

REVISTA CIENTÍFICA

# CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

ISSN: 2773-7772/ Volumen 19 (2) Diciembre 2025



## 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  
Subdecano 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 Peninsula 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

## Concentración de Materia Orgánica en Sedimentos del Estero Salado de Guayaquil, Ecuador

Concentration of Organic Matter in Sediments of The Salado Estuary of  
Guayaquil, Ecuador

Jesús Alexander Cedeño Borrero <sup>1</sup>, Dayse Karina Guamán Guamán  
<sup>2</sup>, Ana de las Mercedes Grijalva Endara <sup>3</sup>, Patricia Antonieta Macias  
Mora <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

<sup>2</sup> Laboratorio Labmac, Control de Calidad, Durán, Ecuador

<sup>3</sup> Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, Guayaquil, Ecuador

<sup>4</sup> Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, Departamento de Oceanografía  
Química, Guayaquil, Ecuador

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

### Resumen

El estudio tuvo como objetivo determinar la concentración de materia orgánica en los sedimentos del Estero Salado de Guayaquil durante el período octubre-diciembre de 2021. Se recolectaron muestras en siete estaciones y se analizaron parámetros fisicoquímicos: materia orgánica (MO) por ignición, carbono orgánico total (COT) por oxidación húmeda, nitrógeno total (NT) por método Kjeldahl y pH por potenciometría. Los resultados mostraron concentraciones promedio de MO de  $17,06 \pm 3,92\%$ , clasificadas entre niveles moderados y altos. El pH presentó valores ligeramente alcalinos ( $7,81 \pm 0,59$ ), lo que favorece la actividad microbiana descomponedora de MO. Asimismo, se registraron concentraciones homogéneas de NT ( $3,95 \pm 0,55\%$ ) y una correlación directa entre MO y COT. Se concluye que la variación en el contenido de MO responde tanto a factores naturales como a la influencia antropogénica, lo que evidencia la necesidad de aplicar medidas de biorremediación en el área de estudio.

**Palabras clave:** materia orgánica, sedimentos, Estero Salado, nitrógeno total, carbono orgánico total.

### Abstract

The objective of this study was to determine the concentration of organic matter in the sediments of the Estero Salado in Guayaquil during the period October-December 2021. Samples were collected at seven stations and physicochemical parameters were analyzed: organic matter (OM) by ignition, total organic carbon (TOC) by wet oxidation, total nitrogen (TN) by Kjeldahl method, and pH by potentiometry. Results showed average OM concentrations of  $17.06 \pm 3.92\%$ , classified as moderate to high levels. The pH was slightly alkaline ( $7.81 \pm 0.59$ ), favoring microbial activity involved in OM decomposition. Homogeneous TN concentrations ( $3.95 \pm 0.55\%$ ) and a direct correlation between OM and TOC were also recorded. It is concluded that OM content variation is influenced by both natural and anthropogenic factors, highlighting the need to implement bioremediation measures in the study area.

**Keywords:** organic matter, sediments, Estero Salado, total nitrogen, total organic carbon

### Introducción

El Estero Salado es un estuario que nace como ramificación de un brazo de mar que se extiende desde el sur de la ciudad de Guayaquil, se adentra a unos 15 km desde la zona central y norte, presenta una variada flora y fauna en la ribera de sus manglares debido a la constante entrada y salida de mareas oceánicas, razón por la cual se lo considera como un recurso ambiental importante. (Rojas y Rojas, 2019)

La ciudad de Guayaquil cuenta con sistemas de drenaje fluvial y de alcantarillado, los mismo que se descargan a los ríos Daule - Guayas y al Estero Salado respectivamente, sin embargo, debido al crecimiento y asentamientos incontrolados de la población, sumado al relleno de sus ramificaciones, contaminación de sus aguas provocadas por el desarrollo industrial, falta de cultura ambiental y falta de servicio alcantarillado en ciertos sectores aledaños o invadidos han provocado

\* Correspondencia del autor:

E-mail: [jesus.cedenob@ug.edu.ec](mailto:jesus.cedenob@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.

la afectación y deterioro del Estero. (EMAPAG, 2015; Ministerio del Ambiente, 2019)

La cantidad de descarga de aguas residuales varía de acuerdo a la estación, EMAPAG (2015) menciona que durante la época seca se generan 280.000 m<sup>3</sup>/día y durante la época lluviosa 350.000 m<sup>3</sup>/día, en este último existe un efecto de dilución que impide la degradación del oxígeno disuelto influyendo en su aspecto y calidad microbiológica.

Estudios realizados desde el 2010 reportan altos valores de DBO<sub>2</sub> y bajas concentraciones de oxígeno en los tramos "A" (Urdesa - Kennedy) y "B" (Urdesa - Miraflores), debido a las descargas de aguas industriales y domésticas, generando condiciones anóxicas, los lodos por su parte también presentan elevadas concentraciones de sulfuros, altos valores de DBO<sub>2</sub>, y elevadas concentraciones de Hg y Pb. (Ministerio del Ambiente, 2019)

Los desechos industriales y domésticos se depositan en los sedimentos del estero, los cuales presentan un alto grado de contaminación. Los sedimentos se los considera un conjunto de capas de partículas finas de materia orgánica y minerales que se acumulan en el fondo de un cuerpo de agua, dicha acumulación puede afectar tanto la salud del medio ambiente como la humana. (Baird y Cann, 2012)

La materia orgánica del sedimento es la parte que resulta de la descomposición de animales y microorganismos, residuos vegetales y actividades antropogénicas; como la eliminación de desechos domésticos en las orillas de los cuerpos de aguas. (Guarco, 2015)

Al bajar la marea en el Estero Salado, se logra observar aguas servidas, restos de plásticos como botellas, vasos y fundas; además de desechos industriales en el

sedimento que queda expuesto. A su vez, se pueden percibir malos olores debido a la gran liberación de ácido sulfhídrico que produce la materia orgánica por acción del sol. (Hernández, 2017)

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad aportar información de la concentración de materia orgánica en sedimentos del Estero Salado de Guayaquil durante el año 2021. El porcentaje de materia orgánica es uno de los principales parámetros que se tienen en cuenta para conocer el nivel de contaminación de un cuerpo de agua, estos resultados serán de gran ayuda para la continuación de otras investigaciones y para los proyectos de remediación de entidades ambientales del país.

## Materiales y Método

### Tipo de investigación

El presente estudio fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo longitudinal.

### Área de estudio y muestreo

Las muestras de sedimentos se recolectaron en siete estaciones del Estero Salado, Guayaquil, durante los meses de octubre a diciembre de 2021. Las coordenadas geográficas de cada estación se presentan en la tabla 1.

La selección de los puntos de muestreo se realizó considerando accesibilidad, representatividad, seguridad y distancia, siguiendo criterios de Herranz (2007).

### Equipos, materiales y reactivos

Equipos: potenciómetro, balanza analítica, estufa, mufla, draga Van Veen, GPS, cronómetro, refrigeradora, sorbona, destilador de agua, equipo de digestión con sistema de recolección de gases, equipo de destilación con flujo de vapor y equipo titulador.

Materiales: pipetas volumétricas, probetas, desecador de vidrio, cajas Petri, mortero, pinzas, espátula, cápsulas de porcelana, hielera, fundas de polietileno con cierre hermético, pilón, vidrio reloj, vaso de precipitación y cinta de papel.

Reactivos: agua destilada y desionizada, reactivo de digestión, hidróxido de sodio 6 N, solución tampón de borato, solución de ácido bórico, solución indicadora de ácido bórico, solución indicadora mixta, solución titulante de ácido sulfúrico 0,02 N, solución de dicromato de potasio 1 N, ácido fosfórico al 85 %, fluoruro de sodio, reactivo indicador de difenilamina, ácido sulfúrico concentrado y solución ferrosa 0,5 N.

### Procedimiento de muestreo

Las muestras superficiales se recolectaron utilizando una draga Van Veen, almacenándolas en fundas de polietileno con cierre hermético, rotuladas y refrigeradas para su transporte al laboratorio. La información de cada muestra incluyó nombre de la

Tabla 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.

Número de estación	Nombre	Coordenadas geográficas
E1	Puente Portete	-2,195983, -79,936200
E2	Puente la 17	-2,189806, -79,912360
E3	Puente El Velero	-2,188973, -79,901283
E4	Puente Ecológico	-2,157516, -79,903046
E5	Puente Kennedy	-2,168477, -79,901527
E6	Puente Zig Zag	-2,178568, -79,903305
E7	Puente Las Monjas	-2,172243, -79,912729

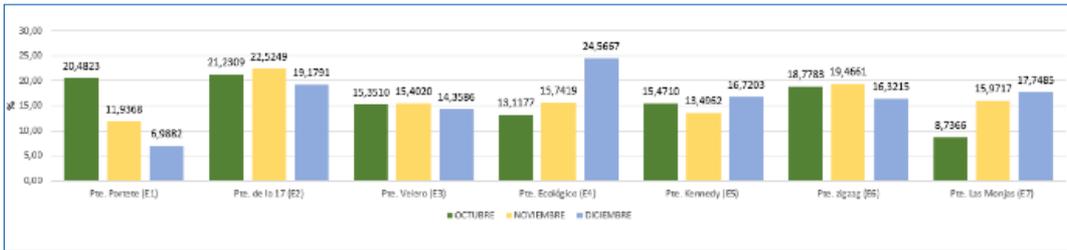


Figura 1 Porcentaje de Materia Orgánica en el Estero Salado durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2021.

estación, coordenadas, fecha, hora, condiciones atmosféricas y detalles del muestreo (INEN 2176, 2013).

Las muestras se conservaron a temperaturas entre 2 °C y 5 °C, y se transportaron protegidas de la luz y en recipientes individuales impermeables (INEN 2169, 2013).

**Procesamiento de la muestra**

Las muestras de sedimento se procesaron inicialmente mediante secado; para ello, 30 gramos de sedimento fueron colocados en cajas Petri y secados a 100 °C durante 24 horas. Posteriormente, el sedimento seco se pulverizó hasta obtener un polvo fino y se tamizó utilizando un tamiz No. 230 para uniformizar el tamaño de las partículas. Finalmente, el sedimento pulverizado se almacenó en frascos de polietileno con tapa rosca, debidamente rotulados, hasta su análisis posterior.

**Determinación de materia orgánica**

La materia orgánica se determinó mediante método de ignición (Schulte y Hopkins, 1996). Se pesaron 5 g de sedimento, se secaron a 105 °C por 24 h, se calcinaron en mufla a 550 °C por 6 h, y se calculó el porcentaje de materia orgánica según:

$$\% \text{ de Materia Orgánica} = \frac{(Peso_1 - Peso_2)}{Peso_1} * 100$$

donde Peso<sub>1</sub> es el peso inicial y Peso<sub>2</sub> el peso después de la ignición.

**Determinación de pH**

Se utilizó el método potenciométrico (INVENAR, 2003). Se mezcló 1 g de sedimento pulverizado con 10 mL de agua destilada, se agitó 15 min y se midió el pH con potenciómetro previamente calibrado.

**Determinación de nitrógeno total**

Se aplicó el método de Kjeldahl según Standard Methods (Baird et al., 2017), comprendiendo digestión, destilación y titulación. El contenido de nitrógeno se calculó como:

$$\%N = \frac{[(mi \text{ de ácido} - N \text{ del ácido}) - (mi \text{ blanco} \times N \text{ del ácido})] - (mi \text{ álcali} \times N \text{ del álcali}) \times 1,4007}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$

En esta ecuación, la letra N representa la normalidad de la solución utilizada, mientras que ml blanco

corresponde a los mililitros de álcali consumidos en la valoración por retroceso de un blanco.

**Determinación de carbono orgánico total (COT)**

El COT se determinó por oxidación húmeda (Walkley y Black, 1933). Se emplearon 0,5 g de sedimento seco, se adicionó K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1 N y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, seguido de dilución y titulación con solución ferrosa 0,5 N. El porcentaje de carbono orgánico se calculó mediante:

$$\% \text{ Carbono Orgánico} = 10 * (1 - T/S) * [1,0N (0,003) (100/W)]$$

donde T es la valoración de la muestra, S la valoración en blanco y W el peso de la muestra en gramos.

**Resultados**

**Materia orgánica**

Los datos indicaron que la mayor concentración promedio se registró en diciembre en la estación Punte Ecológico (E4), mientras que la menor se observó en Punte Portete (E1) para el mismo mes (Figura 1). El contenido de materia orgánica por estación fluctuó entre 13,14 % en E1 y 20,98 % en E2, con valores que se clasificaron en rangos moderado y alto según Reynold (1971) (Tabla 2). La distribución

Tabla 2 Promedio de Materia Orgánica por estaciones.

Estaciones	Promedio de M.O. (%)	Clasificación Reynold (1971)
Pte. Portete (E1)	13,14	Moderado
Pte. de a 17 (E2)	20,98	Alto
Pte. Velero (E3)	15,04	Moderado
Pte. Ecológico (E4)	17,81	Alto
Pte. Kennedy (E5)	15,23	Moderado
Pte. Zig - Zag (E6)	18,19	Alto
Pte. Las Monjas (E7)	14,15	Moderado

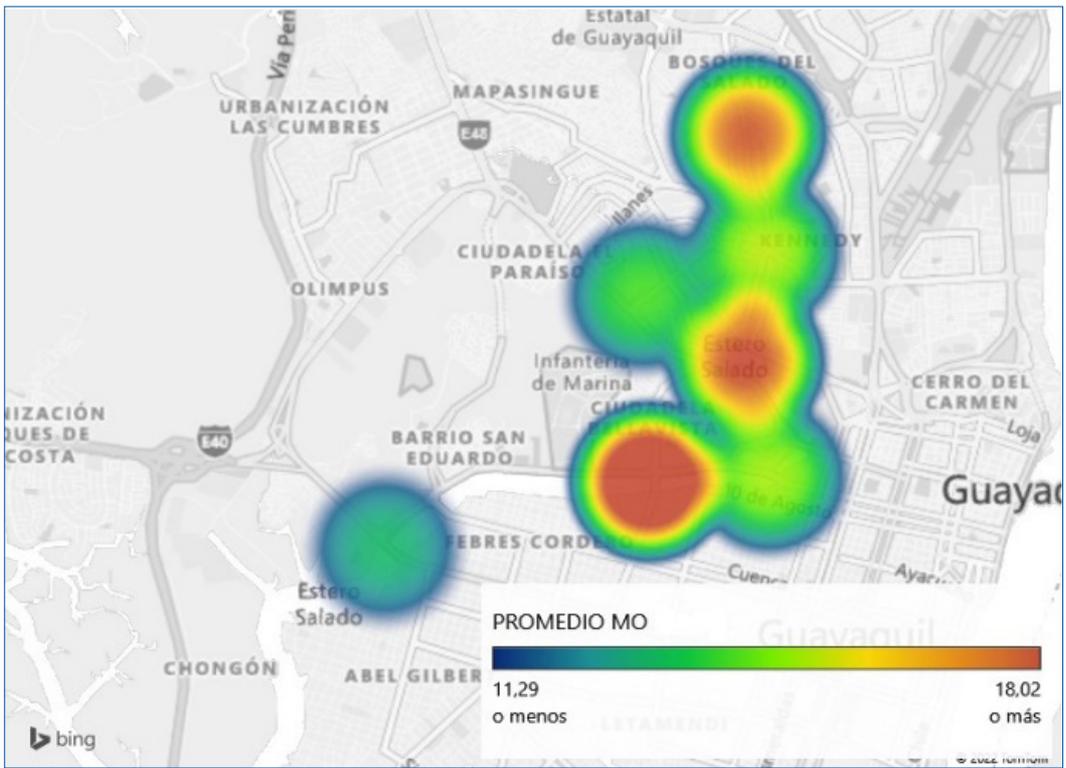


Figura 2 Distribución promedio de MO en las áreas de estudio.

promedio de materia orgánica en las siete estaciones durante los tres meses presentó un valor general de  $17,06 \pm 3,92$  % (Figura 3).

En la presente investigación, se aprecian valores superiores en comparación a lo descrito por Cárdenas (2010) donde el contenido de MO en los sedimentos del Estero Salado, oscilaban entre el 5 - 11 %. En la actualidad la presión antropogénica está asociada a diversos factores, tales como la falta de alcantarillado, actividades comerciales, asentamientos ilegales y manejo inadecuado de desperdicios. Sin embargo, existen concentraciones de MO dentro del rango aceptable, algunos varían de acuerdo con el mes, en otros casos reflejan valores elevados; condiciones influenciadas por factores naturales como la anchura

del estero, la estación (seca o lluviosa), flujo y reflujo de marea del agua que se asocia a la cinética del sedimento que se encuentra depositado en los ramales del Estero Salado.

pH  
 Los valores de pH de los sedimentos fueron homogéneos durante el período de estudio, con un promedio de  $7,81 \pm 0,59$  UpH. La estación E1 presentó el valor más alto y la estación E4 el más bajo, cercano a la neutralidad (Figura 3).

Estos valores no reflejaron una variación significativa durante el periodo de estudio, situación similar a lo indicado por Magallanes y Sucuy (2020), en su estudio "Análisis de la variación estacional de cadmio y estaño en sedimentos superficiales del Estero Salado-Guayaquil-Tramo B, durante el año 2019", donde el valor de pH corresponde a  $7,57 \pm 0,42$  UpH; registrados durante los meses de junio y octubre del 2019. Nitrógeno total y Carbono Orgánico Total

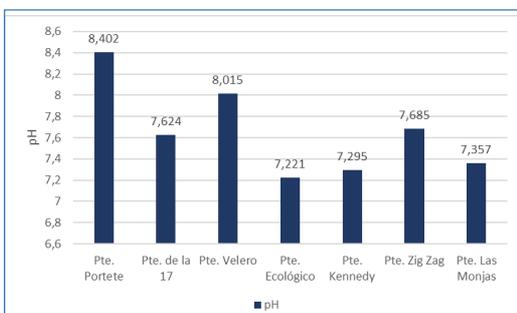


Figura 3 Valores de pH obtenidos en los sedimentos durante la época de estudio.

En diciembre de 2021, el contenido de nitrógeno total (NT) presentó valores homogéneos en toda el área de estudio, con un promedio de  $3,95 \pm 0,55$  %. El carbono orgánico total (COT) fue proporcional a la materia orgánica, mostrando que los valores de COT superaron a los de NT en la mayoría de las estaciones, excepto en E1 donde la relación COT:NT fue aproximadamente 1:1 (Figura 4).

De acuerdo con el TULSMA (2015), el valor de  $7,811 \pm 0,59$  UpH de las estaciones muestreadas se

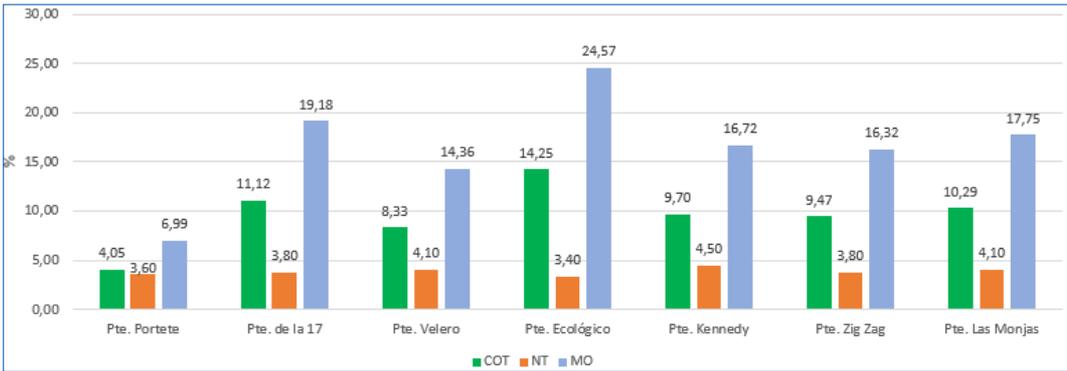


Figura 4 Relación COT:NT con MO en diciembre.

