinensis) como absorbente natural.» 2023.
- Calero, M, F Hernáinz, G Blázquez, E Dionisio, y M A Martín-Lara. «Evaluación de la bioadsorción de cobre con cáscara de almendra.» *Afinidad* 68 (2011): 554.
- Castro, B. «Uso de la cáscara de banano (Musa Paradisiaca) maduro deshidratada.» Tesis de Grado , 2015.
- CNA, Comisión Nacional del Agua. «Estadísticas del Agua en México, 2011.» *Agua en el Mundo*, 2012.
- Crist, D, R Crist, y J Martin. «A new process for toxic metal uptake by a kraft lignin.» *Journal of chemical technology and biotechnology*, 2018: 199.
- Fernandez, M, y otros. «Remoción de metales pesados desde efluentes mineros, mediante cáscaras de frutas.» *Aibi Revista De investigación, administración E ingeniería* 1, n° 8 (2020): 21-28.
- García Villegas, V R, A G Yipmantin Ojeda, E G Guzmán Lezama, R Pumachagua Huertas, y H J Maldonado García. «Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo reticulada proveniente de cáscaras de cítricos.» *Revista de la Sociedad Química del Perú* 77, n° 3 (2011): 173-181.
- Londoño, L., P. Londoño, y F. Muñoz. «Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal.» *SciELO XIV*, n° 2 (2016): 145-153.
- López, M, y M Lacayo. «Remoción de cromo hexavalente en aguas contaminadas utilizando cáscara de plátano (Musa paradisiaca) como adsorbente.» *Torreón Universitario VIII*, n° 23 (2020): 73-83.
- Monsalve, J, V Medina, y A Ruiz. «Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca.» 73, n° 150 (2022): 21-27.
- Morón, E. «La cáscara de plátano como adsorbente de metales pesados.» 2018.
- ONU. «Organización de las Naciones Unidas .» s.f.
- Pabón, S., R. Benítez, R. Sarria, y J. Gallo. «Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción.» *Una revisión, Entre Ciencia e Ingeniería XIV*, n° 27 (2020): 9-18.
- Reyes, Yuliet C, Omar Torres, Mercedes Díaz, y Edgar Gonzalez. «Heavy metals contamination: implications for health and food safety.» *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo XVI*, n° 2 (2006): 66-77.
- Ríos Elizalde, P. E. Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo. Bachelor's thesis, Machala: Universidad Técnica de Machala, 2014.
- Rodríguez , M, S Flores, M Rangel , y A Argotte. «Remoción de cobre (II) en sistemas acuosos usando cápsulas de moringa oleífera: influencia del pH.» *Acta Microscópica* 25, n° 1 (2016): 28-38.
- Salman, M, M Athar, y U Farooq. «Biosorption of heavy metals from aqueous solutions using indigenous and modified lignocellulosic materials.» *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, n° 14 (2015): 211-228.
- Verdugo, J. «Bioadsorción de iones plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de mandarina (Citrus Reticulatavar.Clementina).» Repositorio de la Univeridad Politécnica Salesiana, 2017.
- Vijayaraghavan, K, y R Balasubramanian. «Is biosorption suitable for decontamination of metal-bearing wastewaters? A critical review on the state-of-the-art of biosorption processes and future directions.» *Journal of environmental management*, n° 160 (2015): 283-296.

Evaluación del estrés en peces de Latinoamérica a través de la respuesta en los niveles de cortisol

Stress assessment in Latin American fish through cortisol response levels

Geovanna Parra-Riofrío^{1,2,3*}, Gabriel Vaca Nuñez^{1,2}, Antonio Torres Noboa¹

1Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, 090601 Guayaquil, Ecuador.

2Laboratorio de Acuicultura, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, 090601 Guayaquil, Ecuador.

3Departamento de Acuicultura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

Recibido 01 agosto 2024, aceptado 11 octubre 2024, en línea 07 diciembre 2024

Resumen

Los peces enfrentan factores estresantes que alteran su homeostasis y capacidad de adaptación en ambientes naturales y de cautiverio, en este ámbito el cortisol es un glucocorticoide liberado por el eje hipotálamo-hipófisis-interrenal, mismo que es clave en la respuesta al estrés, relacionado a su supervivencia. El objetivo de esta revisión fue analizar el estrés en peces de Latinoamérica y la respuesta de cortisol. El análisis mostró que los estudios se han realizado en Brasil 77%, Colombia 10%, y Ecuador, México, Uruguay y Chile, con un 3% respectivamente. Se reportan 13 especies estudiadas que corresponden a: *Brycon amazonicus*, *B. cephalus*, *Piaractus mesopotamicus*, *P. brachypomus*, *Colossoma macropomum*, *Rhamdia quelen*, *Pimelodus maculatus*, *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, *Morone saxatilis*, *Arapaima gigas*, *Austrolebias reicherti* y *Salmo salar*. Las especies de peces analizadas en Latinoamérica son en su mayoría nativas, con factores de estrés como la hipoxia, persecución, transporte y manipulación, que aumentan los niveles de cortisol. Es importante señalar que los anestésicos químicos como MS-222, que a pesar que disminuyen el estrés, afectan procesos como la reproducción. Sin embargo, el uso de aceites esenciales como el aceite de clavo de olor o β -glucanos, ayudan a reducir los índices de estrés, podrían ser una alternativa sin efectos negativos sobre algunas funciones fisiológicas.

Palabras clave: peces, Latinoamérica, cortisol, estrés.

Abstract

Fish, both wild and farmed, face stress factors that alter their homeostasis and ability to adapt in natural and captive environments, putting their survival at risk. Pollution and changes in water quality affect their health and response to stress. In this area, cortisol is a glucocorticoid released by the hypothalamic-pituitary-interrenal axis, which is key in the response to stress and everything related to its survival. The objective of this review was to analyze stress in fish from Latin America and the cortisol response. The analysis showed that the studies have been carried out in Brazil 77%, Colombia 10%, and Ecuador, Mexico, Uruguay and Chile, with 3% respectively. 13 studied species are reported, corresponding to: *Brycon amazonicus*, *B. cephalus*, *Piaractus mesopotamicus*, *P. brachypomus*, *Colossoma macropomum*, *Rhamdia quelen*, *Pimelodus maculatus*, *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, *Morone saxatilis*, *Arapaima gigas*, *Austrolebias reicherti* and *Salmo salar*. The fish species analyzed in Latin America are mostly native, with the main stressors identified being hypoxia, persecution, transportation and handling, which increase cortisol levels. However, the use of additives such as clove oil, β -glucans and ascorbic acid helps reduce this elevation. It is important to note that although chemical anesthetics such as MS-222, although they reduce stress, affect processes such as reproduction. However, the use of essential oils such as clove oil or β -glucans help reduce stress indices, so essential oils could be an alternative without negative effects on some other physiological functions.

Keywords: fish, Latin America, cortisol, stress.

* Correspondencia del autor:

E-mail: geovanna.parrar@ug.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

Introducción

Los peces son organismos tolerantes a diferentes condiciones ambientales (natural o cautiverio) , y a su vez están expuestos a estímulos que pueden alterar sus niveles de estrés. Como respuesta a estas condiciones se da un desequilibrio homeostático y puede comprometer la capacidad de adaptación de los organismos, amenazando su supervivencia (Opini3n et al. 2023). Factores ambientales como la contaminaci3n y cambios en la calidad del agua afectan la salud de los peces, quienes muestran respuestas deterioradas ante estresores agudos. Si los organismos ya est3n expuestos a condiciones estresantes cr3nicas, estas alteraciones impactan a los peces desde niveles moleculares hasta comunitarios (De los Santos, 2017).

Por lo que la respuesta primaria a este factor en peces es la producci3n de cortisol (Per3n, 2020). El cortisol es un glucocorticoide asociado con la regularizaci3n de las respuestas producidas por estímulos nocivos (Goikoetxea et al., 2017), y se libera por la activaci3n de células interrenales (porci3n anterior del riñ3n) que integran el eje hip3t3lamo-hip3fisis-interrenal (eje HPI) (Mommssen et al. 1999). La respuesta a una situaci3n de estr3s hace que la gl3ndula pituitaria anterior de la hip3fisis actúe a trav3s del Factor de Liberaci3n de Corticotropina (CFR), estimulando la secreci3n de la Hormona Adrenocorticotrópica (ACTH) (Fryer & Lederis, 1986), la cual se liberar3 hacia el sistema circulatorio (Wendelar, 1997; Mart3nez-Porchas et al., 2009). Por lo cual el objetivo de esta revisi3n es analizar el estr3s en peces de Latinoam3rica a trav3s de la respuesta en los niveles de cortisol.

Materiales y M3todos

Esta revisi3n se basa en el an3lisis cualitativo con un enfoque correlacional de los estudios de medici3n de niveles de estr3s a trav3s del cortisol en peces a nivel de Latinoam3rica obtenidos de los resultados previamente estudiados en las 30 publicaciones obtenidas de ScienceDirect, Scopus, Scielo; los estudios fueron divididos por especies y las palabras claves de b3squedas fueron Cortisol, Latinoam3rica, peces.

Resultados

Los estudios de medici3n de cortisol en peces de Latinoam3rica se han realizado en seis pa3ses con una representaci3n de investigaci3n del 77% en Brasil, 10% Colombia y 3% respectivamente en Ecuador, M3xico, Uruguay y Chile. Se reportan 13 especies estudiadas que corresponden a: *Brycon amazonicus*, *B. cephalus*, *Piaractus mesopotamicus*, *Piaractus brachypomus*, *Colossoma macropomum*, *Rhamdia quelen*, *Pimelodus maculatus*, *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, *Morone saxatilis*, *Arapaima gigas*, *Austrolebias reicherti* y *Salmo salar*. (Tabla 1).