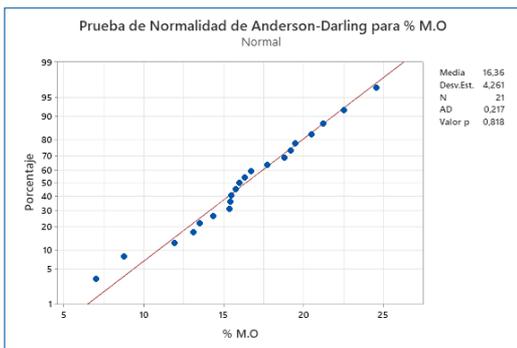


Figura 5 Prueba de Normalidad de Anderson - Darling para % MO.

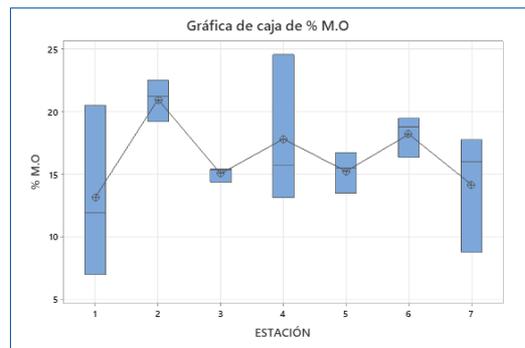


Figura 6 Gráfica de caja de % MO vs Estación.

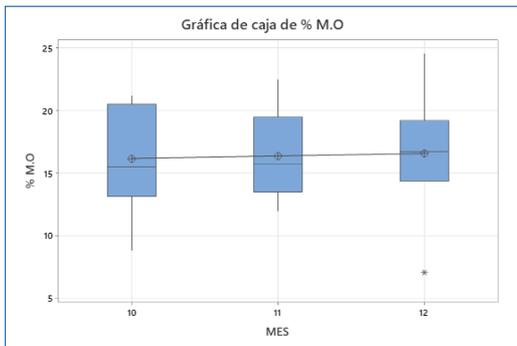


Figura 7 Gráfica de caja de % MO vs Mes.

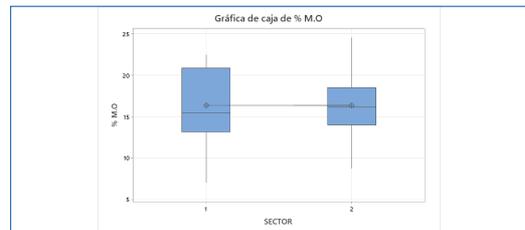


Figura 8 Gráfica de caja de % MO vs Sectores.

encuentra dentro del rango aceptable de 6 - 8, excepto las estaciones Pte. Portete y Pte. Veleró que superan ligeramente el límite máximo permisible. Según Boyd (2016), menciona que el pH alcalino (7,5 - 8) favorece la descomposición por acción bacteriana, tal como se evidencia en la tabla 2.

**Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos de materia orgánica mediante la prueba de normalidad de Anderson-Darling mostró que los 21 datos correspondientes a las siete estaciones durante los tres meses seguían una distribución normal, con una media de  $16,36 \pm 4,26$  % y un valor p de 0,818 (Figura 5).

El análisis de varianza (ANOVA) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de materia orgánica entre estaciones ( $p = 0,287$ ) ni entre los meses de estudio ( $p = 0,987$ ) (Figura 6 y 7).

De igual forma, la prueba T de Student indicó que no existieron diferencias significativas entre los sectores del Estero Salado, con un valor  $p = 0,984$  (Figura 8).

**Conclusión**

Se determinó la concentración de materia orgánica en los sedimentos del Estero Salado de Guayaquil, Ecuador, observándose variaciones entre las diferentes estaciones y meses de muestreo, con valores clasificados entre rangos moderados y altos. Asimismo, se cuantificó el contenido de carbono orgánico total y de nitrógeno total mediante los métodos de oxidación húmeda y Kjeldahl,

respectivamente, evidenciando que el carbono orgánico constituye la mayor proporción de la materia orgánica presente en los sedimentos. Se estableció la distribución espacial de la materia orgánica en las estaciones muestreadas, lo que permitió interpretar los patrones de acumulación y relacionarlos con factores ambientales y antropogénicos. Finalmente, al comparar la proporción de materia orgánica en relación con las variables mes, sector y estación, los análisis estadísticos demostraron que no existieron diferencias significativas, aceptándose así la hipótesis nula de normalidad en la distribución de estas variables.

Estos hallazgos proporcionan información valiosa sobre la composición y distribución de la materia orgánica en los sedimentos del Estero Salado, constituyendo una base para futuras investigaciones y acciones de gestión ambiental.

## Recomendaciones

Se recomienda implementar un plan de monitoreo y remediación en las zonas con mayores concentraciones de materia orgánica. Además, se sugiere complementar los análisis realizados con la determinación de fósforo total y un estudio granulométrico de los sedimentos, con el fin de evaluar su influencia sobre la carga microbiana y la dinámica de los nutrientes en el Estero Salado.

## Referencias Bibliográficas

- Baird, C., y Cann, M. (2012). *Química Ambiental*. New York, USA: Reverté S.A.
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). Standard Methods for The Examination Of Water and Wastewater. En *American Public Health Association* (23a ed.). Washington DC, United States: American Public Health Association.
- Boyd, C. (2016). *Descomposición y acumulación de materia orgánica en estanques*. Obtenido de: <https://www.globalseafood.org/advocate/descomposicion-y-acumulacion-de-materia-organica-en-estanques/>
- Cárdenas, M. (2010). *Efecto de la contaminación hidrocarbúrica sobre la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos presentes en el sedimento del Estero Salado* [Tesis de maestría, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional Universidad de Guayaquil. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/c2e37bff-e24d-4f6a-8a75-79b2ef358aed>
- EMAPAG. (2015). *DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO UNIVERSALIZACIÓN DEL ALCANTARILLADO SANITARIO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL - PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "LAS ESCLUSAS" Y SUS COMPONENTES COMPLEMENTARIOS*. Guayaquil.
- Guarco, K. (2015). *Tratamiento del sedimento marino del Ramal B del Estero Salado de Guayaquil, por el método "Soil-Washing", para la remoción de metales pesados* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Hernández, A. (2017). *Evaluación de la contaminación físico-química y microbiológica de aguas del Estero Salado, Puente de Gomez Rendón, Guayaquil-Ecuador, año 2017* (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Herranz, M., Bolivar, J., Liger, E., Payeras, J., y Pinilla, J. (2007). *Procedimiento de toma de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental*. Madrid, España: Consejo de Seguridad Nuclear.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros isicoquímicos y contaminantes marinos (agua, sedimentos y organismos)*. En *Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos*. Santa Marta, Colombia: INVEMAR.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176: 2013 Agua, Calidad de Agua, Muestreo, Técnicas de muestreo*. Quito, Ecuador. Recuperado de: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf?x42051>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras*. En *Instituto Ecuatoriano De Normalización*. Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf>
- Magallanes, F. y Sucuy, B. (2020). *Análisis de la variación estacional de cadmio y estaño en sedimentos superficiales del Estero Salado-Guayaquil-Tramo B, durante el año 2019* (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Proyecto de recuperación de las áreas protegidas de la ciudad de Guayaquil en Estero Salado e Isla Santay* (Vol. 0). Guayaquil. Recuperado de: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/2.ESTERO-SALADO.pdf>
- Reynold, M. (1971). *A Manual of Introductory Soil Science and Simple Soil Analysis Methods*. South Pasific, Nouena New Caledonia.
- Rojas, M., y Rojas, D. (2019). El Estero Salado en el desarrollo urbano de Guayaquil: crónicas de un recurso natural en decadencia. *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*. doi: 10.5821/siiu.6590
- Schulte, E., & Hopkins, B. (1996). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. En *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation* (pp. 21-31). Madison, Estados Unidos: Soil Science Society of America. doi: 10.2136/sssaspecpub46.c3
- Walkley, A., & Black, I. A. (1933). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, Vol. 37, pp. 29-38. doi: 10.1097/00010694-193401000-00003

# Obtención de grasas lubricantes a partir de la epoxidación del aceite de las semillas de Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L"), del cantón "San Vicente" de la provincia de Manabí

Obtaining lubricating greases from oil epoxidation from the seeds of Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L"), from the canton "San Vicente" of the province of Manabí

Fernando David García Pallo & Brando José Ponce Holguín

*Universidad Técnica de Manabí*

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

## Resumen

El presente estudio se enfoca en la obtención de grasas lubricantes a partir de la epoxidación del aceite extraído de las semillas de Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L"), cultivadas en el cantón San Vicente, provincia de Manabí. La investigación aborda la creciente necesidad de alternativas sostenibles a los lubricantes tradicionales a base de petróleo, esto mediante la utilización del aceite de una semilla no tan conocida como el Sacha Inchi. Mediante un proceso de epoxidación, se modificó químicamente el aceite para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y adaptarlo a aplicaciones como lubricante. El estudio incluye el diseño experimental para optimizar las condiciones de reacción, evaluando factores como la concentración de reactivos, la temperatura y el tiempo de reacción. Los resultados obtenidos demostraron la viabilidad del uso de aceite de Sacha Inchi epoxidado como una opción sostenible y efectiva en la formulación de grasas lubricantes, concluyendo que este posee características físico-químicas favorables tanto en su forma cruda como epoxidada y hallándose dentro de las normativas INEN y ISO especificadas para este tipo de grasas.

**Palabras Clave:** aceites vegetales, biolubricantes, química verde, sostenibilidad.

## Abstract

This study focuses on obtaining lubricating greases from the epoxidation of oil extracted from Sacha Inchi seeds ("Plukenetia volubilis L"), grown in the San Vicente canton, Manabí province. The research addresses the growing need for sustainable alternatives to traditional petroleum-based lubricants, through the use of oil from a seed that is not as well-known as Sacha Inchi. Through an epoxidation process, the oil was chemically modified to improve its physicochemical properties and adapt it to applications as a lubricant. The study includes the experimental design to optimize the reaction conditions, evaluating factors such as the concentration of reagents, temperature and reaction time. The results obtained demonstrated the viability of using epoxidized Sacha Inchi oil as a sustainable and effective option in the formulation of lubricating greases, concluding that it has favorable physicochemical characteristics both in its raw and epoxidized form and is within the INEN and ISO regulations specified for this type of greases.

**Keywords:** vegetable oils, biolubricants, green chemistry, sustainability.

## Introducción

Actualmente, la industria está cada vez más interesada en el desarrollo de productos que sean sostenibles y que minimicen la dependencia de recursos no renovables. Los aceites vegetales se utilizan ampliamente en la producción de alimentos en diferentes campos: doméstico, comercial o industrial (Cabrera-Blanco et al., 2013). Esta es una realidad sobre todo en Latinoamérica, en donde las regulaciones y leyes ambientales para el uso y manejo

de lubricantes no están establecidas de manera clara. Siendo esto una problemática que provocaría un claro deterioro del ecosistema sino también una reacción en cadena que eventualmente afectaría a la sociedad a largo plazo, presentando un alto riesgo de contraer ciertas enfermedades (Mateus-Cruz et al., 2021). De manera global, el consumo anual promedio de lubricantes fluctúa de 30-40 millones de toneladas métricas, de los cuales el 95% son de origen mineral, a su vez se estima que alrededor del 75% de estos

\* Correspondencia del autor:

E-mail: fernandogpallo224@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.

lubricantes usados tienen como último fin cuerpos de agua u otros ecosistemas, a través de fugas, derrames o accidentes industriales, lo que trae como consecuencia una alta contaminación ambiental que ya es preocupante al ser generalmente precedida por la presencia de componente con baja biodegradabilidad como lo son metales pesados y aditivos altamente tóxicos (Sánchez-Hechavarría et al., 2023).

En el Ecuador actualmente no existen registros estadísticos sobre la elaboración de aceites lubricantes, esto se debe a que en su mayoría se importan, entre los años de 2017 y 2018 la importación de estos llegó a cifras de 4.020.000 toneladas métricas, correspondiente a 333 millones de dólares (López-Zambrano et al., 2022). Datos que sugieren que el desarrollo de la industria local de lubricantes podría ser una alternativa sostenible a partir de investigaciones con materia prima cultivada en nuestro país.

La materia prima vegetal derivada de semillas como la de Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis L.*) para la epoxidación se ofrece como una alternativa ideal a los recursos fósiles y ha sido propuesta como una fuente sostenible equivalente al petróleo. Entre las diferentes fuentes de biomasa se encuentran los aceites vegetales no comestibles, como el aceite de Sacha Inchi (Origlia et al., 2019). Los aceites epoxidados son fluidos viscosos de apariencia translúcida y una leve coloración blanca, están compuestos por triacilglicerolos cuyas insaturaciones fueron sustituidas por la inclusión de una molécula de oxígeno que forma un anillo carbono oxígeno-carbono, confiriéndole la estructura de un éter cíclico.

Los aceites epoxidados se usan principalmente en la elaboración de lubricantes, alcoholes, alcanos amidas,

compuestos carbonílicos y glicoles. En el sector de los polímeros, los aceites epoxidados son empleados para elaborar resinas de poliuretano, poliéster y epóxicas (Ramírez Jiménez, 2020.).

En Ecuador 13 provincias cultivan Sacha Inchi, entre las que se encuentran: Manabí, El Oro, Pichincha, Loja, Morona Santiago, Esmeraldas, Napo, Orellana, Pastaza, Santo Domingo de los Tsáchilas, Azuay, Cañar y Guayas; desde el año 2021 se ha incentivado su producción pues representa grandes beneficios económicos (Alarcón et al., 2021). El sachá Inchi (*Plukenetia volubilis L.*) es una planta amazónica que presenta floración y fructificación continua, su aceite contiene un alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados, considerados de gran importancia para la salud humana (Soto et al., 2019.). El ácido  $\alpha$ -linolénico es el principal ácido graso en este aceite, con porcentajes superiores al 51 %, seguido de los ácidos  $\alpha$ -linoleico y oleico 2,3 (Rivera et al., 2019.).

De acuerdo con lo expuesto, se plantea la obtención de grasas lubricantes a partir de la epoxidación del aceite de las semillas de Sacha Inchi ("*Plukenetia volubilis L.*"), del cantón "San Vicente" de la provincia de Manabí. Esta investigación busca brindar una alternativa al uso de lubricantes a base de petróleo, proponiendo un enfoque que aproveche recursos renovables y no tan conocidos como lo es las semillas de Sacha Inchi, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo de una futura industria local.

## Materiales y Métodos

La presente investigación es un estudio experimental que se desarrolló en la Universidad Técnica de Manabí. La metodología utilizada fue la expuesta por (Baque

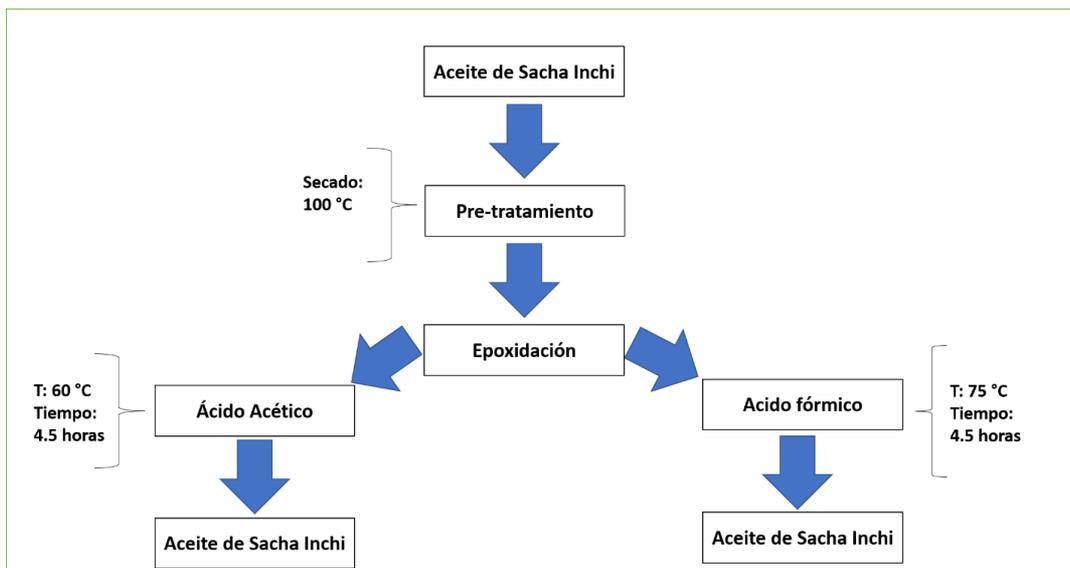


Figura 1. Esquema del proceso de obtención de grasas lubricantes a partir de aceite de las semillas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*)

et al., 2023), misma que se describe a continuación. Caracterización del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*).

**Obtención de la materia prima y Pre-tratamiento**  
 El aceite de Sacha Inchi fue suministrado en la cosecha del mes de Julio por un emprendimiento del cantón San Vicente (0.5976° S, 80.4194° O), perteneciente a la provincia de Manabí, el mismo que elabora este tipo de aceite de manera artesanal. Con el fin de eliminar cualquier tipo de impurezas o humedad que pudiesen interferir en el proceso de epoxidación se procedió a secar las muestras de aceite a 100 °C en la estufa (Helos Heat, modelo H055N).

**Diseño experimental**

El proceso de epoxidación se ejecutó utilizando: ácido acético (85%) y ácido fórmico (85%), mismo que se ilustra en la figura 1. Para la epoxidación se utilizaron 50 g de aceite de Sacha Inchi para cada ensayo, misma que se llevó a la plancha calefactora donde se sometió a calentamiento, y mediante la utilización de un termómetro digital se mantuvo una temperatura de 75°C constante. Posteriormente, se agregaron 16.5 mL de ácido fórmico y 0.9 mL de ácido sulfúrico (H2SO4) como catalizador, hasta que la solución se tornara de una coloración oscura, en este punto fue adicionado 61.5 mL de peróxido de hidrogeno al 30%, el tiempo de la epoxidación fue de 4.5 h.

Debido al nivel de pH (3) en ambas muestras, se utilizó NaOH con una concentración de 30% para neutralizar a un pH de 5 en los diferentes ácidos usados durante la epoxidación. El pH fue medido con un potenciómetro (Multifunction, modelo EZ-9902).

Para el proceso de separación de la fase acuosa y la fase oleosa se utilizó un balón de capacidad 100 mL, este proceso duró un tiempo de 24 h, pasado el tiempo de separación se retiró la fase acuosa del

Tabla 1. Análisis físico-químicos y bromatológicos aplicado al aceite crudo y epoxidado Sacha Inchi mediante métodos estandarizados

Propiedades	Método	Norma
Índice de acidez (mg/KOH/g)	Titulación	NTC 2366
Índice de yodo (I2/100g)	Método de Wijs	EN 14111
Densidad 15 °C (Kg/m3)	Picnómetro	ASTM D-1217
Viscosidad cinemática 40°C (mm2/s)	Viscosímetro de Ostwald	ASTM D-445
Humedad (%)	Pérdida por calentamiento	INEN 0039
Color	Cualitativo	-

Fuente: (Baque et al., n.d.)

Tabla 2. Resultados de la caracterización del aceite crudo de Sacha Inchi ("Plukenetia Volubilis L.")

Propiedades	Aceite crudo	Aceite crudo Reportado por otros autores	Referencias
Índice de acidez (mg/KOH/g)	1,25	0,38	
Densidad (Kg/m3)	902	910	(Hidalgo et al., n.d.)
Viscosidad Cinemática 40 °C (mm2/s)	41,2	-	
Índice de yodo (I2/100g)	146,94	192,5	
Humedad (%)	0,048	0,05	(Aranda-Ventura et al., 2019)
Color	Amarillo intenso	-	-

Fuente: Elaborado por el autor

balón para dejar la oleosa y proceder al lavado con 100 mL de agua destilada, esto con el fin de eliminar cualquier tipo de sales formadas y neutralizar los ácidos presentes. Finalmente, las muestras fueron llevadas a la estufa (Helos heat, modelo H055N) a 105 °C y al desecador para eliminar cualquier rastro de humedad presente en el aceite epoxidado, las muestras se almacenaron en frascos ámbar.

El proceso para la epoxidación con ácido acético fue la misma, difiriendo únicamente en la temperatura (60°) y cantidad de catalizador empleada, siendo este de 1.35 mL H2SO4 y 13.5 mL de NaOH para regular el pH.

Con respecto al 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 una T student de dos factores, 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.

**Análisis físico-químicos**

En la tabla 1 se describen los análisis físico-químicos aplicados tanto al aceite crudo de Sacha Inchi, como al aceite epoxidado. Dichos ensayos fueron realizados

Tabla 3. Resultados de la Epoxidación del aceite crudo de Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L")

Propiedades	Aceites Epoxidados				Referencia	Norma	Valoración
	Ácido Fórmico	Ácido Acético	Media	Desviación Estándar			
Índice de acidez (mg/KOH/g)	1,84	1,44	1,64	0,20	2 máx.	ASTM 1298	Sí cumple/No Cumple
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	974	998	986	24	920-1000	ASTM 1298	Sí Cumple en ambos
Viscosidad Cinemática (40°)	69,3	72,5	70,9	3,2	61,2-74,8	ISO	Sí cumple en ambos
Índice de yodo (I <sub>2</sub> /100g)	29,81	36,51	33,16	3,85	120 máx.	EN 41111	Sí cumple en ambos
Humedad (%)	0,035	0,041	0,038	0,003	0,05 máx.	ASTM D6304	Sí cumple en ambos
Color	Ligeramente amarillo	Ligeramente amarillo	-	-	-	-	-

según lo estipulan las normas INEN y ASTM.

Las fórmulas utilizadas para la determinación de las propiedades físico químicas del aceite crudo y epoxidado a partir de los métodos descritos en la tabla 1 se desglosan a continuación:

Índice de acidez

$$\text{Índice de acidez} = \frac{V \times N \times \text{EqKOH}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (1)$$

Donde V: volumen (m<sup>3</sup>, L, mL) de KOH consumido en el proceso de la titulación, N la normalidad del KOH (0,078) y el EqKOH el equivalente químico que corresponde a 56,1.

Índice de yodo

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(V_s - V_n) \times N \times 12,69}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (2)$$

Teniendo que Vs son los mililitros de tiosulfato de sodio usados en el blanco, Vn son los mililitros de tiosulfato de sodio pentahidratado (I) usados en la muestra y N es la normalidad del tiosulfato de sodio.

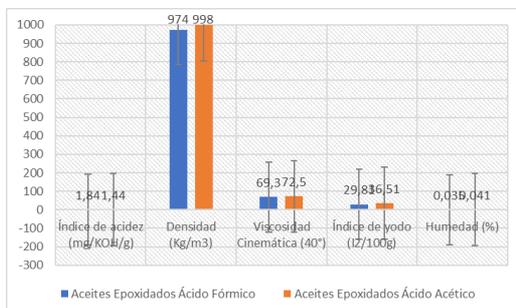


Figura 2. Comparación de las propiedades entre el aceite epoxidado con ácido fórmico vs el aceite epoxidado con ácido acético. Fuente: elaborado por el autor

Densidad

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso del aceite (g)}}{\text{Volúmen del picnómetro}} \quad (3)$$

Viscosidad

$$\text{Viscosidad dinámica} = \frac{\eta_{H_2O}}{\eta_{\text{fluido}}} = \frac{\rho_{H_2O} t_{H_2O}}{\rho_{\text{fluido}} t_{H_2O}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Teniendo que en la ecuación 4, η es viscosidad dinámica, ρ la densidad y t el tiempo. En la ecuación 5, el valor de μ corresponde a la viscosidad dinámica hallada en la Ecuación. 4.

Humedad

$$\% \text{ Humedad} = \left( 1 - \frac{\text{Peso de la muestra seca (g)}}{\text{Peso de la muestra húmeda (g)}} \right) \times 100 \quad (6)$$

## Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos experimentalmente del trabajo de investigación: El aceite de Sacha Inchi caracterizado presentó

Tabla 4. Análisis de t student

Propiedad	Valor t	Valor p	Diferencia Significativa
Índice de acidez (mg/KOH/g)	6,32	0,0327	Sí
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	0,96	0,4861	No
Viscosidad cinemática (40° C)	3,55	0,0129	Sí
Índice de yodo (I <sub>2</sub> /100g)	9,93	0,0000	Sí
Humedad (%)	7,25	0,0016	Sí

algunas diferencias significativas en sus propiedades en comparación con investigaciones anteriores, las mismas se indican en la tabla 2 a continuación:

La tabla 2 muestra los resultados de las propiedades físico- química y bromatológicas analizadas para el aceite crudo de Sacha Inchi, a su vez se realiza una comparación con lo reportado por otros autores debido que este tipo de aceite no tiene una norma establecida en cuanto a su uso para fines de grasas lubricantes.

En la tabla 3, se presentan los valores obtenidos de la caracterización físico- química realizada al aceite epoxidado, teniendo una variación poco significativa entre los dos ácidos utilizados, lo que podría ser un indicativo de que ambos tienen una alta eficacia en el proceso de epoxidación y la elección entre ellos dependería de otros factores a considerar como costo o disponibilidad.

En la figura 2 se presenta gráficamente la diferencia entre el aceite epoxidado con ácido acético vs el aceite epoxidado con ácido fórmico. El ácido fórmico parece tener una ligera ventaja en términos de un índice de yodo más bajo y un índice de acidez más cercano al estándar máximo permitido. Esto podría indicar que el ácido fórmico es marginalmente más eficiente en la epoxidación, resultando en un aceite con menos insaturaciones (menor índice de yodo) y una acidez ligeramente menor. La diferencia en densidad entre los dos aceites es notable, con el ácido acético produciendo un aceite ligeramente más denso. Esto podría influir en la decisión de elección del ácido dependiendo del uso final del lubricante. Ambos aceites tienen niveles de humedad muy bajos, lo que es visualmente apreciable en el gráfico, subrayando que ambos procesos de epoxidación son eficaces en mantener la baja humedad del producto final.

La tabla 4 describe un análisis de t student aplicado a los resultados obtenidos, teniendo que en todas propiedades se halló una diferencia significativa  $p > 0,05$ , a excepción de la densidad en donde no se halló diferencias significativas ( $p=0,4861$ ), lo que podría indicar que no existe una diferencia relevante en la densidad de las dos muestras de aceite con los diferentes ácidos utilizados.

## Discusión

### Caracterización del aceite de Sacha Inchi

La muestra de aceite de Sacha Inchi presentó un índice de acidez mayor (1,25 mg/KOH/g) que el reportado por (Hidalgo et al., 2019) (0,38 mg/KOH/g), lo que indica un mayor contenido de ácidos grasos libres presentes en el aceite, esto puede deberse a distintos factores entre los que destacan la calidad de materia prima, las condiciones de extracción del aceite y también la degradación oxidativa que este haya sufrido, si el aceite ha sido almacenado por un tiempo prolongado puede provocar una hidrólisis de

los triglicéridos, liberando con ello más ácidos libres. Se obtuvo una densidad de 902 kg/m<sup>3</sup>, considerándose un aceite con buena composición, similar a lo reportado por otros autores. En la investigación de Paucar-Menacho et al., (2015) se obtuvo un valor de 952,3 kg/m<sup>3</sup> utilizando aceite de oliva, la diferencia reside en que predomina el ácido oleico (un ácido graso monoinsaturado), lo que contribuye a su mayor densidad en comparación con el aceite de Sacha Inchi, que tiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados como el ácido alfa-linolénico. Según la norma técnica ecuatoriana INEN (2014) la densidad debería tener un mínimo de 926 y máximo de 931, sin embargo, esta norma no es clara con respecto a si además de aplicar para el rango en que debe estar para consumo humano, también es aplicable para su posterior uso en grasas lubricantes.

La viscosidad cinemática obtenida del aceite crudo fue de 41,2 mm<sup>2</sup>/s, aquel valor se puede constatar en la investigación de (Mejía, 1997) que obtuvo un valor de 41,639; además en comparación a los otros tipos de aceites vegetales, éste posee una mayor viscosidad (Corach, 2018); ya que en este tipo de aceite predomina más el ácido linoleico, un ácido graso que le brinda la propiedad de ser más viscoso.

El valor obtenido de índice de yodo en el aceite crudo es ligeramente bajo respecto a valores establecidos por (NTP 151.400, 2009) que anuncia un intervalo entre 176-186 g de I<sub>2</sub>/100g de grasa y Pérez Romero (2008) que en su trabajo de investigación obtuvo un índice de yodo de 186,25 g de I<sub>2</sub>/100g de grasa, estas variaciones pueden deberse al tipo de extracción de aceite que usaron. Una mayor variación en el índice de yodo indica fluctuaciones en la cantidad de dobles enlaces, lo que es crucial para la epoxidación, ya que estos dobles enlaces son los sitios reactivos para la formación de epóxidos. Si el índice de yodo es bajo, habrá menos sitios disponibles para la epoxidación, resultando en un menor rendimiento de epóxidos.

El contenido de humedad es bajo (0,048%), alineado con otros estudios, lo que es favorable para la estabilidad del aceite. Los autores (Aranda-Ventura et al., 2019), obtuvieron un valor similar al de esta investigación de 0,05%, casi al límite de lo recomendable. Una alta humedad en el aceite puede interferir con la epoxidación al promover reacciones secundarias, como la hidrólisis de los epóxidos formados, lo que reduce la eficiencia del proceso y la calidad del producto final. Además, la presencia de agua puede catalizar la descomposición de los reactivos utilizados, comprometiendo el rendimiento del proceso.

El aceite de Sacha Inchi tiene un color amarillo debido a la presencia de carotenoides y otros pigmentos naturales. Este color puede ser más intenso en aceites no refinados o menos procesados, como en este caso era un aceite artesanal su color no podía ser tan claro al no haber pasado por un proceso de refinación industrial, es decir era un aceite crudo.

Caracterización del aceite epoxidado con ácido acético y ácido fórmico.

Se registro en la tabla 3 valores de 1,84(mg/KOH/g) para el ácido acético y 1,44(mg/KOH/g) para el ácido fórmico; evidenciando con ello que el aceite epoxidado con ácido fórmico está dentro de la norma, mientras que el aceite epoxidado con ácido acético está fuera de la norma ASTM 1298 que establece un valor máximo de 2 mg/KOH/g. Sin embargo, en investigaciones como la de Baque et al., (2023), en el que usaron ácido fórmico para la epoxidación de un aceite vegetal obtuvieron un valor de 18,94. Un aceite epoxidado no debe tener un índice de acidez alto porque los ácidos libres presentes pueden catalizar la apertura de los anillos epóxidos, lo que conduce a la formación de compuestos no deseados y reduce la estabilidad y calidad del aceite epoxidado.

En la figura 2 se exponen los resultados de la media de la densidad medidos a 27°C para el aceite epoxidado obtenido a partir del ácido fórmico y del ácido acético, cuyos valores son 974 y 998 kg/m<sup>3</sup> respectivamente; dicho aumento se debe principalmente a la estructura y composición de ambos ácidos cuya reacción conlleva a la formación de anillos aromáticos en la estructura de los triglicéridos del aceite crudo; estos anillos que tienen en su estructura un átomo de oxígeno provoca un incremento de las fuerzas intermoleculares tipo dipolo-dipolo llevando así al aumento de esta propiedad (Ríos et al., 2019). En ambos aceites la densidad se encuentra dentro del límite que indica la norma ASTM D-1298, que especifica un valor máximo de 920-1000kg/m<sup>3</sup> para su uso como lubricantes en motores a diésel. Un cambio en la densidad puede indicar alteraciones en la estructura del aceite después del proceso de epoxidación. Un aceite con una densidad demasiado baja o alta puede tener propiedades físicas y químicas diferentes a las esperadas, lo que puede afectar su desempeño en aplicaciones específicas.

La viscosidad obtenida del aceite epoxidado con ácido fórmico fue de 69,3 mm<sup>2</sup>/s y del aceite epoxidado con ácido acético fue de 72,5 mm<sup>2</sup>/s; esta variación entre ambos aceites es causado básicamente por la reacción que se produce entre los ácidos grasos (linoleicos) y con el tipo de ácido y también por el aumento de la masa molar del aceite epoxidado Franco-Pérez et al., (2018). De igual manera, ambos resultados están entre el límite que denota la norma ISO para el uso de lubricante ya que el valor máximo permisible es de 74,8 mm<sup>2</sup>/s, de manera que su empleo es óptimo en los distintos equipos de engranaje, bisagras, rodamientos, entre otras aplicaciones de alta viscosidad.

El índice de yodo de los aceites epoxidados se reducen considerablemente a 29,81 (para el ácido fórmico) y 36,51 (para el ácido acético), puesto que es un indicativo que hubo una conversión parcial de los enlaces dobles a grupos epoxi. De acuerdo a la norma EN 14111, los índices de yodos obtenidos están dentro

del rango máximo de 120. Un aceite epoxidado debe tener un índice de yodo bajo porque un alto índice de yodo indica una alta insaturación, lo que significa que hay muchos dobles enlaces en los ácidos grasos. Estos enlaces insaturados son reactivos y pueden llevar a una mayor formación de productos secundarios no deseados durante la epoxidación, como la oxidación o la formación de compuestos inestables. Un índice de yodo bajo, en cambio, sugiere que el aceite ya ha sido saturado, resultando en un producto más estable y con una mejor calidad en el proceso de epoxidación. El porcentaje de humedad disminuyó notablemente en los dos aceites epoxidados (0,035 para el ácido fórmico y 0,041 para el ácido acético), de modo que ambos valores se encuentran dentro del límite que sugiere la norma ASTM D63304 para la utilización de lubricantes en las plantas de producción y aplicaciones mecánicas. El autor Jiménez (2020), en su investigación sobre obtención y evaluación de epóxidos, obtuvo una humedad de 0,08% con aceite de palma y 0,07% con aceite de soya, esto podría variar por muchos factores como las condiciones durante la epoxidación, el tipo de reactivos y el método de secado, que pueden afectar el contenido de humedad.

El color del aceite epoxidado no suele estar regulado por normas específicas como ocurre con otros parámetros físico-químicos más críticos. Sin embargo, el color puede ser un indicador de la calidad, el color visualizado en este caso fue ligeramente amarillo, considerándolo aceptable ya que no afectó negativamente a las propiedades físico-químicas del lubricante.

## Conclusión

Se concluye que el aceite de Sacha Inchi presenta características físico-químicas favorables tanto en su forma cruda como epoxidada. El aceite crudo muestra un índice de acidez elevado, una densidad menor comparada con otros aceites vegetales como el aceite de oliva o de soja, y una viscosidad alta debido a su contenido de ácido linoleico. Tras el proceso de epoxidación, tanto el ácido fórmico como el ácido acético resultan en aceites con índices de yodo bajos, lo que indica una conversión efectiva de enlaces insaturados a epóxidos, y una baja humedad, lo que favorece la estabilidad del producto final. Sin embargo, el ácido fórmico presenta una ligera ventaja en términos de un índice de yodo más bajo y un índice de acidez más cercano al estándar máximo permitido, sugiriendo una mayor eficiencia en la epoxidación. Ambos aceites epoxidados cumplen con los límites estipulados por las normativas de densidad y viscosidad para lubricantes, pero la elección entre los dos ácidos puede depender de las aplicaciones específicas del lubricante.

## Referencias Bibliográficas

Alarcón, J., Helguero, K., RECIAMUC, S. S. (2021). Aceite de Sacha inchi: potenciador de exportaciones no tradicionales

- en el Ecuador. Reciamuc.Com. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/5.\(1\).ene.2021.491-510](https://doi.org/10.26820/reciamuc/5.(1).ene.2021.491-510)
- Aranda-Ventura, C. J., corresponsal José Alberto Aranda Ventura, A., Aranda-Ventura, J., Villacrés-Vallejo, J., & Ríos-Isern, F. (2019a). Composición química, características físico-químicas, trazas metálicas y evaluación genotóxica del aceite de Plukenetia volubilis L.(sacha inchi). ) Integrativa, 4(1), 4-14. <https://repositorio.essalud.gob.pe/handle/20.500.12959/3952>
- Baque, G. P., Intriago, A. F., García, S. M., Burgos, G. B., & García, G. V. (2023). Epoxidación de aceite de higuera (ricinus communis) de la provincia de manabí-ecuador. Dialnet.Unirioja.Es. <https://doi.org/10.26807/ia.v11i1.244>
- Cabrera-Blanco, O., Olguín-Jiménez, V. A., Bernal-Villavicencio, C. P., Montaña-Roldan, V. L., & Cuello-Pérez, M. (2023). Obtención de bio-grasa lubricante a partir del aceite vegetal usado en la cocina. Tecnología Química, 43(1), 101-120.
- Corach, J. (2018). Propiedades eléctricas de biodiesel, aceites vegetales y sus mezclas con gasoil: Correlación con otras características físico-químicas y su aplicación a la tecnología de biocombustibles.
- Franco-Pérez, J., Díaz-Velázquez, M., Lafargue-Pérez, F., & Santos-Mora, Y. (2018). Epoxidación del ácido vegetal de Jatropha Curcas L. con ácido peracético. Tecnología Química, 38(2), 380-385
- Hamed, A., Yusuf, A., Mamza, P., & Agunwa, U. (2015). Extraction and characterization of castor seed oil from wild Ricinus communis Linn. International Journal of Science, Environment and Technology, 4(5), 1392-1404.
- Hidalgo, R., ... L. E.-... R. de C. (2019). Caracterización del aceite de la semilla de Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no. Scielo.Senescyt.Gob.Ec. Retrieved August 19, 2024, from [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=51390-85962019000200077&script=sci\\_arttext](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=51390-85962019000200077&script=sci_arttext)
- Jiménez, S. G. (2020). Obtención y evaluación de epóxidos provenientes de mezclas de aceites de palma y soya para su uso como plastificante en formulaciones de PVC flexible. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79613>
- López-Zambrano, L., Zambrano-Moreira, G., García-Muentes, S., Burgos-Briones, G., & García-Vinces, G. (2022). Epoxidación de biodiesel obtenido a partir del aceite de la semilla Jatropha Curcas L, de la provincia de Manabí - Ecuador. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2737-6249., 5(10), 47-63. <https://doi.org/10.46296/IG.V5I10.0062>
- Mateus-Cruz, M. J., Trujillo-Toscano, L. E., & Meza-Chavarro, M. I. (2021). Análisis pestel en el contexto actual de los lubricantes térmicos en América Latina. Mundo FESC, 11(21), 221-239. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.804>
- NTP 151.400. (2009). Norma Técnica Peruana para Aceite de Sacha Inchi del género Plukenetia.
- Origlia, E. E., Casuscelli, S. G., & Cánepa, A. L. (2019). Síntesis de Materiales como Catalizadores en la Epoxidación de FAME's Obtenidos de Aceite de Ricino. AJEA, 4. <https://doi.org/10.33414/AJEA.4.373.2019>
- Paucar-Menacho, L., Salvador-Reyes, R., Guillem-Sanchez, J., Capa-Robles, J., & Moreno-Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis l.), aceite de oliva (Olea ueropaea) y aceite crudo de pescado . Scientia Agropecuaria, 279-290.
- Pérez Romero, L. F. (2008). Evaluación de cuatro temperaturas de prensado en la calidad del aceite virgen de sachá inchi (Plukenetia Volubilis L.).
- Ramírez Jiménez, L. M. (2020). Modelo cinético para la reacción de epoxidación de aceite vegetal usado. Repositorio.Unal.Edu.Co. Retrieved August 19, 2024, from <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77805>
- Riba, J., Esteban, B., Baquero, G., Puig, R., & Rius, A. (2010). Caracterización de las propiedades físicas de aceites vegetales para ser utilizados como carburante en motores diesel. Afinidad, 67(546).
- Ríos, I., Cordeiro, J., Arruda, T., Rodríguez, F., Uchoa, A., Luna, F., Ricardo, N. (2019). Chemical modification of castor oil fatty acids (Ricinus communis) for biolubricant applications: An alternative for Brazils green market. Industrial Crops and Products, 145.
- Rivera, R. A., (2019). Evaluación de la vida útil de los aceites de Sacha Inchi (Plukenetia huayllabambana y Plukenetia volubilis) microencapsulados. Scielo.Org.Pe. Retrieved August 18, 2024, from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=51810-634X2019000300005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=51810-634X2019000300005&script=sci_arttext)
- Sánchez-Hechavarría, J., ... F. L.-P.-T. (2023). Propiedades físico-químicas y tribológicas del aceite de Jatropha curcas L. epoxidado. Scielo.Sld.CuJ Sánchez-Hechavarría, F Lafargue-Pérez, M Díaz-Velázquez, SA García-MuentesTecnología Química, 2023•scielo.Sld.Cu. Retrieved August 18, 2024, from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=52224-61852023000100204&script=sci\\_arttext&lng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=52224-61852023000100204&script=sci_arttext&lng=pt)
- Soto, L. M., ... C. L. C.-R. C. (2019). Caracterización de los compuestos de aroma del aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) por HS-SPME-GC-MS-O. Scielo.Org.Co. Retrieved August 18, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=50120-28042019000300045&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=50120-28042019000300045&script=sci_arttext)

## Primer registro de leucismo en *Eleotris picta* (Eleotridae: Eleotrinae) en la cuenca del río Guayas, Ecuador.

First record of leucism in *Eleotris picta* (Eleotridae: Eleotrinae) in the Guayas River basin, Ecuador.