Brycon amazonicus

La matrinx3 (*B. amazonicus*), es un pez amaz3nico de la familia Bryconidae que tiene un crecimiento r3pido y un alto valor nutricional a partir del consumo de su carne (Izel-Silva et al., 2024) "ISSN": "00448486", "abstract": "This study evaluated matrinx3 *Brycon amazonicus* larviculture performance at different total suspended solid (TSS). Los niveles de cortisol presentados para esta especie est3n entre 80-125 ng mL-1, de acuerdo a De Abreu & Urbinati (2006), la adici3n de vitamina C en 100-800 mg/kg de alimento y sometido a hipoxia por 2 minutos, no afect3 los niveles de cortisol en el plasma de los cuales fueron (93 - 120 ng mL-1). La adici3n de NaCl en concentraciones de 0, 1, 3, 6 g L-1 , elev3 los valores de cortisol (> 150 ng mL-1), no obstante a las 24 horas regresaron a las condiciones iniciales 80-100 ng mL-1 (Urbinati & Carneiro, 2006). La persecuci3n para la captura de los organismos es un factor de estr3s frecuente, esto fue evaluado por Hoshiba et al. (2009) quien durante 10 minutos sometió a los peces a este factor llev3ndolos a una nataci3n intensa, no obstante no fue suficiente para elevar los niveles de cortisol que se presentaron entre entre 120-130 ng mL-1. Seg3n Mart3nez Castillo et al. (2023) evaluaron diferentes tratamientos de manejo de estr3s mostrando que la utilizaci3n de anest3sicos (MS222 y Benzocaína) puede controlar los niveles de cortisol, al ser expuestos a choques t3rmicos de 25 a 7 °C, los resultados no mostraron diferencias con respecto al control, 429.1 - 511.4 ng mL-1. No obstante el estudio de Mart3nez Castillo et al. (2023) realizado en Colombia, muestra valores de cortisol m3s elevados que los realizados en Brasil De Abreu & Urbinati (2006); Urbinati & Carneiro, 2006 y Hoshiba et al. (2009) sugieren que esto puede deberse a la utilizaci3n de compuestos anest3sicos y otros efectos estresores como el choque t3rmico que elevan el cortisol plasm3tico.

Brycon cephalus

B. cephalus es un pez amaz3nico cultivado en Brasil por el sabor y contenidos de prote3na de importancia en su carne, perteneciente a la familia Bryconidae (Medran Rangel et al., 2022). En esta especie se ha evaluado el efecto del aceite de clavo para minimizar el efecto del estr3s por el transporte o movilizaci3n de organismos, se evidenci3 que con respecto a los controles (12 ng mL-1) no minimizaron los niveles de cortisol, (30.7 ng mL-1), sin embargo, durante este factor de estr3s se pudo observar la elevaci3n de los niveles de cortisol tanto en control 90 ng mL-1 y tratamiento 60 ng mL-1 mostrando que durante esta etapa el aceite de clavo es efectivo para reducir el estr3s en esta especie.

Piaractus mesopotamicus

P. mesopotamicus es un pez de agua dulce de la familia Serrasalminidae conocido como "pacú" que se distribuye en la cuenca alta del R3o Paraguay y la cuenca del Paran3 (Perez Ribeiro et al., 2010). El estr3s ocasionado por la captura (persecuci3n, contacto entre los peces, nado r3pido, hipoxia), mostr3 elevados niveles de cortisol entre los 5 - 30

minutos post captura, con niveles de 78-130 ng mL⁻¹, respecto a un control de 48 ng mL⁻¹, sin embargo 24 horas posteriores estos disminuyeron a 90 ng mL⁻¹. De acuerdo con Abreu et al. (2009) netting and air exposure se concluye que en el pacú los niveles elevados de cortisol probablemente fueron provocados por la activación del eje cerebro-hipófisis-interrenal.

Sin embargo, Drumond et al. (2018) 11.25, 22.50, 33.75, and 45.00 mg kg⁻¹ mostraron que el efecto de la inclusión de Ractopamina tiene incremento directamente proporcional a la concentración de cortisol en el plasma hasta llegar a una concentración de 73.3 ng mL⁻¹ respecto al control de 32.7 ng mL⁻¹, y esto se hace una relación a que los niveles elevados de cortisol reducen la acción de las enzimas lipogénicas hepáticas por acción indirecta de incremento de la epinefrina, por lo que la adición de este promotor de crecimiento lleva a una situación de estrés a la especie. En cuanto al estudio de Mariano et al., (2019) determinó que el uso de plaguicidas a base de *Bacillus thuringiensis* (Dipel-WP®) añadidos al alimento y en el agua, no mostraron diferencias con respecto al control de 24 - 48 horas, manteniendo niveles entre 50-65 ng mL⁻¹, respecto al de Drumond et al. (2018) 11.25, 22.50, 33.75, and 45.00 mg kg⁻¹ que difiere respecto al valor del control, probablemente mostrando que los organismos a nivel silvestre que se puedan exponer a plaguicidas podrían llegar a situaciones de estrés que eleven los niveles de cortisol.

Por otro lado, al ser el pacú una especie de importancia acuícola, se evalúa el uso de B(1,3/1,6)-glucanos en juveniles que fueron desafiados con *Aeromonas hydrophila*, Lopes et al. (2022) determinaron que a nivel basal disminuyen los niveles de cortisol con respecto al control de 0.40 a 0.10 ng mL⁻¹, posterior al desafío se pudo observar que todos los niveles fueron elevados 0.70 ng mL⁻¹ pero a las 6 y 24 horas post-desafío se determinó que la inclusión del 0.1% tuvo el valor más bajo de cortisol respecto al control. No obstante en comparación con los estudios de Abreu et al. (2009) netting and air exposure, Drumond et al. (2018) 11.25, 22.50, 33.75, and 45.00 mg kg⁻¹ y Mariano et al., (2019) se puede observar que la adición de B(1,3/1,6)-glucanos en la dieta, muestra los niveles más bajos de cortisol reportados para la especie.

Piaractus brachypomus

La cachama blanca (*P. brachypomus*) es una especie nativa de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas, perteneciente a la familia Serrasalminidae, se encuentra distribuida en Brasil, Argentina, Bolivia, Perú, Venezuela y Colombia (Puello-Caballero et al., 2018). Esta especie es importante a nivel de piscicultura local, por lo cual se evaluaron los efectos a nivel de dietas e inclusión de aditivos en los alimentos. Rodríguez & Landines-Parra (2018) observaron el efecto de la restricción de alimento en el cual el tratamiento experimental alimentaba a la especie pasando un día, sin embargo, en la

medición de los niveles de cortisol (20,56 ng mL⁻¹), se mostraron diferencias significativas con respecto al control que fue alimentado a diario (20,76 ng mL⁻¹). Cuando se adicionó ácido ascórbico (400 mg/Kg) se mostró que los niveles de cortisol disminuyen cuando la especie es sometida a hipoxia. 30 minutos post-estrés se presentaron valores control de 45 ng mL⁻¹ y el tratamiento de 25 ng mL⁻¹, mejorando la respuesta al estrés (Corredor Castillo & Landines Parra, 2019). Respecto a esta especie podemos determinar que los valores control para la especie están entre 20-25 ng mL⁻¹.

Colossoma macropomum

C. macropomum, conocido comúnmente como "tambaqui", es una especie de la familia Serrasalminidae de la cuenca del río Amazonas y del Orinoco en América del Sur (Silva Hilsdorf et al., 2021). Los estudios en referencia a la cuantificación de cortisol para la especie se han determinado que valores control oscilan entre 50-100 ng mL⁻¹, así Aride et al. (2018) evaluaron la inclusión de *Myrciaria dubia* en la dieta y determinaron que no afecta los niveles de cortisol siendo similar al control, no obstante cuando los sometió al test de Ucrit (persecución), los niveles se elevaron en todas las condiciones experimentales mostrando valores entre 180-250 ng mL⁻¹, concluyendo que las adaptaciones bioquímicas para mantenimiento de los procesos de movilización de energía y necesidad de regulación en la demanda de oxígenos en tejidos durante ejercicio intenso, elevan los niveles de cortisol en el plasma. Por otro lado Paz & Val (2018) utilizaron la hormona de crecimiento bovino (bGH), y se comprobó que esta no altera los niveles de cortisol en las diferentes dosis, sólo a los 15 días tiene una elevación a 170 ng mL⁻¹ sin embargo, desde el día 30 hasta el 50 disminuye a sus niveles basales menores a 100 ng mL⁻¹.