Enrique Laaz Moncayo<sup>1</sup>, Ulises Avendaño Villamar<sup>1</sup>, William Revelo Ramírez<sup>1</sup>, Mercy Preciado Ramírez<sup>1</sup>, Geovanny Sandoval Reyes<sup>1</sup> y Jonathan Valdiviezo-Rivera<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, Letamendi 102 y la Ría, Guayaquil, Ecuador. <sup>2</sup> Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO)

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

### Resumen

Se documenta un caso de leucismo en *Eleotris picta*, conocida comúnmente como “guabina manchada”, capturado en el río Daule, cuenca del Guayas, Ecuador. El leucismo, una alteración cromática caracterizada por la pérdida total o parcial de melanina en la piel, se manifestó en un individuo con despigmentación generalizada, excepto en pequeñas zonas laterales y en la base de las aletas pectorales. El objetivo del estudio fue registrar esta anomalía pigmentaria en un entorno dulceacuícola tropical y contribuir al conocimiento de su ocurrencia en peces neotropicales. El análisis morfológico externo permitió confirmar la identidad taxonómica del ejemplar. Este hallazgo constituye el primer registro de leucismo en *E. picta* y el sexto caso documentado en peces de agua dulce de Sudamérica. La información generada amplía la comprensión sobre la diversidad de alteraciones pigmentarias en ambientes naturales y sugiere la necesidad de continuar con estudios sobre las causas y frecuencia de estas condiciones.

**Palabras clave:** Biodiversidad, Coloración, Leucismo.

### Abstract

A case of leucism is documented in *Eleotris picta*, commonly known as the spotted sleeper, captured in the Daule River, Guayas Basin, Ecuador. Leucism, a chromatic alteration characterised by the total or partial loss of melanin in the skin, was observed in an individual exhibiting generalised depigmentation, except for small lateral areas and the base of the pectoral fins. The aim of the study was to record this pigment anomaly in a tropical freshwater environment and to contribute to the understanding of its occurrence in Neotropical fishes. External morphological analysis confirmed the taxonomic identity of the specimen. This finding represents the first record of leucism in *E. picta* and the sixth documented case in South American freshwater fishes. The information generated enhances the understanding of pigment alterations in natural environments and highlights the need for further studies on the causes and frequency of these conditions.

**Keywords:** Biodiversity, Coloration, Leucism.

### Introducción

El color de los peces surge por interacción de dos mecanismos de pigmentación independientes, una de sus funciones es servir como camuflaje ante depredadores, lo que explica que el dorso sea oscuro para confundirse con el fondo marino cuando son atacados desde arriba, y más claro en el vientre, para mimetizarse con la luz de la superficie cuando son atacados desde abajo (Ceinos et al., 2015).

La coloración tegumentaria en los peces es producida por los cromatóforos, que incluyen a los melanóforos, xantóforos, eritróforos, leucóforos e iridóforos. Los melanóforos contienen organelos melanizados

llamados melanosomas, que producen colores oscuros en la piel de los peces (Fujii, 2000).

El exceso o deficiencia de melanina, generan una coloración atípica que puede manifestarse en todo el cuerpo o en varias partes, y de acuerdo a las características fenotípicas de los individuos, se las reconoce como albinismo, dilución, esquizocroismo y leucismo (García-Morales et al., 2010).

El leucismo (del griego leukós, blanco) es una particularidad genética debida a un gen recesivo, que da un color blanco a la piel, pelaje o plumaje. Este gen influye en el proceso de formación de la melanina (Calomarde, 2019). Estos genes recesivos se expresan

\* Correspondencia del autor:

E-mail: elaz1982@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.

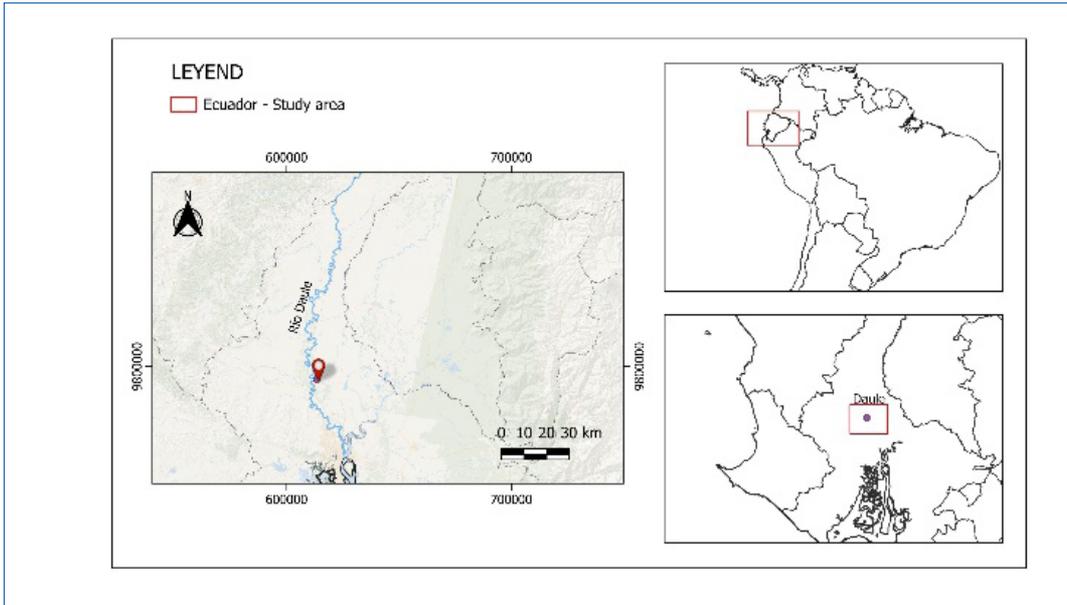


Figura 1. Área de estudio río Daule - cantón Daule, provincia del Guayas, Ecuador.

durante el desarrollo embrionario, inhibiendo la migración de melanoblastos de la cresta neural a la capa basal de la epidermis. (Shin, 2000; Sugimoto, 2002; Van Grouw, 2006, 2012). Estudios sugieren que la ocurrencia del leucismo aumenta con la exposición a metales pesados, contaminación del hábitat, deficiencias nutricionales y endogamia (Oliveira y Foresti, 1996; Bensch et al., 2000; Ueda et al., 2007).

A diferencia del albinismo, en el leucismo los ojos mantienen su color normal y tampoco son más sensibles a la luz del sol, ya que no tienen una carencia completa de melanina (la encargada de protegerlos de la radiación), sino sólo en una parte proporcional.

De hecho, pueden ser ligeramente más resistentes: el color blanco tiene un albedo elevado y protege más del calor (Calomarde, 2019).

Sin embargo, en muchos casos, la etiología de las aberraciones cromáticas no está clara y varios factores, incluyendo mutaciones genéticas no patológicas, aislamiento poblacional, estrés ambiental y la exposición a metales pesados pueden estar implicados en el surgimiento de estas anomalías (Bensch et al., 2000; Quigley et al., 2018; Anaguano-Yancha, 2018).

Las especies de la familia Eleotridae son peces de agua dulce y salobre que viven principalmente en los trópicos, sólo unas pocas especies habitan exclusivamente ambientes marinos (Robertson & Allen, 2024). Existen unas 211 especies de 35 géneros alrededor del mundo (Fricke et al., 2024), de las cuales la mayoría se encuentran en la región del Indo-Pacífico. Para Ecuador se han registrado cuatro especies que son comunes en ecosistemas marinos y de aguas continentales.

En Ecuador *Eleotris picta* se distribuye en las todas las cuencas occidentales de la vertiente del océano Pacífico, es común en la cuenca del río Guayas donde prefiere ríos con fondos arenosos, es carnívoro se han encontrado en sus estómagos, restos de crustáceos, peces y moluscos (Revelo y Laaz, 2012; Jiménez et al., 2015).

En el presente estudio se registra un caso de leucismo en *Eleotris picta* con base en un ejemplar recolectado en septiembre de 2022, en el río Daule de la cuenca del río Guayas.

En este contexto, y considerando que la etiología del leucismo en peces aún no se encuentra claramente establecida, así como la posible influencia de factores ambientales, genéticos o antrópicos en su manifestación, surge la necesidad de profundizar en las causas que podrían explicar su aparición en ecosistemas dulceacuícolas tropicales. Por ello, el presente estudio plantea la siguiente pregunta de investigación: **¿Qué factores ambientales, genéticos o antrópicos podrían estar asociados a la aparición de leucismo en *Eleotris picta* en la cuenca del río Guayas.**

## Materiales y Método

El espécimen leucístico de *E. picta* fue registrado en el río Daule en las coordenadas 1°51'39.6"S 79°58'46.8"W, a 10 m s. n. m.), cantón Daule, provincia del Guayas, Ecuador (Figura 1). El río Daule forma parte de la cuenca del río Guayas la cual se ubica en la ecorregión de Atrato y Pacífico Noroeste (Albert & Reiss, 2011). El pez fue capturado por pescadores artesanales con una red tipo paño con la



Figura 2. *E. picta* con leucismo (arriba) y un ejemplar con la coloración normal de la especie.



Figura 3. *Eleotris picta* (MECN-DP 6040), individuo leucístico registrado en Ecuador.

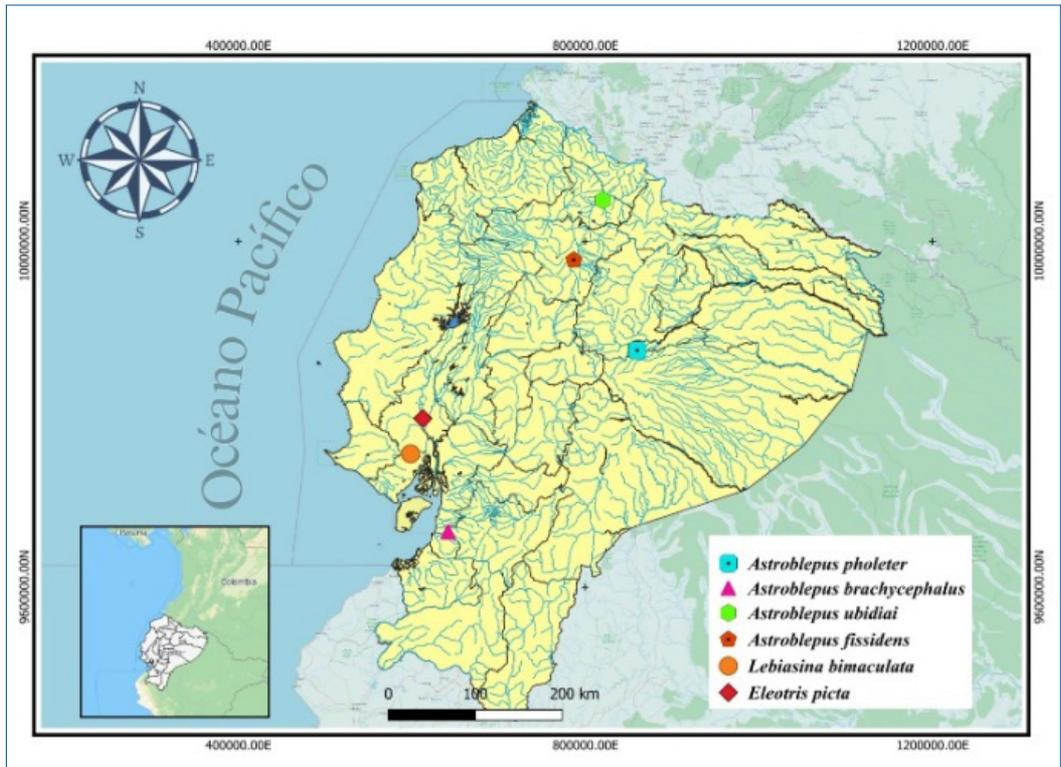


Figura 4. Casos de leucismo en peces para Ecuador.

metodología tipo encierro o encalonado, el individuo fue fotografiado y medido con un ictiómetro y pesado en una balanza digital en gramos.

El ejemplar fue identificado taxonómicamente según las descripciones en Laaz et al., 2009; Jiménez et al., 2015 y Robertson et al., 2024.

## Resultados

Durante el seguimiento a los desembarques de peces de río en la provincia del Guayas, realizado por el Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP), se registró un ejemplar de *Eleotris picta* con características anómalas, acompañado por cuatro individuos con fenotipo normal. Los especímenes fueron capturados en el río Daule. Los

ejemplares normales presentaron la coloración típica de la especie: cuerpo de tonalidad marrón oscura con múltiples manchas irregulares y una banda dorsal de color crema o amarillento (Figura 2).

En contraste, el ejemplar anómalo correspondió a un individuo adulto, con una longitud total de 33 cm y un peso de 496 gramos, que presentó despigmentación generalizada en casi todo el cuerpo. Las únicas áreas con pigmentación parcial fueron pequeñas manchas localizadas en la región posterior del cuerpo y en la base de las aletas pectorales (Figura 3).

## Discusión

Entre los vertebrados, las anomalías cromáticas, y en particular el leucismo, se han registrado con mayor frecuencia en aves. Sin embargo, en peces, a pesar de la alta diversidad presente en Sudamérica

con aproximadamente 4.967 especies de agua dulce (Casseiro et al., 2023), estos casos siguen siendo escasos. El presente hallazgo de leucismo en *Eleotris picta* constituye el caso número 22 registrado en peces de río sudamericanos, y es especialmente relevante por tratarse del primer registro conocido en el orden Gobiiformes, tanto a nivel nacional como global.

Hasta la fecha, del total de aberraciones cromáticas reportadas en peces dulceacuícolas de Sudamérica, el 73% corresponden a albinismo y el 27% a leucismo. La mayoría de los casos provienen de Brasil (9), seguido de Ecuador (6, incluyendo el presente estudio) y Argentina (4), evidenciando una distribución desigual que podría deberse a la escasa documentación más que a la ausencia real de estos fenómenos (ver Anexo 1).

En Ecuador, los seis casos de leucismo se han registrado en diferentes órdenes: cuatro en Siluriformes, uno en Characiformes y ahora, por primera vez, en Gobiiformes (Figura 4).

Este patrón sugiere que, si bien estas anomalías pueden ocurrir en múltiples linajes, ciertos factores ambientales podrían estar influyendo localmente en su expresión. Este hallazgo, por tanto, no solo representa una novedad taxonómica, sino que refuerza la hipótesis planteada en la introducción de que la aparición de anomalías pigmentarias puede estar asociada a condiciones ambientales adversas, como la contaminación.

Los ecosistemas de agua dulce enfrentan amenazas severas a nivel mundial. Entre 1970 y 2010, las poblaciones de estas especies han disminuido en promedio un 76%, cifra que se eleva al 83% en la región Neotropical (UICN, 2020). La contaminación, una de las causas de esta tendencia, ha sido identificada como un posible desencadenante de alteraciones pigmentarias, ya sea por exposición a metales pesados, agroquímicos o estrés ambiental (Oliveira & Foresti, 1996; Bensch et al., 2000; Ueda et al., 2007; Nugra et al., 2018).

El río Daule, lugar del hallazgo, es uno de los cuerpos de agua más intervenidos del país y recibe efluentes agrícolas, industriales y domésticos en diversos puntos de su cuenca. Investigaciones recientes han documentado niveles elevados de metales pesados, nutrientes, pesticidas y materia orgánica (Loy, 2019; Rojas y Velecela, 2022; Chiluiza y Montero, 2023). En este contexto, el hallazgo del ejemplar leucístico de *E. picta* puede interpretarse como un potencial bioindicador de estrés ambiental o contaminación crónica, lo que amerita evaluaciones más profundas en la zona.

Por otro lado, es ampliamente reconocido que los animales silvestres con anomalías cromáticas presentan bajas tasas de supervivencia debido a una mayor vulnerabilidad ante los predadores o a malformaciones congénitas (Krecsák, 2008; Abreu et al., 2013). Sin embargo, el individuo registrado

alcanzó la adultez, lo cual podría explicarse por el comportamiento bentónico y críptico de *E. picta*, así como por la turbidez del agua del río Daule, que pudo haber reducido su detectabilidad ante predadores visuales como aves piscívoras, nutrias o peces carnívoros.

En conjunto, el presente estudio amplía el conocimiento sobre las anomalías cromáticas en peces neotropicales y destaca la necesidad de realizar monitoreos sistemáticos para evaluar su frecuencia y vinculación con factores ambientales. También refuerza el valor de los registros ocasionales como herramientas relevantes para la conservación y evaluación ecológica de los ecosistemas acuáticos.

## Conclusión

El presente estudio constituye el primer reporte confirmado de leucismo en *Eleotris picta*, tanto en Ecuador como a nivel mundial, además es el primer registro en el mundo de leucismo en una especie del orden Gobiiformes, ampliando el conocimiento sobre las anomalías cromáticas en peces neotropicales, como ya han señalado trabajos previos sobre pigmentación y mecanismos tegumentarios en peces (Ceinos et al., 2015; Fuji, 2000). Este registro se suma a los casos documentados en Sudamérica, donde estudios previos han evidenciado que las aberraciones pigmentarias, aunque poco frecuentes, pueden relacionarse con mutaciones genéticas, estrés ambiental o contaminación (Oliveira & Foresti, 1996; Bensch et al., 2000; Ueda et al., 2007).

Dada la presión antrópica existente en la cuenca del río Daule y la presencia reportada de contaminantes como metales pesados y agroquímicos (Loy, 2019; Rojas & Velecela, 2022; Chiluiza & Montero, 2023), la aparición de este ejemplar leucístico podría estar asociada a factores ambientales adversos, tal como ha sido sugerido previamente para otros peces afectados por alteraciones pigmentarias (Nugra et al., 2018). No obstante, la evidencia disponible no permite establecer causalidad directa.

Finalmente, se destaca la necesidad de estudios que integren análisis genéticos, ecotoxicológicos y evaluaciones poblacionales para comprender mejor el origen del leucismo y su relación con condiciones ambientales, siguiendo las recomendaciones de investigaciones previas sobre la etiología y frecuencia de anomalías cromáticas en organismos acuáticos (Calomarde, 2019; Van Grouw, 2006). Este tipo de esfuerzos permitirá fortalecer el uso de estas alteraciones como potenciales indicadores de salud ambiental en ecosistemas dulceacuícolas.

## Recomendaciones

Monitoreo y análisis ambiental  
Implementar programas de monitoreo periódico en ecosistemas acuáticos, enfocándose en la

detección de anomalías cromáticas en peces como indicadores biológicos de contaminación ambiental, especialmente por metales pesados y agroquímicos.

#### Estudios genéticos y moleculares

Realizar análisis genéticos en ejemplares con leucismo para determinar la influencia de factores hereditarios y ambientales, y así entender mejor la etiología de estas aberraciones en poblaciones naturales.

#### Control de fuentes contaminantes

Fortalecer la gestión y regulación de vertidos industriales, agrícolas y domésticos en la cuenca del río Daule y otras áreas vulnerables, para mitigar impactos que puedan estar relacionados con la aparición de anomalías fenotípicas.

#### Capacitación e investigación interdisciplinaria

Fomentar proyectos de investigación integrados que aborden la biología, ecotoxicología y genética de peces nativos, promoviendo la formación de recursos humanos especializados en acuicultura y conservación ambiental.

#### Ampliación del alcance geográfico

Extender estudios sobre leucismo y otras anomalías pigmentarias a diferentes cuencas hidrográficas del Ecuador para evaluar su distribución y posibles causas relacionadas con factores antropogénicos y ambientales.

## Agradecimientos

A las autoridades del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca por haber permitido realizar esta investigación, a los pescadores artesanales y comerciantes de mariscos del cantón Daule y a Patrick Jaramillo por la elaboración del mapa del sitio de estudio.

## Referencias Bibliográficas

Abreu MSL, Machado R, Barbieri F, Freitas NS, Oliveira L. 2013. Anomalous color in Neotropical mammals: a review with new records for *Didelphis* sp. (Didelphidae, Didelphimorphia).

Albert, James S., and Robert E. Reiss, eds. 2011. Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes. Berkeley: University of California Press, <http://www.jstor.org/stable/10.1525/j.ctt1pp29c>

Anaguano-Yancha, F. 2018. "Nuevos casos de leucismo en peces andinos del género *Astroblepus* (Siluriformes: Astroblepidae)." *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* 10, no. 1 <https://doi.org/10.18272/aci.v10i1.952>

Azpelicueta, María M., and Luisa Braga. 1984: Albinismo en *Lepidosiren paradoxa* Fitzinger, 1837 (Osteichthyes, Dipnoi, Lepidosirenidae). *Neotropica* 30 75-78.

Bensch, Staffan, Dennis Hasselquist, Arne Lindström, Johan B. Oyler-McCance, and Thomas P. Quinn. 2000 "Partial Albinism in a Semi-Isolated Population of Great Reed Warblers." *Hereditas* 133: 167-170. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2000.t01-1-00167.x>

Burgess, Warren 1989 E. *An Atlas of Freshwater and Marine Catfishes: A Preliminary Survey of the Siluriformes*. Neptune City: TFH Publications,

Calomarde, Andrés 2019. "El leucismo, el gran desconocido." *Ambassador Programme, Improve International*, España.

Campos-da Paz, Rogério, and Edson P. Caramaschi. 1994. "First Record of Albinism in a Gymnotiform Fish (Teleostei: Ostariophysi)." *Ichthyological Exploration of Freshwaters* 5: 1-4.

Cassemiro, Fernando A., Guillermo Ortí, José L. O. Birindelli, Luiz R. Malabarba, and Claudio Oliveira 2023. "Landscape Dynamics and Diversification of the Megadiverse South American Freshwater Fish Fauna." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120, no. 2: e2211974120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2211974120>

Ceinos, Rosa M., Ignacio Rodríguez-Olivares, Raquel López, and Vitor L. V. Oliveira (2015). "Pigment Patterns in Adult Fish Result from Superimposition of Two Largely Independent Pigmentation Mechanisms." *Pigment Cell & Melanoma Research* 28, no. 2: 196-209. <https://doi.org/10.1111/pcmr.12335>

Chiluza Vargas, María A., and María D. L. Á. Montero Solórzano. 2023. *Análisis de la calidad del agua en el río Daule*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26118>

Fricke, R., Eschmeyer, W. N., & van der Laan, R. (Eds.). 2024. *Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References*. California Academy of Sciences. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>

Fuji, R. 2000. The regulation of motile activity in fish chromatophores. *Pigment Cell Research*, 123:300-319.

García-Morales, R., Gordillo-Chávez, E. J., & Bello-Gutiérrez, J. (2010). Primer registro de albinismo en *Glossophaga soricina* (Phyllostomidae) en México. *Chiroptera Neotropical*, 16(2), 743-747.

Jiménez-Prado, P., Aguirre, W., Laaz-Moncayo, E., Navarrete-Amaya, R., Nugra-Salazar, F., Rebolledo-Monsalve, E., Zárate-Hugo, E., Torres-Noboa, A. y Valdiviezo-Rivera, J. 2015. Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador. Esmeraldas: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE); Universidad del Azuay (UDA) y Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) del Instituto Nacional de Biodiversidad.

Krecsák, L. 2008. Albinism and leucism among European Viperinae: a review. *Russian journal of Herpetology*, 15(2), 97-102.

Laaz, E., Salazar, V., & Torres, A. 2009. Guía ilustrada para la identificación de peces continentales de la Cuenca del Río Guayas. Facultad de Ciencias Naturales-Universidad de Guayaquil.

Loy William. 2019. *Factores contaminantes de la agricultura artesanal en las riberas de las aguas del río Daule*

Nugra, F., Anaguano-Yancha, F., Arizaga, C., Zárate, E., & Brito, J. 2018. Leucismo en el pez *Lebiasina bimaculata* (Characiformes: Lebiasinidae) en Guayas, Ecuador. *Biota colombiana*, 19(2), 133-139.

Oliveira, C. & Foresti, F. 1996. Albinism in the banded knifefish, *Gymnotus carapo*. *Tropical Fish Hobbyist*, 44, 92-96.

Quigley, D. T. G., A. Carlos, D. Barros-García, & D. MacGabhann. 2018. Albinism and leucism in blonde rays (*Raja brachyura* Lafont, 1871) (Elasmobranchii: Batoidea) from the Irish Sea. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 38:79-88.

Revelo, W., & Laaz, E. 2012. Catálogo de peces de aguas continentales de la provincia de los Ríos-Ecuador. *Bol. Espec.*, 3, 1-56.

Robertson, D. R., & Allen, G. R. 2024. *Shorefishes of the Tropical Eastern Pacific: online information system* (Version 3.0). Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panamá.

Rojas Párraga, T. C., & Velecela Zhangallimbay, J. F. 2022. Análisis de los Efectos de Contaminación de

- la Densidad Poblacional y el Nivel de Arsénico en los Alrededores del Río Daule. En *Calidad de Agua en el Río Daule* (pp. 225-247). Editorial Universitaria Abya-Yala.
- Shin, M. K. 2000. Controlling gene expression in mice with tetracycline: Application in pigment cell research. *Pigment Cell Research*, 13, 326-331
- Sugimoto, M. 2002. Morphological color changes in fish: Regulation of pigment cell density and morphology. *Microscopy Research and Technique*, 58, 496-503.
- Ueda, T., Ishinabe, T. & Jeon, S. 2007. Establishment of an albino strain of the bitterling *Tanakia signifer* (Pisces, Cyprinidae). *Journal of Heredity*, 98, 277-279.
- UICN. 2020, 10 de marzo. *Un nuevo plan para recuperar la biodiversidad de agua dulce*. <https://iucn.org/es/news/americadel-sur/202003/un-nuevo-plan-para-recuperar-la-biodiversidad-de-agua-dulce>
- Van Grouw, H. 2006. Not every white bird is an albino: sense and nonsense about color aberrations in birds. *Dutch Birding*, 28, 79-89.
- Van Grouw, H. 2012. What colour is that sparrow? A case study: colour aberrations in the house sparrow *Passer domesticus*. *International Studies on Sparrows*, 36, 30-55.

## Evaluación de distintas intensidades de luz para la producción de microalgas

### Evaluation of different light intensities for microalgae production

Kevin Omar Oña Limones<sup>1,2</sup> & Geovanna Parra Riofrío<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, 090601 Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup>Laboratorio de Acuicultura, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, 090601 Guayaquil, Ecuador.

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

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

#### Resumen

El cultivo de microalgas bajo diferentes intensidades lumínicas impacta en procesos como la obtención de compuestos químicos, la generación de biocombustibles y la producción de alimentos, constituyendo una alternativa tecnológica con gran potencial para sectores productivos como la acuicultura. El objetivo del estudio fue estimar el efecto de distintas intensidades de luz en el cultivo de microalgas en un fotobiorreactor. Se evaluaron los parámetros poblacionales, la tasa de crecimiento y la productividad en el cultivo de la microalga *Chaetoceros* sp. en un fotobiorreactor, empleando tres réplicas para cada tratamiento: 4 000 (C), 10 000 (T1) y 20 000 (T2) lux. Las condiciones de cultivo se mantuvieron constantes con pH=8, salinidad de 35 ‰, oxígeno disuelto de 8,5 mg/L y temperatura de 24 °C. Los resultados mostraron diferencias significativas entre el control (C) y los tratamientos T1 y T2 ( $p < 0,05$ ). En cuanto a la productividad, no se observaron diferencias significativas entre C y los tratamientos, aunque sí se evidenciaron entre T1 y T2, siendo la productividad de T1 1,31 veces superior a la de T2. Este estudio concluyó que la variación en las intensidades de luz tuvo un impacto significativo en el cultivo de *Chaetoceros* sp, mostrando un crecimiento de la microalga a medida que se incrementaba la intensidad lumínica, siendo T2 (20 000 lux), el que presentó el mayor crecimiento. los resultados sugieren que el manejo adecuado de la luz puede mejorar la disponibilidad de biomasa en menor tiempo, reduciendo así los costos de producción y asegurando un suministro más eficiente de alimento vivo en criaderos de organismos acuáticos.

**Palabras clave:** Intensidad de luz, microalga, tasa de crecimiento, productividad, fotobiorreactor.

#### Abstract

The cultivation of microalgae under different light intensities impacts processes such as obtaining chemical compounds, generating biofuels, and producing food. This constitutes a technological alternative with great potential for productive sectors like aquaculture. The objective of the study was to estimate the effect of different light intensities on the cultivation of microalgae in a photobioreactor. Population parameters, growth rate, and productivity were evaluated in the cultivation of the microalgae *Chaetoceros* sp. in a photobioreactor, using three replicates for each treatment: 4,000 (C), 10,000 (T1), and 20,000 (T2) lux. The cultivation conditions were kept constant with pH=8, salinity of 35 ‰, dissolved oxygen of 8.5 mg/L, and a temperature of 24 °C. The results showed significant differences between the control (C) and treatments T1 and T2 ( $p < 0.05$ ). Regarding productivity, no significant differences were observed between C and the treatments, although differences were found between T1 and T2, with the productivity of T1 being 1.31 times higher than that of T2. This study concluded that the variation in light intensities had a significant impact on the cultivation of *Chaetoceros* sp., showing an increase in the growth of the microalgae as the light intensity was increased, with T2 (20,000 lux) presenting the highest growth. The results suggest that proper light management can improve biomass availability in less time, thereby reducing production costs and ensuring a more efficient supply of live food in aquatic organism hatcheries.

**Keywords:** Light intensity, microalgae, growth rate, productivity, photobioreactor.

\* 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

La mitigación del cambio climático, elaboración de productos químicos, biocombustible y la producción de alimentos son aplicaciones en las que se involucra el cultivo de microalgas, convirtiéndola en una tecnología prometedora para ciertas industrias como la Acuicultura (Beal et al. 2018). Chicaiza Ortiz et al., (2021) mencionan que aprovechar la luz solar y transformarla en biomasa, oxígeno y compuestos valiosos, es un potencial extraordinario que poseen estos microorganismos fotosintéticos unicelulares; no obstante, el éxito de su cultivo en sistemas de fotobiorreactores está intrínsecamente ligado a un factor crítico: la disponibilidad de luz.

El diseño adecuado de fotobiorreactores, sistemas que permiten el cultivo controlado de microalgas (Ruiz, 2017), se convierte en un componente crítico para maximizar la eficiencia fotosintética y la producción de biomasa. Por lo que es esencial comprender cómo diferentes intensidades y patrones de luz afectan su crecimiento; la relación entre la tasa fotosintética y la intensidad lumínica se describe mediante una cinética de Michaelis-Menten, indica que cuando las intensidades lumínicas son altas, la tasa fotosintética es incrementada hasta el punto de saturación, el cual puede variar dependiendo de la especie y las condiciones ambientales (Plasencia, 2012).

La productividad experimenta un incremento no lineal a medida que se incrementa la frecuencia del ciclo de luz y oscuridad, lo que significa que la mejora en la productividad se vuelve más significativa a medida que la frecuencia aumenta, pero llega a un punto

Tabla 1. Descripción de los tratamientos experimentales.

Tratamientos	Intensidad de luz experimental
C	4 000 lux
T1	10 000 lux
T2	20 000 lux

de estabilización o saturación en algún momento (Clagnan et al., 2023; Costache et al., 2013; García Sánchez et al., 2003; Molina Grima et al., 2000; Reboloso Fuentes et al., 1999).

El cultivo de microalgas no sólo se limita a la disponibilidad de luz; Sanz, (2019) menciona que el cultivo de microalgas en fotobiorreactores implica que el medio en el que crecen se mantenga en condiciones controladas, por lo que, es indispensable implementar un protocolo para el monitoreo y control de variables: temperatura, pH, oxígenos disueltos y nutrientes. Con el avance de estos estudios, se pretende dar soluciones o alternativas para maximizar la productividad de las microalgas y su potencial para la sostenibilidad acuícola. La presente tesis tiene como objetivo estimar el efecto de distintas intensidades de luz en el cultivo de microalgas en un fotobiorreactor.

## Materiales y Método

El estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil.

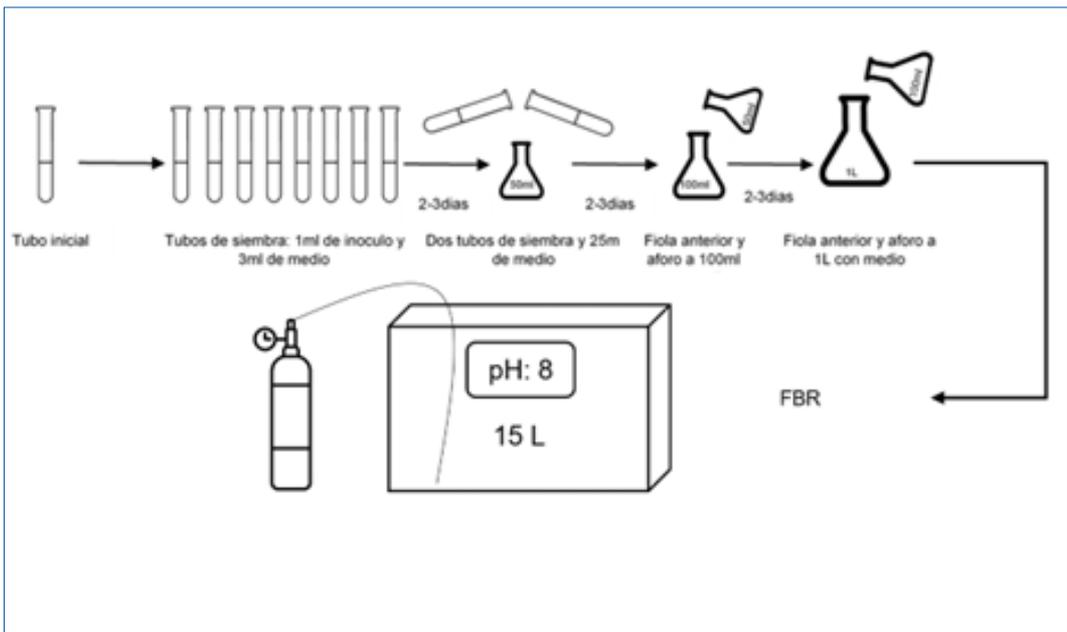


Figura 1. Secuencia de escalamiento volumétrico del cultivo

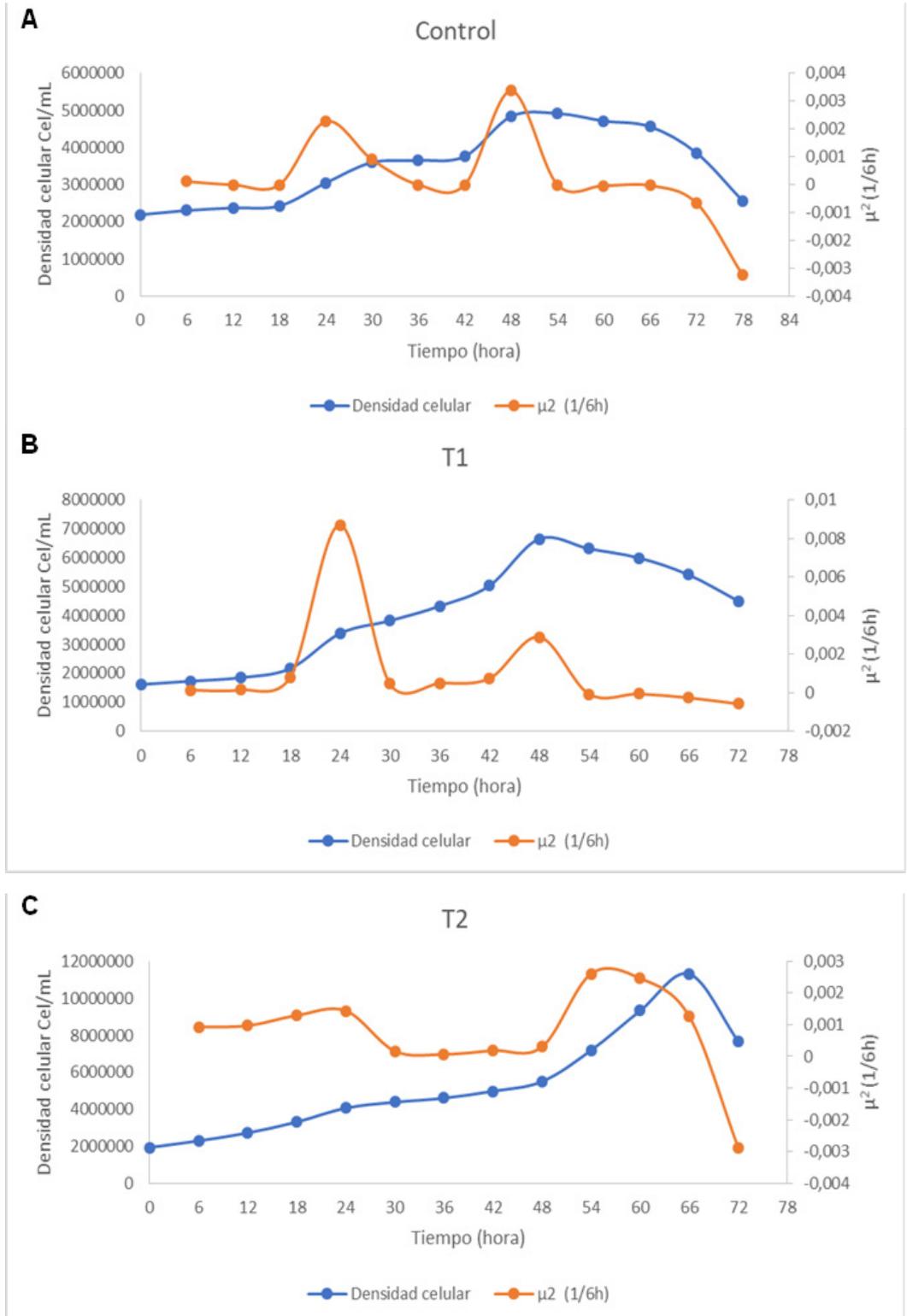


Figura 2. Cinética y velocidad de crecimiento del cultivo A. 4 000 lux; B. 10 000 lux; C. 20 000 lux.