Rhamdia quelen

El bagre plateado (*R. quelen*) es un silúrido de la familia Heptapteridae. Se lo puede encontrar en el centro de Argentina hasta el sur de México y en la región sur de Brasil, en esta último país su producción es la más alta de América del Sur (Valladão et al., 2016; Kelm Battisti et al., 2020). Los estudios en relación a condiciones de estrés han sido investigados por Falanghe Carneiro et al., (2009) que determinaron que las diferentes densidades poblacionales (75, 150, 250, 350 g L⁻¹) tienen un efecto en el incremento proporcional de cortisol, siendo el valor máximo de 173.18 ng mL⁻¹ - 350 g L⁻¹; y entre 50-60 ng mL⁻¹ en la densidad más baja; no obstante, después de 24 horas para todas las densidades los niveles disminuyeron por debajo de 100 ng mL⁻¹. Los autores mencionan que de acuerdo con Davis & Small (2006) la rápida eliminación del cortisol probablemente se deba a la falta de una globulina transportadora de cortisol que lo protege de la degradación y pueda que *R. quelen* se incluya dentro de este listado de peces con estas características. Por otro lado, de acuerdo a Koakoski et al. (2013) este organismo no posee un efecto acumulativo de cortisol por persecución, por

lo que esta especie es tolerante para este factor con valores máximos de 120 ng mL⁻¹ respecto al control con 40 ng mL⁻¹. La evaluación de diversos compuestos y aditivos anestésicos permiten ayudar a las especies a minimizar su respuesta ante condiciones de estrés. Así se ha evaluado para la especie el efecto de la albahaca lima (*Ocimum americanum*) en la que los tratamientos de 300-500 mg L⁻¹ mostraron efectos anestésicos con valores de cortisol similares a los niveles basales menores a 100 ng mL⁻¹, no obstante a los 240 minutos el control mostró el valor más bajo >25 ng mL⁻¹ y en los tratamientos valores de 50 ng mL⁻¹ (Silva et al., 2015). Otro anestésico frecuentemente usado es el eugenol, el cual Corso et al. (2019) determinaron que en concentraciones de 40 y 50 mg L⁻¹ presentaron niveles plasmáticos de cortisol menores (88,4 y 83,3 ng mL⁻¹ respectivamente) que el control (147,1 ng mL⁻¹), concluyendo que además no tuvo ninguna afectación con el desempeño reproductivo de los reproductores. Finalmente dos Santos Teixeira et al. (2021) mostraron que el efecto del anestésico MS-222 (metanosulfonato de tricaina) eleva las concentraciones de cortisol y deteriora la motilidad espermática y disminuye el estradiol plasmático mostrando valores de 150-190 ng mL⁻¹ respecto a 100 ng mL⁻¹ presente en el control. Finalmente se concluye que la utilización de anestésicos puede interferir en los aspectos reproductivos para esta especie, frente a otras especies que toleran de mejor manera la utilización de estos compuestos.

Pimelodus maculatus

P. maculatus es un silúrido perteneciente a la familia Pimelodidae que habita en la cuenca del río Amazonas y Paraná, su distribución geográfica abarca Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay (Araújo et al., 2018). De acuerdo a Pedron et al. (2023) evaluaron las condiciones fisiológicas de la especie resultantes del operaciones transitorias de hidroeléctricas en donde se determinó que los peces que aparecían en la superficie de la hidroeléctrica tenían un cortisol de 13.2 ng mL⁻¹, con respecto a los peces del canal de descarga 39.9 ng mL⁻¹, no obstante se indica que más del 70% de muestra de peces de superficie estaban con hemorragia lo cual pudo haber sido un indicador de bajos niveles de cortisol concluyendo que en peces con lesiones y hemorragias no son adecuados para la toma de cortisol como un indicador de estrés.

Oreochromis niloticus

O. niloticus conocida como “Tilapia nilótica” es una especie introducida proveniente de África, la acuicultura de esta especie es de importancia en América del Sur por el sabor de su carne y tolerancia a condiciones adversas del organismo (Abd El-Hack et al., 2022). La evaluación de niveles de cortisol relacionadas a esta especie se realizó por Fonseca Merighe et al. (2004) quienes observaron el efecto del cultivo con diferentes colores e interacción social (efecto espejo), evidenciando que el cortisol no tiene ningún efecto sobre los colores a nivel de producción, sin embargo, en relación a la interacción social elevó los niveles de cortisol entre 10.60 y 10.18 ng mL⁻¹

en los colores marrón y azul respectivamente, para el control y el resto de niveles se encontraron en niveles similares < 6 ng mL⁻¹ produciendo comportamientos agonísticos entre los individuos. Además de Oliveira et al. (2010) determinaron que la adición de 200 mg Kg⁻¹ de extracto seco de maracuyá tiene los niveles de cortisol similares al control (3.8 - 4.2 ng mL⁻¹). Por otro lado, Simões et al. (2012) mostraron que la utilización del aceite de clavo como anestésico entre 150 - 250 mg L⁻¹ previo a la manipulación de los peces, determinó que su utilización es eficaz impidiendo que los niveles de cortisol se eleven. Se explica que el aceite de clavo disminuye las funciones neurosensoriales bloqueando la estimulación nerviosa de las células al estrés del transporte, no mostró diferencias con respecto a la toma antes del transporte con valores entre 90-120 ng mL⁻¹. Respecto a los estudios mostrados para esta especie se puede señalar que es resistente a diversas condiciones ambientales y que la utilización de los diversos aditivos para minimizar la respuesta al estrés no muestra diferencias con los valores controles, no obstante se resalta que los estresores de fotoperiodo y transporte son los factores que más elevan los niveles de cortisol para *O. niloticus*

Oreochromis mossambicus

En Ecuador Briones García (2021) realizó la evaluación del estrés por hipoxia de *Oreochromis mossambicus* a través de la medición de cortisol donde los valores entre el control (115.4-202.07 ng mL⁻¹) y el tratamiento (118.8-257.5 ng mL⁻¹) no mostraron diferencias al día 3, los resultados indicaron que el cortisol en los peces afecta las células sanguíneas, alterando los factores de inmunidad celular y humoral, lo que puede llevar al agotamiento del sistema inmunológico (Magnadóttir, 2006).

Morone saxatilis

M. saxatilis es una especie marina comercial de la familia Moronidae, distribuida principalmente en las costas del Atlántico y el Golfo de México; se cultiva en estanques y jaulas en la Bahía de Todos Santos, México (Cabanillas-Gámez et al., 2022). En este ámbito se determinó el efecto de la inclusión de triptófano dietético en los parámetros sanguíneos y plasmáticos de organismos expuestos a estrés por manejo (5min) y estrés por hipoxia (45 min), se pudo determinar que los valores de control estuvieron entre 13-35 ng mL⁻¹, la hipoxia eleva los valores de cortisol entre 250-300 ng mL⁻¹ mientras que el manejo está en 110 ng mL⁻¹, lo que concluye para esta especie que en condiciones de estrés se requiere la adición de dietas altas en triptófano.

Arapaima gigas

A. gigas es un pez del orden Osteoglossiformes habita en el Amazonas en varias regiones como Brasil, Perú, Colombia y Guyana, tiene importancia pesquera para las comunidades locales (Gálvez Escudero & Mendoza De La Vega, 2024). Los niveles de cortisol de la especie están entre 42-53 ng mL⁻¹; de acuerdo a Gomes (2007) los organismos se sometieron a estrés por hipoxia por 75 minutos, presentando un nivel de cortisol

Tabla 1. Niveles de cortisol, aditivos evaluados y efectos estresores de peces de Latinoamérica.

Especie	Niveles de cortisol plasmático (ng mL ⁻¹)		Aditivo evaluado	Efecto estresor	Autores	País
	Control	Tratamientos				
Brycon amazonicus	nd	93.6-120.8	Vitamina C	Hipoxia	De Abreu & Urbinati, 2006	Brasil
	80	120	n/a	Salinidad y Transporte	Urbinati & Carneiro, 2006	Brasil
	125	120-130	n/a	Persecución	Hoshiba et al., 2009	Brasil
	511.42	429.1-459.8	MS-222, Benzocaína	Choque térmico	Martínez Castillo et al., 2023.	Colombia
Brycon cephalus	90	60	Aceite de clavo	Transporte	Inoue et al., 2005	Brasil
Piaractus mesopotamicus	48	78-130	n/a	Captura e hipoxia	J. S. Abreu et al., 2009	Brasil
	32.7	73.3	Ractopamina	n/a	2009netting and air exposure Drumond et al., 2018	Brasil
	50	65	Bacillus thuringiensis (Dipel-WP®)	n/a	11.25, 22.50, 33.75, and 45.00 mg kg ⁻¹	Brasil
	0.4	0.1	B-glucanos	Aeromonas hydrophila	Lopes et al., 2022	Brasil
Piaractus brachyomus	20.56	20.76	n/a	Restricción de alimento	Rodríguez & Landines-Parra, 2018	Colombia
	45	25	Ácido ascórbico	Hipoxia	Corredor Castillo & Landines Parra, 2019	Colombia
Colossoma macropomum	50	180-250	Myrciaria dubia	Test de nado Ucrit	Aride et al., 2018	Brasil
	100	170	Hormona de crecimiento bovino (bGH)	n/a	Paz & Val, 2018	Brasil
Rhamdia quelen	nd	50-173.18	Densidades poblacionales	Transporte	Falanghe Carneiro et al., 2009	Brasil
	40	120	Brasil	Salinidad y Transporte	Urbinati & Carneiro, 2006	Brasil
	25	50	n/a	Persecución	Koakoski et al., 2013	Brasil
	147.1	83.3-88.4	Brasil	Choque térmico	Martínez Castillo et al., 2023.	Colombia
Pimelodus maculatus	nd	13.2-39.9	n/a	Hidroeléctrica	Pedron et al., 2023	Brasil
Oreochromis niloticus	< 6	10.6	n/a	Colores de cultivos, interacción social	Fonseca Merighe et al., 2004	Brasil
	3800	4200	Extracto seco de maracuyá	n/a	de Oliveira et al., 2010	Brasil
	1.59	1.97	Aceite de clavo	Manipulación	Simões et al., 2012	Brasil
	75	71.3-85	n/a	Fotoperiodo	Veras et al., 2013	Brasil
	100	90-120	Lippia alba	Transporte	Hohlenwerger et al., 2017	Brasil
Oreochromis mossambicus	115.4-202.07	118.8-257.5	n/a	Hipoxia	Briones García, 2021	Ecuador
Morone saxatilis	13-35	250-300 - 110 (manejo)	Triptófano dietético	Manipulación e Hipoxia	Cabanillas-Gómez et al., 2022	México
Arapaima gigas	43	42-53	Aceite esencial (Ocimum basilicum)	n/a	Chung et al., 2020	Brasil
	27.4	104.7	n/a	Hipoxia	Gomes, 2007	Brasil
Austrolebias reicherti	nd	25-10	n/a	Invierno y Verano	Passos et al., 2021	Uruguay
Salmo salar	nd	103-326	n/a	Transporte y manipulación	Gatica et al., 2010	Chile

base de 27.4 ng mL⁻¹, después del estrés los niveles se elevaron a 104.7 ng mL⁻¹ y 6 horas posteriores todos los niveles disminuyeron a los niveles basales, concluyendo que la exposición de 75 min no llega a ser un nivel de estrés crónico para inhabilitar funciones fisiológicas. Por otro lado la suplementación de aceite esencial de Albahaca *Ocimum basilicum* no afecta los niveles de cortisol en la sangre teniendo valores de 42-53 ng mL⁻¹ en condiciones de altas densidades de siembra 7.56 Kg m⁻³ (Chung et al., 2020).

Austrolebias reicherti

Esta especie es de ciclo anual perteneciente a la familia Rivulidae está presente en Uruguay. , Passos et al. (2021) determinaron los niveles de cortisol entre la estación de invierno 10 ng mL⁻¹ y verano 25 ng mL⁻¹ mostrando variaciones temporales siendo similares a las de especies en condiciones silvestres y de laboratorio; este estudio muestra cómo los altos niveles de cortisol promueven la reproducción: También se asoció cambios en los índices gonadosomáticos y hepatosomáticos de ambos sexos.

Salmo salar

Es un pez carnívoro de la familia Salmonidae importante en la Acuicultura a nivel global, después de la cosecha los organismos sufren un estrés por el proceso antes, durante y después del transporte. Gatica et al. (2010) evaluaron los niveles de cortisol en las diferentes fases antes de la muerte del organismo en los cuales los valores de cortisol fluctuaron entre 103.2 - 326 ng mL⁻¹, siendo el valor más elevado registrado después del bombeo, hacia la planta procesadora, siendo la etapa más estresante de la cadena de transporte comercial.

Conclusión

Los principales efectos estresores que se identificaron son la hipoxia, persecución, transporte y manipulación; estos efectos elevan los niveles de cortisol, no obstante, la utilización de aditivos como aceite de clavo, β -glucanos y ácido ascórbico logran minimizar la elevación de esta hormona.

La utilización de anestésicos químicos, como el MS-222 minimizan la respuesta al estrés, pero también comprometen aspectos reproductivos, lo que va a depender de la sensibilidad de la especie en respuesta a su utilización.

Finalmente se puede asumir que el uso de aceites esenciales, puede ser una alternativa que no causa efectos sobre otras funciones fisiológicas de los peces.

Referencias Bibliográficas

Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Nader, M. M., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., Soliman, S. M., & Khafaga, A. F. (2022). Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66(11), 2183-2194. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>

Abreu, J. S., Takahashi, L. S., Hoshiba, M. A., & Urbinati, E. C. (2009). Biological indicators of stress in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) after capture. *Brazilian Journal of Biology*, 69(2), 415-421. <https://doi.org/10.1590/s1519-69842009000200026>

Araújo, F. G., Morado, C. N., Parente, T. T. E., Paumgarten, F. J. R., & Gomes, I. D. (2018). Biomarkers and bioindicators of the environmental condition using a fish species (*Pimelodus maculatus* Lacepède, 1803) in a tropical reservoir in Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 78(2), 351-359. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.167209>

Aride, P. H. ., Oliveira, A. M., Batista, R. B., Ferreira, M. ., Pantoja-Lima, D. ., Ladislau, D. S., Castro, P. D. ., & Oliveira, A. T. (2018). Cambios en los parámetros fisiológicos del tambaqui (*Colossoma macropomum*) alimentado con dietas suplementadas con camu camu de frutas amazónicas (*Myrciaria dubia*). *Brazilian Journal of Biology*, 78(2), 360-367. <https://www.scielo.br/j/bjb/a/BBBVfVtSpBPm59CPL4LDm6K/?format=pdf&lang=en>

Briones García, J. I. (2021). Evaluación del efecto del cortisol provocado por hipoxia sobre algunos parámetros inmunológicos de tilapias de comercialización de la ciudad de Sucúa - Ecuador. *ConcienciaDigital*, 4(1.2), 446-456. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1611>

Cabanillas-Gómez, M., López, L. M., Bardullas, U., Espinoza-Villegas, R. E., True, C. D., & Galaviz, M. A. (2022). Effect of dietary tryptophan on blood and plasma parameters of striped bass *Morone saxatilis*, exposed to acute stressors. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50(4), 529-540. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue4-fulltext-2929>

Chung, S., Lemos, C. H. D. P., Teixeira, D. V., Fortes-Silva, R., & Copatti, C. E. (2020). Essential oil from *Ocimum basilicum* improves growth performance and does not alter biochemical variables related to stress in pirarucu (*Arapaima gigas*). *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 92, 1-11. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181374>

Corredor Castillo, A. S., & Landines Parra, M. Á. (2019). Respuestas fisiológicas de *Piaractus brachipomus* suplementado con ácido ascórbico y sometido a estrés por hipoxia. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(38), 1-9. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss38.3>

Corso, M. N., Marques, L. S., Gracia, L. F. G., Rodrigues, R. B., Barcellos, L. J. G., & Streit, D. P. (2019). Effects of different doses of eugenol on plasma cortisol levels and the quality of fresh and frozen-thawed sperm in South American catfish (*Rhamdia quelen*). *Theriogenology*, 125, 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.10.033>

Davis, K. B. & B. C. Small. 2006. Rates of cortisol increase and decrease in channel catfish and sunshine bass exposed to an acute confinement stressor. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 143: 134-139.

De Abreu, Janessa Sampaio, & Urbinati, E. C. (2006). Physiological responses of matrinxã (*Brycon amazonicus*) fed different levels of vitamin C and submitted to air exposure. *Acta Amazonica*, 36(4), 519-524. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000400013>

de Oliveira, R. H. F., Pereira-da-Silva, E. M., Bueno, R. S., & Barone, A. A. C. (2010). The passion fruit on hepatocytes morphometry of Nile tilapia [O extrato de maracujá sobre a morfometria de hepatócitos da tilápia do Nilo]. *Ciencia Rural*, 40(12), 2562-2567. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78951490169&doi=10.1590%2F50103-84782010001200020&partnerID=40&md5=a06aa031da347a605ebc06a12e4000a0>

dos Santos Teixeira, N., Santos Marques, L., Batista Rodrigues, R., Gusso, D., Thais Pinheiro, G., Flores Machado, T. L., & Streit Jr, D. P. (2021). Effects of anesthetic MS-222 on stress and reproduction of South American silver catfish (*Rhamdia quelen*) males. *Animal Reproduction Science*, 225(December 2020), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106669>