Para el diseño experimental se usó la microalga *Chaetoceros sp.*, a una densidad inicial de  $1.6-2.0 \times 10^6$  cel/mL en un fotobiorreactor, con tres réplicas asignadas para cada tratamiento (Tabla 1).

La cepa de *Chaetoceros sp.*, fue proporcionada del cepario del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM - ESPOL), la cual se sometió a un sistema de cultivo batch (Figura 1) en el que se usó el medio de cultivo F/2 modificado (Guillard, 1975). Se realizó un escalamiento volumétrico hasta llegar a un cultivo en un fotobiorreactor de geometría plana (FBR) (dimensiones: largo-ancho-alto, 60-10-40 cm) a un volumen de 15 L, el fotoperiodo usado fue luz: oscuridad (12:12). El cultivo se inoculó con una concentración de  $1.6-2.0 \times 10^6$  cel/mL y la salinidad fue 35 ‰.

El sistema de agitación fue por medio de burbujeo continuo con una bomba de aire (Hygger 10W); en cuanto al oxígeno disuelto, se utilizó un medidor de oxígeno Healthible digital con precisión de 0-40,00 mg/L. Se mantuvo una temperatura constante de 24°C (calentador de acuario FUMAK 100W). Para controlar los niveles de pH del cultivo se dispuso de un medidor digital Milwaukee Instruments MC122US, este equipo integra en su sistema un dosificador de CO<sub>2</sub> que permitió mantener el nivel de pH constante (pH 8). Alcanzada la fase de muerte de la microalga, se realizó el proceso de floculación, el agente floculante fue el hidróxido de sodio (40 g/L), colocando 10mL/L en el cultivo. Una vez floculado el cultivo, se centrifugó (F2C 800-1) a 4 000 rpm por 10min; se enjuagó la biomasa con agua destilada esterilizada para retirar las sales y la biomasa húmeda fue secada en una estufa (BEKTRON) a una temperatura de 80 °C por 5h.

La intensidad de luz incidente se midió con un equipo digital ANNMETER AN-8801C (rango: 0-40 000 Lux), mientras que para calcular la intensidad de luz, se analizó la ley de Lambert Beer a partir de un coeficiente de extinción  $k_s$ :

$$I = I_0 \times e^{-k_s \times Cb \times X}$$

- I: intensidad de la luz
- $I_0$ : Intensidad de luz incidente
- $k_s$ : coeficiente de extinción
- x: distancia a la superficie

**Parámetros poblacionales**

Densidad celular (recuento celular)

Se llevó a cabo mediante una numeración directa a través de un microscopio óptico marca Novic en el objetivo de 40x. Se utilizó una cámara de conteo celular Neubauer marca BOECO cada 6h.

La concentración celular se determinó utilizando la ecuación de Arredondo-Vega y Voltolina (2007):

$$\text{Densidad celular} \left( \frac{\text{cel}}{\text{mL}} \right) = \frac{\text{Numero total de células}}{\text{Numero de cuadrantes}} \times 10000$$

Velocidad específica de crecimiento,  $\mu$

Mide la cantidad de biomasa generada por cada

Tabla 2. Diferencias de los parámetros poblacionales del cultivo en los distintos tratamientos. Los resultados indican la media  $\pm$  la desviación estándar (n=3). Letras distintas señalan diferencias estadísticamente significativas (ANOVA, test Tukey  $p < 0,05$ ).

Parámetros poblacionales	C	T1	T2
Densidad celular (cel/mL)	$4.8 \times 10^6 \pm 2.9 \times 10^5$ <sup>a</sup>	$6.6 \times 10^6 \pm 4.9 \times 10^5$ <sup>a</sup>	$1.1 \times 10^7 \pm 2.3 \times 10^6$ <sup>b</sup>
Velocidad de crecimiento ( $\mu$ )	$0.05 \pm 0.01$ <sup>a</sup>	$0.09 \pm 0.01$ <sup>b</sup>	$0.10 \pm 0.02$ <sup>b</sup>
Tiempo de duplicación (g)	$13.60 \pm 2.16$ <sup>a</sup>	$7.45 \pm 0.67$ <sup>b</sup>	$7.00 \pm 1.73$ <sup>b</sup>
Coefficiente de extinción ( $k_a$ )	$2.8 \times 10^{-6} \pm 1.1 \times 10^{-8}$ <sup>a</sup>	$3.7 \times 10^{-6} \pm 2.67 \times 10^{-7}$ <sup>a</sup>	$1.2 \times 10^{-5} \pm 1.9 \times 10^{-6}$ <sup>b</sup>

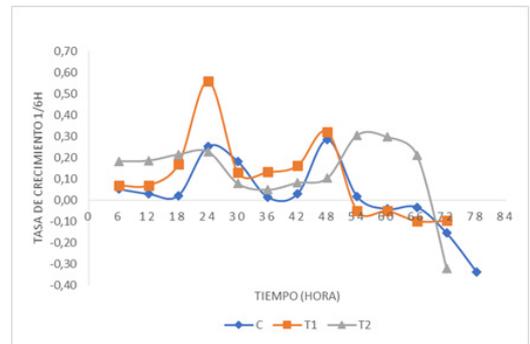


Figura 3. Tasa de crecimiento del cultivo a 4 000 lux (C); Tasa de crecimiento del cultivo a 10 000 lux (T1); Tasa de crecimiento del cultivo a 20 000 lux (T2).

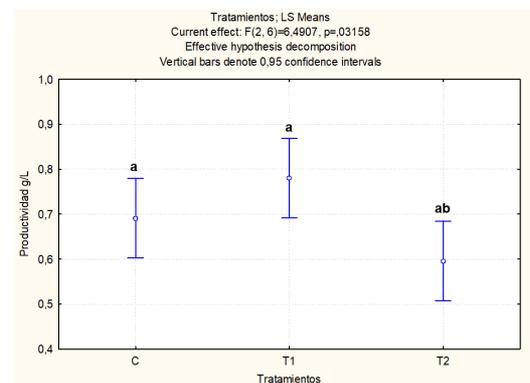


Figura 4. Tasa de crecimiento del cultivo a 4 000 lux (C); Tasa de crecimiento del cultivo a 10 000 lux (T1); Tasa de crecimiento del cultivo a 20 000 lux (T2).

gramo de biomasa en una unidad de tiempo (Acién Fernández, 2014).

Se usó la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{1}{C} \times \frac{dC}{dt}$$

C: concentración de la biomasa

T: tiempo

Tiempo de duplicación

Se determinó el tiempo de duplicación con la siguiente ecuación (Arredondo-Vega & Voltolina, 2007):

$$t_g = \ln 2 / \mu$$

Coefficiente de extinción  $k_a$

Se evaluó el coeficiente mediante la siguiente ecuación (Acién Fernández, 2014):

$$k_a = \frac{\ln(I_0/I)}{C_n \times L}$$

#### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos experimentales se utilizó el software STATISTICA (V. 7). Los resultados fueron expresados como promedio  $\pm$  desviación estándar (SD). Se aplicó un test de Normalidad de Shapiro-Wilk y posterior un análisis de varianza de un factor (ANOVA) con el fin de detectar diferencias entre los tratamientos de los cultivos. Cuando el ANOVA mostró diferencias significativas, se procedió a realizar la prueba *post-hoc* de Tukey para determinar con mayor precisión las variaciones específicas entre los tratamientos.

## Resultados

El cultivo de *Chaetoceros sp.* expuesto a una intensidad de luz C llegó a su fase estacionaria a las 48 horas, con una densidad celular de  $4.8 \times 10^6$  cel/mL y una velocidad de crecimiento de  $0.0034 \mu^2$  (1/6h) (Figura 2A). El cultivo en una intensidad de luz T1 alcanzó su fase estacionaria a las 48 horas, con una densidad celular de  $6.6 \times 10^6$  cel/mL y una velocidad de crecimiento de  $0.0029 \mu^2$  (1/6h) (Figura 2B). La exposición del cultivo a una intensidad de luz T2 alcanzó su fase estacionaria a las 66 horas, con una densidad celular de  $1.1 \times 10^7$  y una velocidad de crecimiento de  $0.0013 \mu^2$  (1/6h) (Figura 2C).

El cultivo de *Chaetoceros sp.*, presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los parámetros poblacionales; respecto a la densidad celular, los tratamientos C y T1 mostraron diferencias significativas frente al tratamiento T2, el cual alcanzó la mayor concentración  $1.1 \times 10^7 \pm 2.3 \times 10^6$  cel/mL. Así mismo, T1 y T2 duplicaron su velocidad de crecimiento en comparación a C. Del mismo modo, T1 y T2 disminuyeron significativamente el tiempo de duplicación ( $7.45 \pm 0.67$  y  $7.00 \pm 1.73$ ) frente a C ( $13.60 \pm 2.16$ ). Por último, los tratamientos C y T1 presentaron un coeficiente de extinción alto en comparación con el tratamiento T2 (Tabla 2).

El cultivo de *Chaetoceros sp.* bajo una intensidad de luz C, presentó un incremento en la tasa de crecimiento de 0.25 a las 24h y de 0.29 a las 48h de cultivo. Así mismo, en la exposición del cultivo a una intensidad de luz T1, incremento la tasa de crecimiento de 0.56 a las 24h y de 0.32 a las 48h. Por otra parte, el cultivo bajo una intensidad de luz T2, presentó un incremento en la tasa de crecimiento de 0.23 a las 24h y de 0.31 a las 48h (Figura 3).

La productividad del cultivo de *Chaetoceros sp.* a una intensidad de luz C, no presentó diferencias significativas frente a los tratamientos T1 y T2 ( $p > 0.05$ ); sin embargo, el tratamiento T1 sí presentó diferencias significativas con el tratamiento T2 ( $p < 0.05$ ), siendo T1 1.31 veces mayor que T2 (Figura 4).

## Discusión

Este estudio tuvo como objetivo estimar el efecto de distintas intensidades de luz en el cultivo de microalgas en un FBR considerando los valores de los parámetros poblacionales y productividad.

La mayor densidad celular del cultivo a 4 000 lux fue de  $4.8 \times 10^6$  cel/mL a las 48 horas, con una tasa de crecimiento de 0.25 (1/6h) a las 24 horas y de 0.29 (1/6h) a las 48 horas; mientras que, en el estudio llevado a cabo por Shan et al. (2023) a una intensidad de luz de 3 000 lux, la densidad celular máxima en el modo de cultivo fotoautótrofo fue de  $25.41 \times 10^5$  cel/mL, con una tasa de crecimiento de  $0.26 \text{ d}^{-1}$  al cabo de 6 días. Así mismo, el estudio de Chen et al. (2023) evaluó el crecimiento en mixotrofia de *Chaetoceros sp.* a una intensidad lumínica de  $2\ 500 \pm 200$  lux y con diferentes fuentes de carbono orgánico, y los resultados indicaron que el glicerol como fuente de carbono generó la mayor densidad celular ( $5.25 \times 10^6$  cel/mL) y la tasa de crecimiento específica más alta ( $0.22 \text{ d}^{-1}$ ) al octavo día. Se evidencia un periodo prolongado en comparación con el presente estudio en cuanto al tiempo que le toma a la microalga alcanzar su densidad máxima, estos resultados pueden atribuirse principalmente a las disparidades en las condiciones experimentales, tales como la variación en la intensidad lumínica y las fuentes de carbono utilizadas.

En este estudio se implementó directamente  $\text{CO}_2$  gaseoso en el sistema del cultivo, mientras que, en el trabajo de Shan et al. (2023) se usó  $\text{NaHCO}_3$  (Bicarbonato de sodio) y Chen et al. (2023) usaron distintas fuentes de carbono glucosa, ácido acético y glicerol. El uso de distintas fuentes de carbono puede provocar variaciones en los parámetros del cultivo como el pH, ocasionando cambios en la respuesta metabólica de las microalgas. Aditya et al. (2023) señalan que una cantidad excesiva de  $\text{CO}_2$  puede restringir el crecimiento de las microalgas al provocar la acidificación originada por la disolución del  $\text{CO}_2$ .

En el presente ensayo a 10 000 lux, la densidad máxima fue de  $6.6 \times 10^6$  cel/mL a las 48 horas, con una tasa de crecimiento de 0.56 (1/6h) a las 24 horas y de 0.32 (1/6h) a las 48 horas. En contraste, el estudio de Chin et al. (2023) exploraron múltiples microalgas, incluyendo entre ellas *C. muelleri*, bajo diversas intensidades de luz. *C. muelleri* alcanzó su densidad máxima  $145 \times 10^4$  cel/mL bajo una intensidad lumínica de 7 297 lux, con una tasa de crecimiento de 0.63 d<sup>-1</sup>. Se evidenciaron diferencias significativas entre las densidades celulares, probablemente porque en este estudio se usó el medio de cultivo F/2 Guillard modificado, mientras que en el trabajo de Chin et al. (2023) se usó un medio de cultivo distinto (medio basal de Bold). Attar et al. (2023) mencionan que el tratamiento con diferentes medios de cultivo puede tener diversos efectos en las microalgas entre ellos, inhibir el crecimiento y alterar su metabolismo provocando un cambio en su composición.

Del mismo modo, en el estudio de Kong et al. (2021), evaluaron la influencia de la temperatura y la intensidad de luz en *C. calcitrans*, a 30 °C y 10 810 lux alcanzó su mayor densidad celular ( $54.27 \pm 2.24 \times 10^5$  cel/mL), se registró a los 16 días; por el contrario, en este estudio se ensayó a 10 000 lux, la densidad máxima fue de  $6.6 \times 10^6$  cel/mL a las 48 horas, con una tasa de crecimiento de 0.56 (1/6h) a las 24 horas y de 0.32 (1/6h) a las 48 horas, siendo diferentes los resultados, debido a que en el trabajo de Kong et al. (2021) la microalga mostró un efecto positivo en cuanto al crecimiento a una intensidad de 6 486 lux, no obstante, al incrementar la intensidad de la luz a 10 810 lux, no hubo un incremento en el crecimiento. En el presente estudio, se realizó el análisis a 20 000 lux; sin embargo no se dispone de otros estudios que hayan utilizado estas intensidades de luz, por lo cual se indican que se alcanzó una densidad celular máxima de  $1.1 \times 10^7$  cel/mL a las 66 horas, con una tasa de crecimiento de 0.23 d<sup>-1</sup> a las 24 horas y de 0.31 d<sup>-1</sup> a las 48 horas.

Es importante considerar que los incrementos de la intensidad de la luz tienen el potencial de elevar el pH, ya que el proceso de carboxilación implica el consumo de fotones y la transferencia de iones de hidrógeno al interior de la célula (Aditya et al., 2023), considerando cambios que pueden afectar el metabolismo de las microalgas, además de que de acuerdo a Fierro et al. (2023) la exposición excesiva a la luz, conlleva a un daño fotooxidativo, dando lugar a una disminución en el crecimiento de las microalgas por fotoinhibición. En conjunto, estos hallazgos subrayan la complejidad y la necesidad de considerar las condiciones experimentales al interpretar resultados y al comparar estudios sobre el crecimiento de microalgas.

En este estudio, se observó que la productividad de *Chaetoceros sp.*, bajo una intensidad lumínica de 4 000 lux, se obtuvo una productividad de 0.69 g L<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>; siendo superior al estudio de Chin et al. (2023) con *C. muelleri*, que muestra un aumento en la productividad

de biomasa de 0.44 g L<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> a una intensidad de 7 297 lux. Esto podría deberse a fenómenos como la fotoinhibición, donde las tasas de fotosíntesis disminuyen a medida que la intensidad de la luz alcanza niveles excesivos, afectando negativamente la productividad de biomasa.

Mientras que Nur et al. (2023), con *C. calcitrans* presentó una productividad de 4.72 g L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> a una intensidad de luz de 10 810 lux, a diferencia de este estudio que *Chaetoceros sp.*, a 10 000 lux se obtuvo una productividad de 0.78 g L<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. Se muestra una productividad diferente entre las especies, lo que resalta la complejidad de los sistemas de cultivo, además de los días de cultivo, se considera que estas variaciones se deben a la inclusión del efluente de la molienda de aceite de palma (POME) como medio de crecimiento, ya que de acuerdo a Ravishan et al. (2021) señalan que las microalgas pueden actuar como biofiltros, extrayendo nutrientes valiosos del POME y convirtiéndolos en biomasa.

En el ensayo a 20 000 lux con la microalga *Chaetoceros sp.*, se obtuvo una productividad de 0.59 g L<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>; en el caso del estudio realizado por Tachihana et al. (2023) revelan la sensibilidad de *C. gracilis* a la intensidad de luz, se llegó a un estado estacionario con un promedio de  $0.50 \pm 0.03$  g de peso seco (dw) L<sup>-1</sup> por debajo de 16 216 lux, mientras que, con un incremento a 54 054 lux resulta en un aumento significativo en el peso seco  $0.72 \pm 0.05$  g peso seco L<sup>-1</sup>. No obstante, este aumento no es indefinido, ya que existe un punto máximo de intensidad luminosa para cada especie de microalga, más allá del cual el crecimiento puede estancarse o incluso inhibirse.

De manera integral, los resultados sugieren que la respuesta de *Chaetoceros sp.*, a la intensidad lumínica es influenciada por factores específicos de la especie y que otros aspectos del ambiente, como nutrientes y temperatura, pueden modular significativamente los resultados observados. La variabilidad en los estudios destaca la necesidad de considerar múltiples variables ambientales para comprender completamente el impacto de la intensidad de luz en la productividad de *Chaetoceros sp.*

## Conclusión

La intensidad lumínica es un factor decisivo para optimizar el cultivo de *Chaetoceros spp.*, microalga de gran relevancia en la alimentación acuícola. Se determinó que a 20 000 lux se alcanzó la mayor densidad celular, mientras que a 10 000 lux se registró la tasa de crecimiento más elevada, lo que evidencia que la especie responde de manera diferenciada a las variaciones de irradiancia. Aunque la productividad no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, los resultados sugieren que el manejo adecuado de la luz puede mejorar la disponibilidad de biomasa en menor tiempo, reduciendo así los costos de producción y asegurando un suministro más

eficiente de alimento vivo en criaderos de organismos acuáticos. En este sentido, establecer rangos óptimos de iluminación constituye una herramienta estratégica para potenciar la sostenibilidad y competitividad del sector acuícola.

## Referencias Bibliográficas

- Acíen-Fernández, F.G., Molina Grima, E. y Fernández-Sevilla, J.M. (2014). *Ingeniería de Procesos aplicada a la Biotecnología de Microalgas*. Universidad de Almería.
- Aditya, L., Vu, H. P., Johir, M., Mahlia, T., Silitonga, A., Zhang, X., Liu, Q., Tra, V., Ngo, H. H., & Nghiem, L. D. (2023). Role of culture solution PH in balancing CO<sub>2</sub> input and light intensity for maximising microalgae growth rate. *Chemosphere*, 343, 140255.
- Arredondo-Vega, B. O., & Voltolina, D. (2007). Concentración, recuento celular y tasa de crecimiento. En *Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de la biomasa microalgal*.
- Attar, S. B., Morillas-España, A., Sánchez-Zurano, A., Pessôa, L. C., Pinna-Hernández, M. G., De Jesus Assis, D., López, J. C., & Acíen, G. (2023). Influence of culture media composition on the rheology of microalgae concentrates on a large scale. *New Biotechnology*, 77, 90-99.
- Beal, C. M., Gerber, L. N., Thongrod, S., Phromkunthong, W., Kiron, V., Granados, J., Archibald, I., Greene, C. H., & Huntley, M. E. (2018). Marine microalgae commercial production improves sustainability of global fisheries and aquaculture. *Scientific Reports*, 8(1).
- Bhattacharjya, R., Tyagi, R., Rastogi, S., Ulmann, L., & Tiwari, A. (2024). Response of varying combined nutrients on biomass and biochemical composition of marine diatom *Chaetoceros gracilis* and *Thalassiosira weissflogii*. *Bioresource Technology*, 394, 130274. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.130274>
- Bravo, M.; Lodeiros, C., Zapata, E. y Alió, J. (2020). Efecto de luces LED y fluorescentes sobre el crecimiento y la biomasa de *Thalassiosira pseudonana* (Cleve, 1873). *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 24.
- Chen, H., Shan, S., Wang, C., Hamcapaev, B. B., Dubovskiy, I. M., Zhou, C., Ruan, R., Yan, X., & Cheng, P. (2023). Mixotrophic culture of *Chaetoceros* sp. and its response to circadian rhythm. *Algal Research*, 73, 103119.
- Chicaiza Ortiz, C., León Chimbolema, J., Godoy Ponce, S., Alvarado Ávila, G. y Chicaiza Ortiz, A. (2021). Ensayos de laboratorio para la obtención de biomasa algal en un fotobiorreactor discontinuo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8 (1), 01-07.
- Chin, G. J. W. L., Andrew, A. R., Abdul-Sani, E. R., Yong, W. T. L., Misson, M., & Anton, A. (2023). The effects of light intensity and nitrogen concentration to enhance lipid production in four tropical microalgae. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 48, 102660.
- Clagnan, E., Dell'Orto, M.; Štěrbová, K., Grivalský, T., Câmara Manoel, J.A., Masojidek, J., D'Imporzano, G., Acíen-Fernández, F.G. y Adani, F. (2023). Impact of photobioreactor design on microalgae-bacteria communities grown on wastewater: Differences between thin-layer cascade and thin-layer raceway ponds. *Bioresource Technology*, 374, pág. 128781.
- Contreras, C., Peña, J., Flores, L. y Cañizarez, R. (2003). Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia*, 28 (8), 450-456.
- Costache, T., Acíen Fernández, F.G., Morales, M., Fernández-Sevilla, J., Stamatini, I. y Molina, E. (2013). Comprehensive model of microalgae photosynthesis rate as a function of culture conditions in photobioreactors. *Applied microbiology and biotechnology*, 97 (1), 7627-7637.
- Fierro, I., Djema, W., & Bernard, O. (2023). Optimal control of microalgae culture accounting for photoinhibition and light attenuation. *IFAC-PapersOnLine*, 56(2), 7222-7227. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.329>
- García Sánchez, J.L., Berguel, M., Rodríguez, F., Fernández Sevilla, J.M., Brindley Alias, C. y Acíen Fernández F.G. (2003). Minimization of carbon losses in pilot-scale outdoor photobioreactors by model-based predictive control. *Biotechnology and bioengineering*, 84 (5), 533-543.
- Guillard, R. (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrate animals. In W. Smith & M. Chanley (Eds.), *Culture of marine invertebrates* (1st ed., pp. 29-60). Plenum Press.
- Kong, F., Ran, Z., Zhang, J., Zhang, M., Wu, K., Zhang, R., Liao, K., Cao, J., Zhang, L., Xu, J., & Yan, X. (2021). Synergistic effects of temperature and light intensity on growth and physiological performance in *Chaetoceros calcitrans*. *Aquaculture Reports*, 21, 100805.
- Molina Grima, E., Acíen Fernández, F.G., García Camacho, F. y Chisti, Y. (2000). Scale-up of photobioreactors. *Journal of applied phycology*, (12), 355-368.
- Plasencia, J. (2012). *Cultivo de microalgas (Clorella sorokiniana) con iluminación mediante LEDs (Light Emitting Diodes)* [Trabajo Fin de Carrera]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ravishan, J. S. R., Premaratne, M., Dinalankara, D. M. S. D., Perera, G. L. N. J., & Ariyadasa, T. U. (2021). Cultivation of microalgae in palm oil mill effluent (POME) for astaxanthin production and simultaneous phycoremediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105375.
- Reboloso Fuentes, M.M., Garca Sánchez J.L., Fernández Sevilla J.M., Acíen Fernández F.G., Sánchez Pérez J.A. y Molina Grima, E. (1999). Outdoor continuous culture of *Porphyridium cruentum* in a tubular photobioreactor: quantitative analysis of the daily cyclic variation of culture parameters. *Journal of Biotechnology*, 70 (1), 271-288.
- Ruiz, J. (2015). *Estudio de fotobiorreactor de microalga: sistema de monitoreo y simulación de estrategias de control* [Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería]. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.
- Sanz, V. (2019). *Diseño de un fotobiorreactor para la obtención de compuestos bioluminiscentes* [Trabajo Final de Máster]. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
- Shan, S., Wang, S., Yan, X., Chen, K., Liang, L., Li, X., Zhou, C., Yan, X., Ruan, R., & Cheng, P. (2023). Mixotrophic culture of *Chaetoceros* sp. and the synergistic carbon and energy metabolism. *Bioresource Technology*, 390, 129912.
- Tachihana, S., Nagao, N., Katayama, T., Yusoff, F. M., Banerjee, S., Shariff, M., Yamada, Y., Imaizumi, Y., Toda, T., & Furuya, K. (2023). High productivity of fucoxanthin and eicosapentaenoic acid in a marine diatom *Chaetoceros gracilis* by perfusion culture under high irradiance. *Algal Research*, 72, 103123.
- Vásquez-Suárez, A., Guevara, M., González, M., Cortez, R., & Arredondo-Vega, B. (2013). Crecimiento y composición bioquímica de *Thalassiosira pseudonana* (Thalassiosirales: Thalassiosiraceae) bajo cultivo semi-continuo en diferentes medios y niveles de irradiancias. *Revista De Biología Tropical*, 61(3).

## Desafíos en manejo y reducción de residuos orgánicos en mercados urbanos de Lago Agrio

Challenges in the management and reduction of organic waste in  
urban markets of Lago Agrio

Melanie Valeria Panimbosa Castro <sup>1</sup> & Orlando Meneses Quelal<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Posgrado, Tulcán, Ecuador

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

### Resumen

El artículo examina los desafíos del manejo y reducción de residuos sólidos orgánicos en los mercados y ferias del cantón Lago Agrio, Ecuador. Este estudio se sitúa en un contexto de creciente producción de residuos, donde se prevé que para 2050 se generen más de 3,4 billones de toneladas anuales. En Lago Agrio, donde los residuos sólidos orgánicos constituyen el 66,13% del total, la gestión inadecuada genera problemas ambientales significativos, incluyendo la contaminación del suelo y del agua. En este estudio participaron 219 comerciantes, cuyos resultados revelaron que el 73,83 % considera que los problemas de gestión de residuos no son graves. El 97,20 % nunca ha realizado compostaje, lo que sugiere una baja adopción de prácticas sostenibles. Analizando las causas, el 50,47 % de los encuestados atribuye la generación de residuos a la falta de ventas. En la relación entre edad y conocimiento, un análisis de chi-cuadrado mostró que, a mayor edad, menor conocimiento sobre la disposición de residuos ( $p = 0,026$ ), sugiriendo una necesidad crítica de capacitación adecuada. La gestión de residuos orgánicos se enfrenta a la falta de infraestructura apropiada y a deficiencias en la educación ambiental, lo que dificulta el aprovechamiento de los desechos. Este estudio concluye que se requieren intervenciones integrales que promuevan la educación y el uso de estrategias de gestión de residuos, en un enfoque que fomente una economía circular en la comunidad.

**Palabras clave:** contaminación, educación ambiental, mercados comerciales, residuos sólidos orgánicos.

### Abstract

The article examines the challenges of managing and reducing organic solid waste in the markets and fairs of the Lago Agrio canton, Ecuador. This study is situated in a context of increasing waste production, where it is projected that by 2050, more than 3.4 billion tons will be generated annually. In Lago Agrio, where organic solid waste constitutes 66.13% of the total, inadequate management generates significant environmental issues, including soil and water pollution. This study involved 219 traders, whose results revealed that 73.83% consider waste management problems to be not serious. Furthermore, 97.20% have never practiced composting, suggesting low adoption of sustainable practices. Analyzing the causes, 50.47% of respondents attributed waste generation to a lack of sales. In examining the relationship between age and knowledge, a chi-square analysis showed that older age correlates with less knowledge about waste disposal ( $p = 0.026$ ), suggesting a critical need for proper training. The management of organic waste faces challenges due to a lack of appropriate infrastructure and deficiencies in environmental education, complicating the utilization of waste. This study concludes that comprehensive interventions are required to promote education and the use of waste management strategies, with an approach that fosters a circular economy in the community.

**Keywords:** contamination, environmental education, commercial markets, organic solid waste.

### Introducción

El crecimiento demográfico, la urbanización y la industrialización han provocado un aumento sustancial de la producción de residuos. Por ejemplo, se espera que para el año 2050 la cantidad de residuos

sólidos urbanos se incremente en un 70%, alcanzando más de 3,4 billones de toneladas de anuales (Kumari & Raghubanshi, 2023). Este crecimiento desmedido de los residuos, especialmente los residuos sólidos orgánicos, representa una preocupación debido a los impactos negativos que genera en el medio ambiente

\* Correspondencia del autor:

E-mail: melanie.panimbosa@upec.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.

y la salud humana si no se gestionan adecuadamente (Chen et al., 2020; Hettiarachchi et al., 2018; Jalalipour et al., 2020). La gestión inadecuada de estos residuos puede causar problemas directos al ambiente y a la salud humana debido a la disposición directa en rellenos sanitarios o vertederos a cielo abierto, donde generan contaminación al ambiente por la emisión de gases y generación de lixiviados (Reinoso Intriago & Cadenas Martínez, 2022). Esta problemática es especialmente aguda en los países en desarrollo, donde la infraestructura de gestión de residuos suele ser inadecuada (A. Singh, 2019).

A través del tiempo, se ha buscado alternativas para el manejo y gestión de los residuos orgánicos. Sin embargo, los métodos convencionales como la deposición en vertederos y la incineración han demostrado no ser métodos sostenibles debido a la emisión de gases de efecto invernadero, como CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O, así como lixiviación de metales pesados y otros contaminantes que afectan a las aguas subterráneas (Chen et al., 2020). En este contexto, el compostaje doméstico presenta una solución eficaz, ya que permite la descomposición de residuos orgánicos en el hogar, reduciendo así la necesidad de transporte y procesamiento centralizado, además de demostrar una disminución significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el vertido en vertederos (Aljarrah et al., 2024). Por otro lado, el compostaje centralizado implica la recolección y el procesamiento de residuos orgánicos en una instalación centralizada, lo que lo convierte en una opción sostenible para gestionar grandes volúmenes de desechos, con el potencial de optimizarse para minimizar su impacto ambiental (Oliveira et al., 2017). Asimismo, la digestión anaeróbica (AD) es un proceso biológico que descompone desechos orgánicos en ausencia de oxígeno, generando biogás -una fuente de energía renovable- y digestato, un fertilizante rico en nutrientes (Pace et al., 2018). Este método no solo contribuye a una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también resulta altamente efectivo en la gestión de residuos alimentarios y verdes.

El uso de nuevas tecnologías, como el compostaje, ha demostrado ser una alternativa eficaz para el manejo de residuos sólidos orgánicos. Este método ayuda a mejorar la calidad de los suelos, aumentar la fertilidad y disminuir la tasa de erosión (Delgado et al., 2021). Estudios han demostrado la importancia de la separación en origen influye positivamente en las comunidades facilitando el manejo de los residuos sólidos orgánicos (Hettiarachchi et al., 2018). Además, el compostaje requiere una menor inversión inicial en comparación otros métodos de tratamiento y presenta grandes beneficios ambientales (Jalalipour et al., 2020; Lim et al., 2016).

La gestión inadecuada de residuos se ve exacerbada en los mercados municipales, donde los residuos sólidos generados se mezclan sin una clasificación apropiada, lo que incrementa los problemas de contaminación

ambiental (Raphela et al., 2024). Además, esta situación empeora debido a la apertura por la apertura de nuevos mercados, comercios y centrales de abastos, así como por el aumento de la informalidad laboral. Como consecuencia, la acumulación de residuos fuera de los establecimientos facilita la proliferación de insectos vectores de enfermedades, afectando tanto la higiene como la calidad ambiental del entorno (Angel et al., 2022).

Los mercados, espacios destinados a la compra, venta e intercambio comercial, pueden clasificarse en tradicionales y modernos según sus sistemas de gestión, infraestructura y tipo de transacción. Generalmente, estos se ubican en zonas estratégicas como en los centros de las ciudades (Silfia & Surtikanti, 2024). En este contexto, el manejo adecuado de los residuos orgánicos es fundamental para promover sistemas alimentarios sostenibles, ya que permite la generación de nuevos recursos y mitiga los impactos ambientales y económicos (Yoshikawa et al., 2021). Sin embargo, en muchos mercados aún persiste un bajo aprovechamiento de los desechos orgánicos debido a deficiencias en la recolección y el barrido, lo que limita su reutilización y reciclaje (Arizaga Gamboa & Balladares Montero, 2021).

Los gobiernos locales son los responsables del manejo del sistema de gestión de residuos, por lo que deben establecerse estrategias que optimicen la recolección, transporte y disposición final de los residuos (Paes et al., 2019). Es fundamental desarrollar métodos adecuados que contribuyan a la economía circular, promoviendo la valorización de los residuos orgánicos en lugar de su disposición final (Merchan et al., 2022). Como señala Chancafe (2022), los mercados enfrentan desafíos en cuanto a recolección, disposición y separación en la fuente, por lo que para solucionar estos problemas es importante que exista colaboración entre el gobierno, vendedores y la sociedad civil. También es importante tener una infraestructura adecuada, optimizar los sistemas de recolección y promover la educación ambiental en la comunidad (Chancafe, 2022).

A pesar de los esfuerzos realizados, aún es necesario continuar investigando y desarrollando estrategias más eficientes para la gestión de los residuos sólidos orgánicos. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo proponer estrategias de gestión integral para el manejo adecuado y la reducción de los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados y ferias libres de la zona urbana del cantón Lago Agrio.

## **Materiales y Método**

### **Área de estudio**

El cantón Lago Agrio, está situado en la provincia de Sucumbíos, Ecuador. Limita al norte con Colombia, al sur con el cantón Shushufindi, al este con los cantones Cuyabeno y Putumayo y al oeste con el cantón Cascales (Figura 1). Tiene una extensión territorial de 3 139.80 km<sup>2</sup>, una altitud de 300 msnm ubicada a una

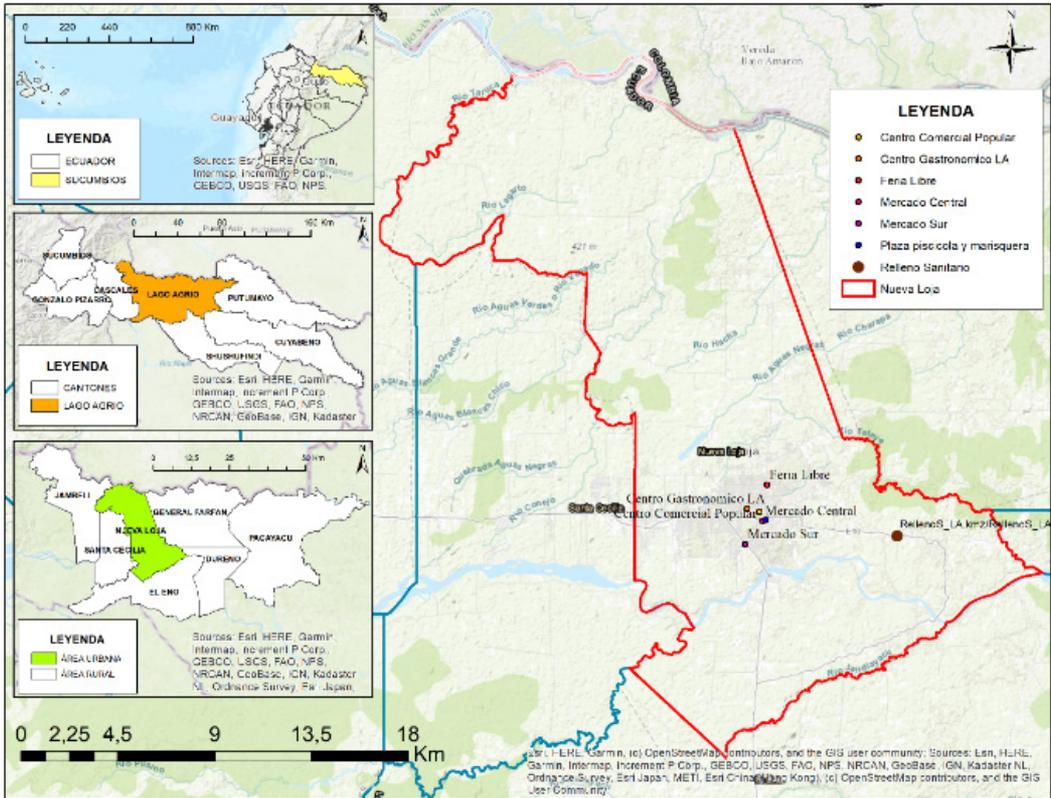


Figura 1. Mapa de ubicación del cantón Lago Agrio. Producción de residuos y métodos de recogida en Lago Agrio

Latitud: 0.0847222, Longitud: -76.88280° 5' 5" Norte, 76° 52' 58" Oeste. Su clima es tropical lluvioso y mega térmico muy húmedo, con temperaturas que oscilan entre un mínimo 20°C y máximo de 31°C (Chalco, 2015; Condor, 2019).

La precipitación media anual registra valores de 4637.8 mm en la estación M1203 (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017). El cantón Lago Agrio se encuentra entre las regiones más densamente pobladas del Ecuador, con una densidad de 105.044 habitantes en comparación con un promedio nacional de alrededor de 16.9838.986 habitantes (INEC, 2022).