- Drumond, M. M., Naves, L. de P., Ribeiro, P. A. P., de Oliveira, M. M., Okamura, D., Resende, A. E., Cantarelli, V. de S., & Rosa, P. V. (2018). Metabolic and histologic responses of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) fed diets supplemented with increasing concentrations of ractopamine. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47. <https://doi.org/10.1590/rbz4720160234>
- Falanghe Carneiro, P. C., da Silva Kaiseler, P. H., Correia Swarofsky, E. de A., & Baldisserotto, B. (2009). Transport of jundiá *Rhamdia quelen* juveniles at different loading densities: Water quality and blood parameters. *Neotropical Ichthyology*, 7(2), 283-288. <https://doi.org/10.1590/s1679-62252009000200021>
- Fonseca Merighe, G. K., Pereira-da-Silva, E. M., Negrão, J. A., & Ribeiro, S. (2004). Efeito da cor do ambiente sobre o estresse social em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(4), 828-837. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982004000400002>
- Fryer, J. N., & Lederis, K. (1986). Control of corticotropin secretion in teleost fishes. *American Zoologist*, 1017-1026.
- Gálvez Escudero, M. A., & Mendoza De La Vega, A. J. (2024). Reproductive aspects of the Amazon giant paiche (*Arapaima gigas*): a review. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 27(2), 57-65. <https://doi.org/10.47853/FAS.2024.e7>
- Gatica, M. C., Monti, G. E., Knowles, T. G., Warriss, P. D., & Gallo, C. B. (2010). Effects of commercial live transportation and preslaughter handling of Atlantic salmon on blood constituents. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 42(1), 73-78. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2010000100010>
- Goikoetxea, A., Todd, E. V., & Gemmell, N. J. (2017). Stress and sex: does cortisol mediate sex change in fish?. *Reproduction*, 154(6), R149-R160.
- Gomes, L. D. C. (2007). Physiological responses of pirarucu (*Arapaima gigas*) to acute handling stress. *Acta Amazonica*, 37(4), 629-634. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672007000400019>
- Hohlenwerger, J. C., Baldisserotto, B., Couto, R. D., Heinzmann, B. M., da Silva, D. T., Caron, B. O., Schmidt, D., & Copatti, C. E. (2017). Óleo essencial de *Lippia alba* no transporte de tilápia-do-Nilo. *Ciencia Rural*, 47(3), 47-50. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160040>
- Hoshiba, M. A., Gonçalves, F. D., & Urbinati, E. C. (2009). Physiological stress responses of matrinxã (*Brycon amazonicus*) after chasing. *Acta Amazonica*, 39(2), 445-452. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672009000200025>
- Inoue, L. A. K. A., Afonso, L. O. B., Iwama, G. K., & Moraes, G. (2005). Effects of clove oil on the stress response of matrinxã (*Brycon cephalus*) subjected to transport. *Acta Amazonica*, 35(2), 289-295. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672005000200018>
- Izel-Silva, J., Dos Santos, R. B., de Medeiros, P. A., Suita, S. M., Wasielesky, W., Fugimura, M. M. S., & Afonso, E. G. (2024). *Brycon amazonicus* larviculture cannibalism is reduced in biofloc systems. *Aquaculture*, 579(September 2023). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740180>
- Kelm Battisti, E., Rabaioli, A., Uczay, J., Suttili, F. J., & Lazzari, R. (2020). Effect of stocking density on growth, hematological and biochemical parameters and antioxidant status of silver catfish (*Rhamdia quelen*) cultured in a biofloc system. *Aquaculture*, 524(March), 735213. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735213>
- Koakoski, G., Kreutz, L. C., Fagundes, M., Oliveira, T. A., Ferreira, D., da Rosa, J. G. S., & Barcellos, L. J. G. (2013). Repeated stressors do not provoke habituation or accumulation of the stress response in the catfish *Rhamdia quelen*. *Neotropical Ichthyology*, 11(2), 453-457. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252013005000010>
- Lopes, L. M. F., de Mello, M. M. M., & Urbinati, E. C. (2022). B-Glucan reduces cortisol plasma levels, enhances innate immune system after *A. hydrophila* inoculation, and has lipolytic effects on the pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture*, 546(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737411>
- Magnadóttir, B. (2006). Innate immunity of fish (overview). *Fish & shellfish immunology*, 20 (3), 2, 137-151.
- Mariano, W. S., Azevedo, S. B., Gomes, F. L., Lima, L. B. D., Moron, S. E., & Tavares-Dias, M. (2019). Physiological parameters of *Piaractus mesopotamicus* (Osteichthyes: Characidae) exposed to a biopesticide based on *Bacillus Thuringiensis*. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 91(2), 1-9. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180474>
- Martínez Castillo, S. L., León Romero, G. G., Agudelo Castro, D., Lugo, E. A., & Riveros, N. (2023). Cuantificación de glucosa y cortisol como indicador de estrés en el pez *Brycon amazonicus* (YAMÚ) mediante la utilización de choque térmico y anestesia. *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Basicas*, 21(2), 9-12. <https://doi.org/10.24054/bistua.v21i2.2067>
- Medran Rangel, E., Fernandes e Silva, E., Kaster Garcez, D., Laste Macagnan, K., Medran Rangel, A., Vargas Ribeiro, L., Fernandes e Silva, P., & Figueiredo Cardoso, T. (2022). Análise da interação do contaminante metilmercúrio com hemoglobina do peixe matrinxã *Brycon cephalus* (Günther, 1869). *Journal of Education Science and Health*, 2(2), 1-6. <https://doi.org/10.52832/jesh.v2i2.132>
- Mommsen, T.P.; Vijayan, M.M., & Moon, T.W. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Rev. Fish Biol. Fish.* 1999, 9, 211-268.
- Opinion, A. G. R., Vanhomwegen, M., De Boeck, G., & Aerts, J. (2023). Long-term stress induced cortisol downregulation, growth reduction and cardiac remodeling in Atlantic salmon. *The Journal of experimental biology*, 226(22), jeb246504. <https://doi.org/10.1242/jeb.246504>
- Passos, C., Reyes, F., Jalabert, C., Quintana, L., Tassinio, B., & Silva, A. (2021). Stress promotes reproduction in the annual fish *Austrolebias reicherti*. *Animal Behaviour*, 174, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2021.02.003>
- Paz, A. de L., & Val, A. L. (2018). Manipulation of growth of the amazonian fish tambaqui, *Colossoma macropomum* (Characiformes: Serrasalminae): Analysis of physiological and zootechnical aspects. *Acta Amazonica*, 48(3), 197-206. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201800181>
- Pedron, J. dos S., Bernardes Junior, J. J., Ribolli, J., Souza, J., Pereira, A. G., Tolentino, H., Barros, R., Milarch, C. de F., Dias, R. J. G., Guerreschi, R. M., Latini, A., & Nuñez, A. P. de O. (2023). Fish injuries resulting from transient operating conditions in a Brazilian hydropower plant: morphological, physiological and biochemical evaluation in *Pimelodus maculatus* (Siluriformes: Pimelodidae). *Neotropical Ichthyology*, 21(3), 1-17. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2022-0104>
- Perán, C. (2020). Estrés en acuicultura: Una visión actualizada para mejorar el bienestar animal en especies de interés comercial. Trabajo de fin de grado en Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz. Extraído de: https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/24180/TFG%20Cristina%20P%20er%20C3%A1n%20Alarcos_removed.pdf.
- Perez Ribeiro, A. P., Santos Costa, L., Eloy, Á. A., Vieira e Rosa, P., & Solis Murgas, D. L. (2010). Aceite De Clavo Como Anestésico Para El Pez Pacu. *Anales de Veterinaria de Murcia*, 26, 69-76. <https://revistas.um.es/analesvet/article/view/125061>
- Puello-Caballero, L., Montoya-Campuzano, O., Castañeda-Monsalve, V., & Moreno-Murillo, L. (2018). Characterization of the microbiota present in the intestine of *Piaractus brachipomus* (Cachama blanca). *Revista de Salud Animal*, 40(2), 2224-4700.
- Rodríguez, L., & Landines-Parra, M. A. (2018). Desempeño productivo y fisiológico de juveniles de *Piaractus brachipomus* sometidos a restricción de alimento. *Orinoquia*, 22(1), 57-67. <https://doi.org/10.22579/20112629.480>

- Samaras A & Pavlidis M (2022) Fish scales produce cortisol upon stimulation with ACTH. *Animals* 12: 3510. [10.3390/ani12243510](https://doi.org/10.3390/ani12243510). ingredients in fish feed. *Heliyon*, 8(9).
- Silva Hilsdorf, A. W., Hallerman, E., Ramos Valladão, G. M., Zaminhan-Hassemer, M., Hashimoto, D. T., Dairiki, J. K., Susumu Takahashi, L., Corrêa Albergaria, F., de Sousa Gomes, M. E., Leite Venturieri, R. L., Moreira Guimarães, R., & Possebon Cyrino, J. E. (2021). The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 993-1027. <https://doi.org/10.1111/raq.12638>
- Silva, L. de L., Garlet, Q. I., Koakoski, G., de Abreu, M. S., Mallmann, C. A., Baldisserotto, B., Barcellos, L. J. G., & Heinzmann, B. M. (2015). Anesthetic activity of the essential oil of *Ocimum americanum* in *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard, 1824) and its effects on stress parameters. *Neotropical Ichthyology*, 13(4), 715-722. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20150012>
- Simões, L. N., Gomide, A. T. M., Almeida-Val, V. M. F., Val, A. L., & Gomes, L. C. (2012). O uso do óleo de cravo como anestésico em juvenis avançados de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 34(2), 175-181. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i2.13022>
- Urbinati, E. C., & Carneiro, P. C. F. (2006). Sodium chloride added to transport water and physiological responses of *Matrinxã Brycon amazonicus* (Teleost: Characidae). *Acta Amazonica*, 36(4), 569-572. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000400020>
- Veras, G. C., Murgas, L. D. S., Zangeronimo, M. G., Rosa, P. V., Leon, J. A. S., & Salaro, A. L. (2013). Fotoperíodo sobre parâmetros fisiológicos relacionados ao estresse em alevinos de tilápia-do-nilo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65(5), 1434-1440. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000500023>
- Wendelaar Bonga, S.E. The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 1997, 77, 591-625.

Evaluación de los residuos postcosecha del coco (*Cocos nucifera* L.) En Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte, Manabi-Ecuador.

Evaluation of post-harvest waste of coconut (*Cocos nucifera* L.) In Portoviejo, Tosagua and Rocafuerte, Manabi-Ecuador.

Marco Andrés Pico Tola¹, María Angélica Mendoza Ponce¹, Ivana Mayerli Pin Napa¹ & José Manuel Calderón Pincay¹

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, campus politécnico El Limón, Calceta, Ecuador

Resumen

El objetivo del presente proyecto fue realizar una evaluación socioambiental sobre los residuos post-cosecha del coco en Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte. Se utilizó el Diagnóstico Rápido Participativo en dos etapas: recopilación de información a través de encuestas, muestreos y visitas técnicas a fincas productoras, georreferenciación de datos y generación de propuestas. El estudio determinó que la variedad de coco más sembrada fue la gigante (56%) con alrededor de 1 a 3 ha con entre 500 a 800 plantas/ha, su producción va entre 800 a 1000 cocos por cosecha, cuyos residuos se disponen al recolector (46%), se queman (28%), además 74% de los productores no efectúan buenas prácticas ambientales en sus fincas. Rocafuerte es el cantón con mayor generación (96.31%), seguido de Tosagua (2.64%) y Portoviejo con 1.05% del total. Es necesario fomentar la concientización de productores respecto al potencial aprovechamiento de residuos de coco bajo un enfoque de economía circular.

Palabras clave: Economía circular, producción, diagnóstico ambiental

Abstract

The objective of this project was to carry out a socio-environmental evaluation of post-harvest coconut waste in Portoviejo, Tosagua and Rocafuerte. The Participatory Rapid Diagnosis was used in two stages: collection of information through surveys, sampling and technical visits to producing farms, georeferencing of data and generation of proposals. The study determined that the most planted coconut variety was the giant (56%) with around 1 to 3 ha with between 500 to 800 plants/ha, its production ranges between 800 to 1000 coconuts per harvest, whose residues are disposed of to the collector. (46%), they burn (28%), and 74% of producers do not carry out good environmental practices on their farms. Rocafuerte is the canton with the highest generation (96.31%), followed by Tosagua (2.64%) and Portoviejo with 1.05% of the total. It is necessary to promote the awareness of producers regarding the potential use of coconut waste under a circular economy approach.

Keywords: Circular economy, production, environmental diagnosis

Introducción

A nivel mundial, la producción de coco en el año 2021 alcanzó los 63,6 millones de toneladas en promedio 5,6 toneladas de coco por hectárea cultivada (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023). En el Ecuador, el sector agrícola ocupa el 24,63% del territorio nacional (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2020) con un enfoque destacado en la producción de coco en la zona costera del país con el 85%, resaltando las provincias de Esmeraldas,

Manabí, Guayas, Los Ríos y El Oro (Romero et ál., 2020). Además, Ecuador se ha posicionado como el sexto país exportador de aceite de coco a nivel mundial, generando ingresos por \$6,82 millones, ubicándose en el puesto 90 entre los productos más exportados (Zambrano et ál., 2021).

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2020), la provincia de Manabí se destaca como una región productora de coco, representando al 18,72% nacional, entre los cantones que sobresalen

* Correspondencia del autor:

E-mail: marco.pico@espam.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

en este cultivo están Rocafuerte, específicamente en la comunidad Sosote, donde se producen 1500 cocos verdes cada siete semanas. En el caso del cantón Portoviejo, en la parroquia Riochico, existen alrededor de 520 productores con una media de 2,25 hectáreas por persona, lo que suma un total de 1170 hectáreas dedicadas al cultivo. Asimismo, en el cantón Tosagua, los productores se distribuyen en diferentes localidades: Bachillero entre 400 y 500 cocos verdes en cada cosecha, La Sabana 2500 cocos secos semanalmente, y El Recreo 4000 cocos en cada cosecha, según los informes de Romero et ál. (2020) y Macías et ál. (2018).

Sin embargo, Intriago y Jiménez (2021), detallan que los residuos generados en este sector no son considerados dentro de un plan sostenible de gestión de residuos a pesar de la importancia económica que genera en la provincia de Manabí, lo que implica que se encuentren localizados de forma masiva en ciertas áreas causando problemas ambientales (Merchán y Sánchez, 2018).

Para abordar esta problemática, la presente investigación se centra en realizar un diagnóstico socioambiental para determinar los residuos postcosecha en el sector productivo del coco en los cantones de Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte. Se emplearán diversos métodos, como encuestas, análisis de campo y revisión de literatura, para recopilar información relevante. Los resultados de esta investigación serán fundamentales para identificar las áreas de mejora en la gestión de residuos en el sector del coco, beneficiando tanto al medio ambiente como a la comunidad productora y, en última instancia, contribuyendo al desarrollo social, económico y ambiental equilibrado en la región. Además, se buscará promover la conciencia y la acción en torno a la gestión sostenible de residuos de coco, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, específicamente los relacionados con la producción y consumo responsable y la acción por el clima.

Materiales y Métodos

Diagnóstico del componente social y ambiental en los sectores productivos del coco en los cantones Portoviejo, Rocafuerte y Tosagua. Se inició realizando visitas a comunidades cotereras de los cantones Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte, con el fin de conocer la comunidad, su extensión y las áreas de producción, se le informó a los dueños de finca identificados en los resultados de las investigaciones de Macías y Zambrano (2023) y de Bazurto y Molina (2024) el propósito de la visita. Pazmiño y Rodríguez (2017) manifiestan que la investigación de campo es uno de los métodos más efectivos junto con el método no experimental.

Durante las visitas de campo, se empleó el diagnóstico rápido participativo (DRP) por su metodología estratégica para comparar, recolectar e identificar información de manera rápida y eficiente, facilitando

el análisis de realidad de los grupos o individuos locales (Lima y Gaia, 2014).

Se realizó una revisión bibliográfica en pro de mejorar la recopilación de información utilizando diversas fuentes, entre las cuales destacan: revistas, artículos científicos y libros, proporcionando una visión en relación a las características y elementos conocidos en el campo de estudio (Guirao, 2015).

Para conocer los aspectos socioambientales vinculados a la producción y comercialización del coco, se aplicó una matriz FODA basada en el modelo de Ponce (2006). Esta matriz identifica las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, creando un punto de partida para nuevas estrategias y acciones. Así mismo, para recopilar más información sobre los productores y sus fincas, se realizó una encuesta referente a la producción, especie producida, gestión de residuos y suministro de agua (Pérez y Blandón, 2019).

Determinación de la generación de residuos postcosecha en el sector productivo de coco.

Para determinar la generación de residuos de coco, se calculó el rendimiento del cultivo, tomando como referencia el número de productores que participaron en el diagnóstico socioambiental efectuado por Macías y Zambrano (2023) y de Bazurto y Molina (2024) los cuales fueron 90 productores, con la herramienta establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2014).

$$R_c = T_p * A_c$$

Donde:

RC= Rendimiento del cultivo

Tp= Toneladas producidas al año

Ac= Área cultivada

En la determinación de residuo se empleó la fórmula establecida por Aguilar (2019):

$$M_{rs} = A_c * R_c * F_r * Y_{rs}$$

Donde:

Mrs =masa de residuo seco (t/año)

Ac = área cultivada

Rc = rendimiento del cultivo

Fr = Factor de residuo del cultivo

Yrs = Fracción de residuo seco

Análisis de resultados

De la aplicación de la encuesta socioeconómica a 90 productores de coco entre los cantones de Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte, se obtuvieron datos que proporcionan una visión integral sobre la situación actual y las prácticas agrícolas de estos productores, presentando lo siguiente (véase tabla 1):

Respecto a las variedades de coco más utilizadas en estos cantones (véase figura 1), la gigante lidera con un 53%, seguida por la enana con un 32%, y finalmente la híbrida con un 16%. Esta preferencia de los productores por la variedad gigante se respalda en el estudio de Tomalá (2015), debido a que es una variedad que destaca por su duración prolongada y

Tabla 1. Tabla resumen de las encuestas por cantones

Variable	Descripción	Porcentaje		
		Portoviejo	Tosagua	Rocafuerte
Variedad de coco producida	Enana	20,00%	50,00%	32,70%
	Gigante	80,00%	50,00%	42,00%
	Híbrida	0,00%	0,00%	25,30%
Comercialización de la producción de coco	Mercado interno	60,00%	100,00%	56,20%
	Mercado externo	40,00%	0,00%	43,80%
Disposición final de la cáscara de coco	Disposición en la basura	60,00%	50,00%	40,00%
	Abono	15,00%	25,00%	22,60%
	Quema	20,00%	25,00%	32,40%
	Alimento de animales	0,00%	0,00%	3,00%
	Entrega a terceros	5,00%	0,00%	2,00%
Cantidad de plantas por superficie cultivada	Menos de 100 plantas	40,00%	0,00%	52,00%
	Entre 101 y 500 plantas	30,00%	0,00%	38,40%
	Entre 501 y 800 plantas	30,00%	100,00%	9,60%
Fuente de suministro de agua utiliza para el cultivo de coco	Agua de río	22,50%	100,00%	29,00%
	Agua de pozo	52,50%	0,00%	71,00%
	Agua potable	25,00%	0,00%	0,00%
Aplicación de una práctica ambiental en la producción de coco	Si	30,00%	0,00%	37,00%
	No	70,00%	100,00%	63,00%

mayor producción de frutos. Además, el 48% de los productores enfrentan problemas con plagas durante la producción de coco (Zambrano et ál., 2021), lo que motiva el uso de variedades enanas más resistentes a las plagas, aunque de menor duración de vida (Fernández, 2017), o también las variedades híbridas sin comprometer tanto la producción ni la duración.

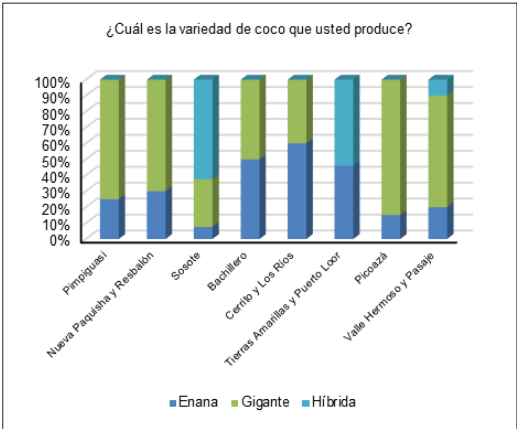


Figura 1. Variedad de coco producida

Los resultados indican que el 56% de los productores de estos cantones cosechan entre 800 y 1000 cocos, lo cual refleja los elevados niveles de producción en la provincia de Manabí, representando anualmente más de 970 toneladas (Barcia, 2020). Sin embargo, el 63% de los productores comercializa su producto en el mercado interno, mientras que solo el 37% lo hace en el mercado externo (véase figura 2), esto debido a que los productores enfrentan diversas dificultades para comercializar su producto, entre ellas la falta de puntos de acopio, escaso asesoramiento técnico y la ausencia de valor agregado a la producción (Macías et ál., 2018). Estas dificultades limitan las oportunidades comerciales entre productores y consumidores, llevando a que los productores se mantengan principalmente en la venta de materia prima a intermediarios o empresas.

En relación al destino de la cáscara de coco (véase figura 3), se observa que el 46% se desecha a través del servicio de recolección de basura, el 28% se quema para reducir el volumen de residuos, el 21% se aprovecha como materia orgánica para abonos, y el restante 5% se gestiona a través de terceros o se destina como alimento para animales. Estos resultados indican también que el 74% de los productores de coco no adoptan prácticas adecuadas, contribuyendo así a la contaminación ambiental. Por lo que la disposición directa de las cáscaras de coco en vertederos o rellenos sanitarios genera emisiones de gas metano, un potente gas de efecto invernadero (Sandoval y Unger, 2017). Además, la quema de residuos orgánicos produce monóxido de carbono y conlleva a la pérdida de nutrientes en el suelo afectado (Téllez et ál., 2006).

Respecto a la superficie cultivada (véase figura 4), se observa que el 50% de los productores tienen entre 1 y 3 hectáreas dedicadas al cultivo de coco, a los que se les pueden denominar productores pequeños, y en esas hectáreas en promedio un 43% de los productores cuentan con menos de 100 palmas en la superficie cultivada. Esto indica que en general la mayoría de productores minoristas de coco no consideran al

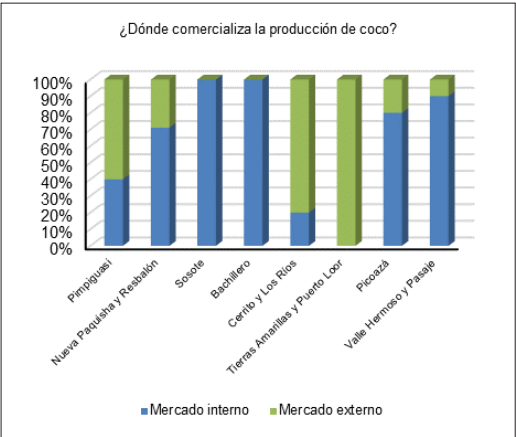


Figura 2. Comercialización del coco

coco como su principal fuente de ingreso sino como complementaria a la época o bien como producción para consumo propio.

En relación con el riego (véase figura 5), se destaca que el 58% de los productores utiliza agua de pozo, el 36% emplea agua directamente del río, y solo el 6% recurre a agua potable. Los productores tienen pleno conocimiento de la importancia de contar con una fuente de agua adecuada para el riego de sus cultivos.

Una fuente de agua en condiciones óptimas evita problemas como la presencia de microorganismos, desequilibrios de pH o sólidos suspendidos, factores que podrían perjudicar el desarrollo del cultivo o afectar los sistemas de riego (Zúniga y Mendoza, 2021). Además, según Láinez (2022) el agua proveniente de pozos se encuentra en mejores condiciones para ser utilizada en el riego de cultivos. Considerando las prácticas ambientales (véase figura

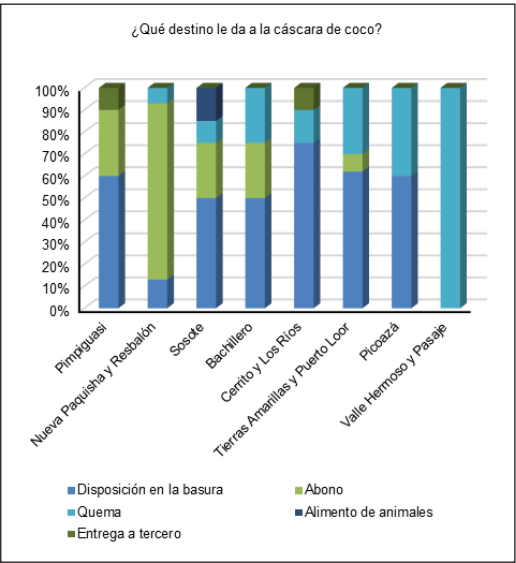


Figura 3. Disposición final de residuos de coco

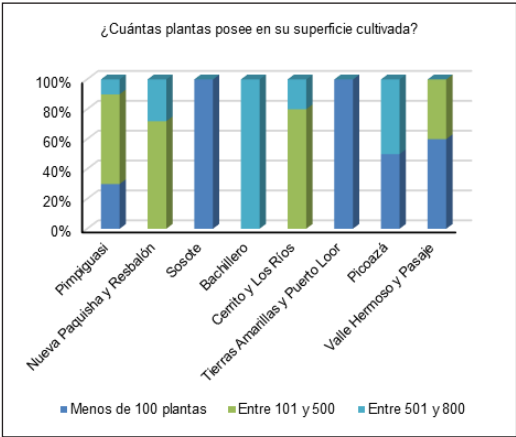


Figura 4. Número de plantas cultivadas

6), se observa que solo el 31% de los productores implementa buenas prácticas ambientales, mientras que el 69% restante no realiza ningún tipo de práctica ambiental en relación con los residuos o el cultivo de coco. No obstante, es destacable que el 97% de los productores de coco estarían dispuesto a participar en proyectos enfocados en la educación ambiental para beneficiar a sus cultivos y valorizar los residuos de coco.

Esta disposición demuestra el interés de los productores en adquirir buenas prácticas ambientales que favorezcan su producción y generen ingresos adicionales a través de la economía circular. Por lo tanto, resulta crucial concientizar a los productores sobre la importancia de sus acciones y potenciar sus capacidades, así como mejorar su percepción del entorno (Pérez et ál., 2019).

Al tabular los datos recopilados, se revela que los cantones de Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte generan un total de 371.7 toneladas de residuos de coco año (véase figura 7).

De total, el 96,31% corresponde al cantón de

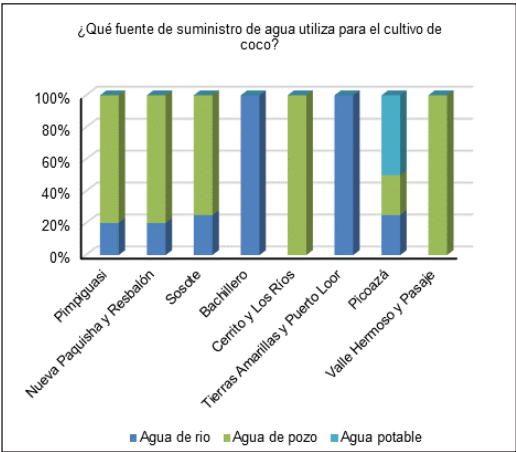


Figura 5. Fuente de suministro de agua para riego

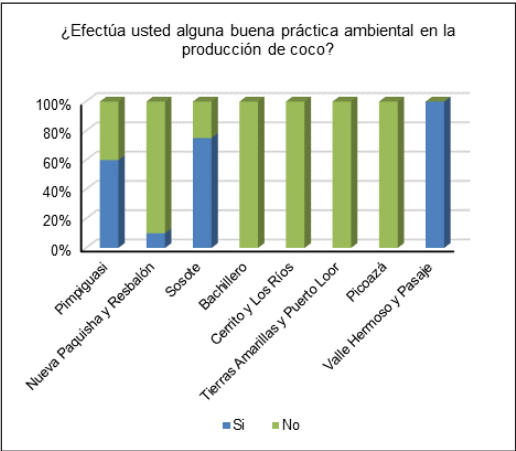


Figura 6. Buenas prácticas ambientales

Rocafuerte, el 2,64% al cantón de Tosagua, y solo un 1,05% al cantón de Portoviejo. Esto se corrobora con la investigación de Menéndez y Solórzano (2016), que señala que Rocafuerte posee la mayor cantidad de hectáreas de cultivo de coco a nivel de Manabí, y por ende genera más residuos. Es importante destacar que, dentro del cantón Rocafuerte, la comunidad Cerrito es la de mayor producción, aportando un 68,57% al total.

Actualmente, varios productos innovadores se están generando a partir de los residuos de coco. En Malasia, la empresa CocoPallet produce pallets ecológicos utilizando cáscaras de coco, evitando el uso de resinas sintéticas dañinas y costosas. Estos pallets son una alternativa sostenible y económica a los pallets de madera, beneficiando especialmente a países con recursos forestales limitados como China, Japón, Taiwán y Corea (Farez et ál., 2023). En 2020, el carbón activado derivado de la cáscara de coco generó ingresos de 1.605 millones de dólares, con Asia representando el 45% del mercado, seguida por América del Norte con el 25% y Europa con el 20%. Este producto tiene múltiples aplicaciones, incluyendo su uso en la industria automotriz para el control de emisiones de vapor y en los filtros de aire (Medaglia, 2020). Durante un viaje de surf en Indonesia, el australiano

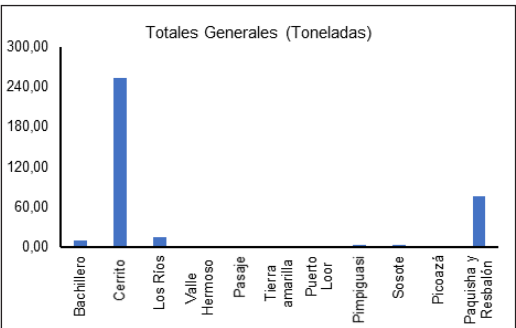


Figura 7. Toneladas de residuos de coco por año

Jake McKeon se inspiró al ver recuerdos hechos con cáscaras de coco desechadas y fundó Coconut Bowls en 2016. Esta empresa fabrica cuencos reutilizables a partir de cáscaras de coco, logrando éxito global y vendiéndose en más de 150 países. Además, ha reemplazado artículos de un solo uso en numerosos cafés, proporcionando empleo a artesanos de bajos ingresos en Vietnam e Indonesia.

La empresa demuestra un fuerte compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social, donando a organizaciones ambientales y compensando sus emisiones de carbono desde su inicio (Coconut Bowls, 2024).

En Latinoamérica, Coirtech, una empresa mexicana, se destaca por poseer el sistema de producción de fibra de coco más importante de la región. Esta compañía utiliza la fibra de coco con diferentes granulometrías como sustrato, adaptándose a las necesidades específicas de sus clientes (Coirtech, 2023). Gracias a sus propiedades fisicoquímicas y origen orgánico, este sustrato compuesto por fibras largas y cortas que contienen lignina, celulosa y hemicelulosa fomenta un excelente desarrollo radicular debido a su capacidad de retención de agua, lo que resulta en plantas con un rendimiento superior en la producción agrícola (Vargas et ál., 2008; Arrieta, 2019).

Así mismo, en Perú, según la Resolución Directoral Nº 0026-2016-MINAGRI-SENASA-DSV del Servicio Nacional de Sanidad Agraria, se establece que una alternativa que añade valor a los residuos de coco es su uso como sustrato en la agricultura, específicamente en invernaderos y sistemas hidropónicos. Esto permite visualizar diversas opciones de cómo aprovechar el residuo de coco como una materia prima en varias industrias.

Conclusión

Los cantones de Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte han logrado consolidarse como importantes productores en la provincia de Manabí, aprovechando las condiciones climáticas y sociales propicias para la producción de coco. A pesar de este éxito, resulta preocupante constatar que un 76% de los productores no gestionan de manera adecuada sus residuos post cosecha del coco.

Los cantones de Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte generan un total de 371,7 toneladas de residuos de coco al año. El 97.2% de este total proviene exclusivamente del cantón de Rocafuerte, siendo Cerrito, su comunidad destacada, responsable de más del 69% de la producción total. Estos datos subrayan la abundancia de materia prima disponible que puede ser aprovechada en futuros proyectos e investigaciones enfocados a la valorización de los residuos en el marco de la economía circular y la potencialización de las cadenas de valor.

Recomendaciones

Los cantones de Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte generan mensualmente más de 30 toneladas de residuos de coco. Estos desechos poseen un gran potencial para llevar a cabo diversas actividades económicas a nivel industrial. Por lo tanto, resulta imprescindible explorar nuevas alternativas para la gestión de estos residuos, especialmente ante el crecimiento continuo de este mercado, aprovechando la disposición de los productores en participar con la academia, ya sea con proyectos de educación ambiental o de bioemprendimientos de alto valor agregado para la gestión adecuada de los residuos.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar, D. (2019). Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el cantón Machala, El Oro, Ecuador [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana [UPS].
- Arrieta, N. (2019). Estudio de la generación y manejo de los residuos de la comercialización de coco en el municipio de Xoxocotla, Morelos [Tesis de especialidad]. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Barcia, Y. (2020). Canales de comercialización de los derivados de coco y su impacto económico en ASOPARC de la parroquia Cojimies del cantón Pedernales [Tesis de pregrado]. Universidad Estatal del Sur de Manabí [UNESUM].
- Bazurto, M., y Molina, L. (2024). Estrategias de valoración ambiental de la cáscara de coco (*Cocos nucifera* L.) en el sitio Pimpigüasi, Portoviejo [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López [ESPAM-MFL].
- Coconut Bowls. (2024). The Coconut Bowls Story. <https://www.coconutbowls.com/pages/the-coconut-bowls-story>
- Coirtech. (2023, 12 septiembre). Coirtech. Coirtech - la Mejor Fibra de Coco Para Tu Cultivo. <https://coirtech.com.mx/>
- Farez, A., Iman, H., y Muhammad, K. (2023). Pallet from coconut husk. International Agrotechnology Innovation Symposium (i-AIS), Malaca, Malasia.
- Fernández, N. (2017). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta para la elaboración de una bebida hidratante de agua de coco (*Cocos nucifera*) en Ayacucho [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga [UNSH].
- Guirao, S. (2015). Utilidad y tipos de revisión de literatura. Ene, 9(2). <https://doi.org/10.4321/s1988-348x2015000200002>
- Intriago, T., y Jiménez, B. (2021). Evaluación financiera de la elaboración de compost con el residuo del coco en la ciudad de Guayaquil [Tesis de maestría]. Escuela Superior Politécnica del Litoral [ESPOL].
- Lainez, M. (2022). Calidad de agua de pozos en la comuna Dos Mangas de la parroquia Manglaralto para el riego de cultivos agrícolas [Tesis de pregrado]. Universidad Estatal Península de Santa Elena [UPSE].
- Lima, A., y Gaia, A. (2014). Diagnóstico Rápido Participativo e Matriz Swot: Estratégias de Planejamento Estratégico com Base na Atual Posição do Curso de Secretariado Executivo UEPa. GeSec, 5(2), 117-137. <https://doi.org/10.7769/gesec.v5i2.283>
- Macías, J., y Zambrano, E. (2022). Microorganismos celulolíticos para la descomposición de la cáscara del coco en el sitio "Sosote", cantón Rocafuerte [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López [ESPAM-MFL].
- Macías, N., Esquivel, R., y Valdés, P. (2018). Caracterización de la producción y diversificación del coco para la transformación de la matriz productiva en Manabí-Ecuador. Observatorio de la Economía Latinoamericana. <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/11/produccion-diversificacion-coco.html>
- Medaglia, C. (2020). Oportunidades de comercialización para coco y subproductos. Promotora de Comercio Exterior [PROCOMER].
- Menéndez, J., y Solórzano, E. (2016). Creación de una planta procesadora y comercializadora de agua de coco y su aporte al desarrollo del sector productivo del sitio Sosote del cantón Rocafuerte. [Tesis de pregrado]. Universidad San Gregorio de Portoviejo [USGP].
- Merchán, V., y Sánchez, E. (2018). Diseño y construcción de un sistema de trillado de fibras obtenidas del desecho orgánico de cáscaras de coco [Tesis de titulación]. Escuela Superior Politécnica del Litoral [ESPOL].
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2020). Resumen ejecutivo de los diagnósticos territoriales del sector agrario. https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/Resumen-Ejecutivo-Diagn%C3%B3sticos-Territoriales-del-Sector-Agrario_14-08-2020-1_compressed.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2014). Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (BEFS RA).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2023). Cultivos y productos de ganadería. FAOSTAT.
- Pazmiño, J., y Rodríguez, M. (2017). Impactos socio-ambientales que ha generado el reasentamiento por la construcción de la presa Río Grande del proyecto multipropósito Chone en los habitantes de ciudad Jardín [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López [ESPAM-MFL].
- Pérez, D., y Blandón, F. (2019). Caracterización de sistemas de producción agrícola en los municipios de Telpaneca, San Lucas y San Juan de Río Coco, Departamento de Madriz, 2017-2018 [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria.
- Pérez, N., Cleveland, M., Lleras, S., Cortés, N., y Cortés, E. (2019). Educación ambiental mediante la metodología aprendizaje-servicio: percepción de adquisición de competencias e impacto en la comunidad. Revista Universidad y Sociedad, 11(4), 154-162. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v11n4/2218-3620-rus-11-04-154.pdf>
- Ponce, H. (2006). La matriz FODA: una alternativa para realizar diagnósticos y determinar estrategias de intervención en las organizaciones productivas y sociales. Contribuciones A la Economía. <https://www.eumed.net/ce/>
- Romero, V., Rosado, G., Sablón, N., y Burbano, L. (2020). Análisis de la cadena agroalimentaria del Coco (*Cocos nucifera*) en la provincia de Manabí, Ecuador. La Técnica, 24, 43. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i24.2345
- Sandoval, D., y Unger, G. (2017). El problema del reconocimiento en el conflicto socioambiental por vertederos públicos en la Araucanía, Chile. Linales, 6(11), 83-106. <https://doi.org/10.54255/lim.vol6.num11.302>
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú [SENASA]. (2016). Resolución Directoral N.° 0026-2016-MINAGRI-SENASA-DSV. Gobierno de Perú. <https://www.gob.pe/institucion/senasa/normas-legales/1131212-0026-2016-minagri-senasa-dsv>
- Téllez, J., Rodríguez, A., y Fajardo, Á. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. Revista de Salud Pública, 8(1), 108-117. <https://doi.org/10.1590/s0124-00642006000100010>
- Tomalá, W. (2015). Estudio de factibilidad para diez hectáreas de cultivo de coco (*Cocos nucifera*) en la comuna Valdivia, península de Santa Elena [Tesis de pregrado]. Universidad Estatal Península de Santa Elena [UPSE].
- Vargas, P., Castellanos, J., Sánchez, P., Tijerina, L., López, R., y Ojodeagua, J. (2008). Caracterización física, química y

biológica de sustratos de polvo de coco. Revista Fitotecnia Mexicana, 31(4), 375. <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.4.375>

Zambrano, J., Palacios, N., Alcívar, A., Alcívar, M., Arana, D., y Macías, C. (2021). La cadena de valor del coco (*Cocos nucifera* L.) y su productividad. Ciencia y Tecnología, 14(2), 41-46. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.501>

Zúñiga, D., y Mendoza, R. (2021). Gestión y manejo del agua en la agricultura. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/19866>

Contenidos de la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales Vol. 18(2)

Captura de carbono en cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.): Una estrategia de adaptación al cambio climático / Carbon capture in cocoa (<i>Theobroma cacao</i> L.): a climate change adaptation strategy	
Ángela Daniela Bermello Vélez, Lorena Lucía Briones Intriago, Holanda Teresa Vivas Saltos.....	591
Fertilizantes como fuente de contaminación por cd en suelos cultivados y arroz en la provincia de Guayas-Ecuador / Fertilizers as a source of cd contamination in cultivated soils and rice in the province of Guayas, Ecuador.....	
Jorge Muñoz, Beatriz Pernía, Mariuxi Mero, Erwin Larreta, Kenya Bravo, Josué Zambrano, Ámbar Benavides, Wilson Pozo and Lilian Spencer	599
Enfermedades Asociadas a las Actividades Agropecuarias: Análisis Geoespacial en San Isidro, Manabí-Ecuador / Diseases Associated with Agricultural Activities: Geospatial Analysis in San Isidro, Manabí-Ecuador	
Cedeño Zambrano José Gerado, Vivas Saltos Holanda Teresa & Gaón Rojas Jhon Stalin.....	610
Uso de la cáscara de banano para la remoción de cobre (II) en soluciones acuosas / Use of banana peel for the removal of copper (II) in aqueous solutions	
César Damian Zambrano Bazurto, Segundo Alcides García Muentes, Ramón Eudoro Cevallos Cedeño.....	621
Evaluación del estrés en peces de Latinoamérica a través de la respuesta en los niveles de cortisol / Stress assessment in Latin American fish through cortisol response levels.....	
Geovanna Parra-Riofrío, Gabriel Vaca Nuñez, Antonio Torres Noboa.....	628
Evaluación de los residuos postcosecha del coco (cocos nucífera L.) En Portoviejo, Tosagua y Rocafuerte, Manabi-Ecuador / Evaluation of post-harvest waste of coconut (cocos nucífera L.) In Portoviejo, Tosagua and Rocafuerte, Manabi-Ecuador	
Marco Andrés Pico Tola, María Angélica Mendoza Ponce, Ivana Mayerli Pin Napa, José Manuel Calderón Pincay.....	636

Normas para la publicación de artículos, “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales” / Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”