La actividad económica dominante en esta ciudad es Agricultura, ganadería y silvicultura, seguida de la minería, manufacturera y comercio (GAD LA (Gobierno Autónomo Descentralizado de Lago Agrio), 2023). Lago Agrio cuenta con 105 044 habitantes, de los cuales el 50% son hombres y el 50% mujeres. La eliminación de basura que realiza el cantón Lago Agrio por medio del vehículo recolector pertenece al 71% mientras que el 15% la queman y el 8% arrojan la basura a terrenos baldíos (INEC, 2010; INEC, 2022). La zona urbana de Lago Agrio es la parroquia de Nueva Loja, cuenta con una población de 95.791 habitantes con un 49,2% de hombre y un 50,8 de mujeres. La población de Nueva Loja, según los registros del

INEC del 2001 al 2010 tuvo un crecimiento del 18.653 habitante y del 2010 al 2022 tuvo un crecimiento de 7.278 habitantes (INEC, 2023).

La selección de Lago Agrio como área de estudio se justifica por su relevancia como motor económico provincial y su alta generación de residuos sólidos, especialmente orgánicos, los cuales representan el 66.13% del total de residuos generados. Además, la falta de estrategias efectivas de gestión de residuos orgánicos en el cantón, junto con la existencia de un relleno sanitario que opera como botadero, hace de esta región un caso de estudio relevante para abordar los desafíos en la gestión de residuos sólidos orgánicos (Trabajos, 2019).

En Lago Agrio, la recolección de residuos sólidos se realiza mediante cuatro vehículos recolectores y un equipo de 16 personas que cubren siete rutas en la zona urbana, alcanzando una cobertura del 96,8%. Sin embargo, en las parroquias rurales, la cobertura varía significativamente, con porcentajes que oscilan entre el 40,7% y el 73,3% (Gobierno Autónomo Descentralizado de Lago Agrio, 2023). La gestión de residuos orgánicos es limitada, ya que no existen estrategias específicas para su tratamiento, lo que contribuye a la acumulación de desechos en el relleno sanitario y a la degradación ambiental.

**Diseño y justificación de las técnica e instrumentos**

La encuesta se diseñó considerando los aspectos ambientales, económicos y sociales, así como los objetivos de la investigación. Para su estructuración, se dividió en seis secciones, abordando la tipología del encuestado, cantidad y tipo de residuos sólidos orgánicos (RSO), causas de la generación de RSO, pérdidas económicas por RSO, estrategias de gestión integral y finalmente, la opinión sobre el impacto ambiental causado por los RSO.

Una vez elaborada, la encuesta fue enviada a tres expertos para su validación antes de su aplicación. Previamente, se llevó a cabo una prueba piloto a ocho participantes con el objetivo de evaluar su claridad y accesibilidad, asegurando que el lenguaje utilizado no fuera excesivamente técnico y resultara comprensible para los participantes. Con base a los resultados de esta prueba, se realizaron ajustes en el contenido y la estructura de la encuesta para mejorar su comprensión.

La recolección de datos, tanto para la prueba piloto en la fase final, se llevó a cabo utilizando la plataforma Epicollect 5.

**Población y muestra**

La población del estudio está conformada por los comerciantes de los mercados y ferias de la zona urbana del cantón de Lago Agrio (parroquia Nueva Loja). Dado que estos establecimientos presentan una diversidad en la tipología de productos comercializados, se ha optado por un muestreo aleatorio estratificado, asegurando así una representación equitativa de los distintos sectores comerciales, tales como venta de mariscos, legumbres, comedores, productos cárnicos, entre otros.

Para determinar el tamaño de la muestra, se utilizó la fórmula para poblaciones finitas:

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = población total (219)

Z = valor crítico de la distribución normal para un nivel de confianza del 95% (Z=1.96)

p = proporción esperada

e = margen de error permitido (5% o 0,05)

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

Sustituyendo los valores en la ecuación, se obtiene un tamaño de muestra de 140 usuarios de los diferentes establecimientos.

**Procedimiento de la investigación**

La metodología se compone de cuatro fases: el primero corresponde al análisis de producción de residuos sólidos orgánicos generados en los mercados y ferias.

El segundo corresponde al análisis de las causas principales que contribuyen a la generación de residuos

Tabla 1. Datos de establecimientos.

Administrador	Establecimiento	Cantidad de Puestos	Tipo de Venta		
Lauro Orellana	Plaza de Mariscos	12	Venta mariscos		
		1	Comedores		
		8	Mariscos		
		3	Legumbres		
	Mercado Sur	Mercado Sur	26	Productos de la zona	
			3	Pollo/res/queso	
			2	Comedores	
			8	Legumbre	
		Feria Libre	Feria Libre	4	Pollo/queso
				6	Productos de la zona
			1	Comedores	
			Rolando Valverde	Centro Comercial Popular	14
2	Comedores				
Centro Gastronómico Lago Agrio	Centro Gastronómico Lago Agrio	24		Comedores	
		3		Legumbres	
		4		Flores y hierbas medicinales	
		31		Comedores	
	Edison Sánchez	Mercado Central		1	Bebida (Horchata)
				2	Bebida (Morocho)
				30	Res
				9	pollos
9			Quesos		
11			Juguerías		
		5	Frituras		
Total		219			

sólidos orgánicos de los mercados y ferias. La tercera se estimarán las pérdidas económicas asociadas debido a la generación de residuos sólidos orgánicos de los mercados y ferias. Y finalmente, se desarrolló una propuesta de estrategias de gestión integral para el manejo adecuado y la reducción de residuos sólidos orgánicos generados en los establecimientos.

### **Análisis de datos**

Una vez aplicada la encuesta el análisis de datos se realizó mediante herramientas estadísticas que permitieron procesar la información obtenida a través de las encuestas realizadas en los mercados y ferias de la zona urbana del cantón Lago Agrio, es decir en la parroquia Nueva Loja. Para ello se hizo uso de programas como IBM SPSS Statistic 26, para realizar los resultados mediante tablas cruzadas y Epicollet5, utilizado en el levantamiento de información en campo. Así como también se usó Microsoft Excel para creación de cuadros y cálculos específicos.

Las técnicas estadísticas aplicadas son la descriptiva para caracterizar la cantidad y tipo residuos generados dentro de ello conocer la percepción de los comerciantes en base a la gestión de residuos. Como también se realizó análisis correlacionales para examinar la relación entre la cantidad de residuos generados, el tipo de comercio y la gestión de los residuos orgánicos.

### **Validación y limitaciones**

El diseño metodológico incluyó medidas para minimizar sesgos, como la validación de la encuesta por expertos y la realización de una prueba piloto. Sin embargo, se reconoce como limitación la posible falta de respuesta de algunos comerciantes, lo que podría influir en la representatividad de los datos.

### **Ética y Confidencialidad**

Se garantizó la confidencialidad de los datos recolectados y se obtuvo el consentimiento informado de los participantes antes de aplicar la encuesta.

Con este enfoque metodológico, se busca proporcionar una base sólida para el análisis de la generación y gestión de residuos sólidos orgánicos en Lago Agrio, así como para el desarrollo de estrategias sostenibles que promuevan la economía circular y la reducción de impactos ambientales.

## **Resultados y Discusión**

Perfil de los encuestados.

La Tabla 2 presenta las características sociodemográficas de los 219 participantes, considerando las variables sexo, nivel educativo y grupo etario. Esta caracterización permite comprender mejor las dinámicas sociales involucradas en la generación y gestión de residuos sólidos orgánicos (RSO) en los mercados y ferias urbanas de Lago Agrio.

Respecto al nivel educativo, se observa una clara concentración en la educación secundaria completa (50,47 %), seguida por el nivel primario (42,95 %). Este perfil educativo intermedio sugiere una potencial limitación en el acceso a información técnica y ambiental especializada, lo que podría incidir negativamente en la adopción de prácticas sostenibles de manejo de residuos (Nieto-Cañarte et al., 2024). En este sentido, estudios recientes en contextos similares han confirmado que un mayor

nivel educativo correlaciona positivamente con una mayor conciencia ambiental y disposición a participar en estrategias de valorización de residuos (Yang et al., 2024).

En relación con el sexo, se evidencia una marcada mayoría de mujeres (71,97 %), lo que refleja una feminización estructural del comercio informal en la región. Esta tendencia ha sido ampliamente documentada en América Latina, donde las mujeres no solo dominan los espacios de venta directa, sino que además asumen tareas vinculadas a la gestión de alimentos perecibles y, por consiguiente, a la generación de residuos orgánicos (Tamayo Salazar & Cajilema Tobar, 2023). Esta sobrerrepresentación femenina implica una oportunidad estratégica para enfocar los programas de sensibilización ambiental y separación de residuos con enfoque de género, lo que ha mostrado ser eficaz en intervenciones comunitarias previas (Baraldi et al., 2024).

En términos de edad, se observa que el 69,17 % de los encuestados tiene entre 18 y 49 años. Este rango etario se asocia con una mayor capacidad operativa, adaptabilidad al cambio y potencial de apropiación de tecnologías y conocimientos ambientales.

La literatura indica que los adultos jóvenes y de mediana edad tienden a mostrar mayor disposición al cambio en prácticas ambientales, especialmente cuando están adecuadamente informados o involucrados en programas participativos (van Hoof et al., 2025).

### **Ingresos y generación de residuos.**

El 48,60 % de los establecimientos reportan ingresos mensuales entre USD 390-668, seguidos por un 27,10 % con ingresos inferiores a USD 390. En contraste, solo el 4,68 % supera los USD 1000 mensuales. Estas cifras, contextualizadas frente al valor de la canasta básica familiar en Ecuador (USD 798,31) y la remuneración básica unificada (USD 470,00) (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2025), evidencian que la mayoría de los comerciantes apenas logra cubrir sus necesidades esenciales. Esta precariedad económica puede limitar la inversión en infraestructura para el manejo de residuos y fomentar prácticas poco sostenibles (Ramos, 2024). Particularmente, el Mercado Central, con el 44,86 % de encuestados, concentra el grupo con ingresos más representativos, mientras que el Mercado Sur (18,69 %) agrupa a los de menor ingreso, lo cual puede reflejar también desigualdades en la capacidad de manejo de residuos entre mercados.

Respecto a la recepción de productos en mal estado, el 76,64 % afirma no recibir mercancía deteriorada, mientras que un 23,36 % sí lo hace. Esta situación se presenta con mayor frecuencia en el Mercado Central y el Sur. Como señalan Van y Puchta (2019), la ausencia de cadenas logísticas eficientes y refrigeración adecuada aumenta la probabilidad de deterioro de productos perecederos en mercados tradicionales,

Tabla 2. Características demográficas de los comerciantes.

Nivel de estudios	Sexo	Edad			Total (%)
		18-35 (%)	36-49 (%)	50-72 (%)	
Primaria	Hombre	4,67	1,87	6,54	13,08
	Mujer	1,87	10,28	16,82	28,97
Secundaria incompleta	Mujer	0,00	0,93	0,00	0,93
Secundaria completa	Hombre	8,41	4,67	0,93	14,02
	Mujer	16,82	14,02	5,61	36,45
Técnico/artesano	Mujer	0,00	1,87	0,93	2,80
Superior universitario	Hombre	0,93	0,00	0,00	0,93
	Mujer	1,87	0,00	0,00	1,87
Ninguno	Mujer	0,00	0,93	0,00	0,93
	Total	34,58	34,58	30,84	100,00

afectando la calidad comercial y potenciando la generación de residuos prematuros.

En cuanto a las causas de generación de residuos orgánicos, el 50,47% de los encuestados señala la falta de ventas como principal causa, seguido por el 36,45% que lo atribuye a condiciones climáticas adversas. Estas causas están mayormente concentradas en el Mercado Central y Sur, donde los niveles de rotación de productos son bajos. La sobreoferta en contextos de baja demanda resulta en una mayor generación de residuos, fenómeno ampliamente documentado

Tabla 3. Relación entre el nivel educativo de los comerciantes y la estimación de pérdidas económicas asociadas a la gestión de Residuos Sólidos Orgánicos

Estudios	Pérdidas económicas				Total
	Sí, he realizado un análisis detallado	Sí, pero no de manera exhaustiva	No, pero estoy considerando hacerlo	No, y no tengo planes de hacerlo	
Primaria	0.00	0.93	0.00	41.12	42.06
Secundaria incompleta	0.00	0.00	0.00	0.93	0.93
Secundaria completa	0.00	2.80	0.93	46.73	50.47
Técnico/artesano	0.00	0.00	0.00	2.80	2.80
Superior universitario	0.93	0.00	0.00	1.87	2.80
Ninguno	0.00	0.00	0.00	0.93	0.93
Total	0.93	3.74	0.93	94.39	100.00

en sistemas de distribución tradicionales en América Latina (Rahman et al., 2024; Win et al., 2024).

Respecto al tipo de residuos, el 63,9% corresponde a residuos orgánicos: restos de animales (19,51%), frutas (17,56%), pescado y mariscos (15,61%), y restos de comida (11,22%). Esto se alinea con la composición típica de residuos en sistemas alimentarios urbanos, donde los residuos orgánicos representan hasta el 70% del total generado (Win et al., 2024). Esta proporción refleja no solo el perfil comercial de los mercados centrado en productos perecederos, sino también la ineficiencia en la planificación de ventas y la falta de mecanismos de redistribución o valorización de alimentos.

El sistema de almacenamiento de residuos muestra que el 62,62% utiliza fundas plásticas y el 28,04% baldes. Aunque de uso extendido, las fundas plásticas no biodegradables dificultan la valorización de residuos mediante compostaje y generan externalidades ambientales negativas (Islam et al., 2024). La escasa utilización de materiales reutilizables como costales (8,41%) evidencia una falta de orientación técnica para el manejo sostenible de residuos.

Finalmente, el 55,14% de los establecimientos genera más de 30 kg de residuos por jornada, con un 27,10% que supera los 50 kg. Esta elevada producción de residuos orgánicos, especialmente en el Mercado Central y Sur, implica una presión significativa sobre los sistemas municipales de recolección, que usualmente no están dimensionados para esta carga. Estudios recientes recomiendan implementar modelos de economía circular que integren el compostaje comunitario y la educación ambiental como estrategias de reducción y valorización de residuos en espacios comerciales (Islam et al., 2024).

Tabla 4. Estrategias de gestión de residuos orgánicos según el nivel educativo y la edad de los comerciantes en diferentes establecimientos

Establecimientos	Edad	Estrategias					Total
		Si, conozco y aplico ambos	Si, conozco, pero no las aplico	No, pero estoy interesado/a en aprender	No, no conozco ni aplico ninguna	No estoy seguro/a sobre las estrategias	
Mercado Central	18-35	0,00	1,87	0,00	13,08	0,00	14,95
	36-49	0,00	2,80	1,87	10,28	0,00	14,95
	50-72	0,00	0,93	0,93	13,08	0,00	14,95
Centro Comercial Popular	18-35	0,93	0,00	0,00	0,93	0,00	1,87
	36-49	0,93	0,93	0,00	0,00	0,93	2,80
	50-72	0,93	0,93	0,00	0,93	2,80	5,61
Centro Gastronómico Lago Agrio	18-35	0,00	0,00	0,00	4,67	0,93	5,61
	36-49	0,00	0,93	0,00	0,93	0,00	1,87
	50-72	0,00	0,00	0,00	1,87	0,00	1,87
Mercado Sur	18-35	0,93	1,87	0,00	3,74	0,93	7,48
	36-49	0,00	0,93	0,00	6,54	0,00	7,48
	50-72	0,00	0,00	0,00	2,80	0,93	3,74
Plaza de Mariscos	18-35	0,00	0,93	0,00	2,80	0,00	3,74
	36-49	0,00	0,93	0,00	2,80	0,00	3,74
	50-72	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,93
Feria Libre	18-35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,93
	36-49	0,00	1,87	0,00	0,93	0,93	3,74
	50-72	0,00	1,87	0,00	1,87	0,00	3,74
Total		3,74	16,82	2,80	68,22	8,41	100,00

**Principales desafíos y estrategias en la gestión de Residuos Sólidos Orgánicos entre comerciantes.**

En cuanto a los principales problemas en la gestión de residuos, el 39,25 % recalca la falta de aprovechamiento de los residuos orgánicos, seguido por la escasez de contenedores (31,78 %), la ausencia de clasificación (23,36 %) y el limitado control en los puntos de disposición (5,61 %). Estos problemas son comunes en mercados de América Latina, donde persisten deficiencias en infraestructura y educación ambiental (Jara-Samaniego et al., 2017).

Respecto al cumplimiento de los horarios de recolección, el 68,22 % de comerciantes manifiesta que los carros recolectores municipales cumplen

siempre con los horarios establecidos, el 23,36 % afirma que lo hacen ocasionalmente, y solo el 8,42 % expresa una experiencia negativa (7,48 % rara vez y 0,93 % nunca). Los mercados populares generan cantidades significativas de residuos, lo que crea vectores de diseminación microbiana que representan riesgos para la salud de las poblaciones cercana (Arias-Espinoza et al., 2023; Carlos Vera et al., 2024).

Según la Tabla 3, el 87,85 % de los comerciantes, en su mayoría con educación primaria (41,12 %) y secundaria (46,73 %), no ha estimado pérdidas económicas relacionadas con los residuos orgánicos generados. Un 4,67 % ha realizado algún tipo de análisis, mientras que solo el 0,93 % ha efectuado un estudio detallado.

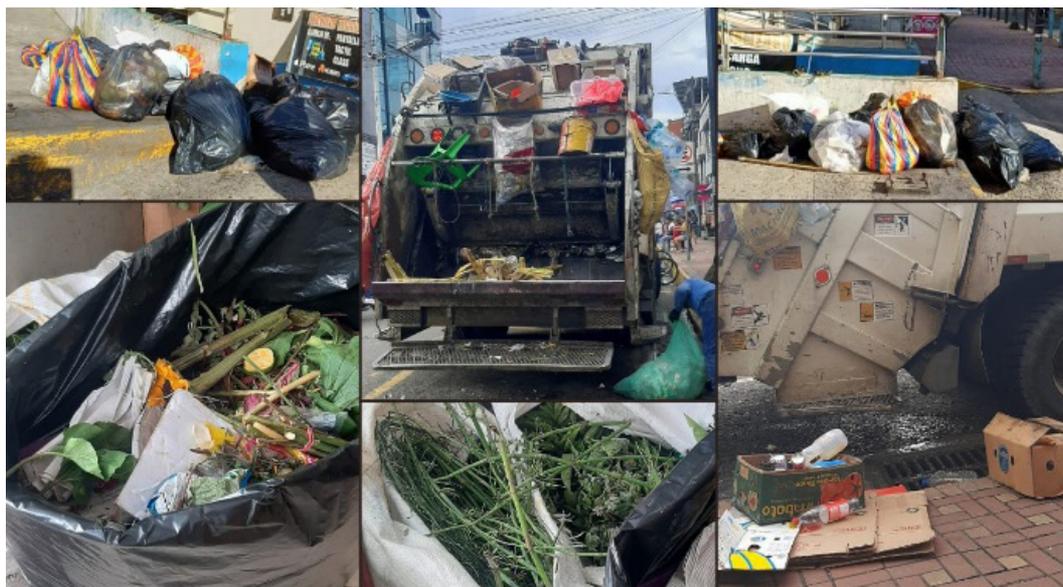


Figura 2. Desafíos en la gestión de residuos en áreas comerciales: desechos no gestionados y oportunidades de mejora

Tabla 5. Frecuencia de realización de compostaje según el nivel educativo y la edad de los comerciantes

Estudios	Edad	Frecuencia de realizar compost				Total %
		Nunca he realizado compostaje	Ocasionalmente (de 1 a 3 veces al año)	Frecuentemente (de 4 a 12 veces al año)	Regularmente más de 12 veces al año o de forma continua)	
Primaria	18-35	6,54	0,00	0,00	0,00	6,54
	36-49	11,21	0,93	0,00	0,00	12,15
	50-72	22,43	0,00	0,00	0,93	23,36
Secundaria incompleta	36-49	0,93	0,00	0,00	0,00	0,93
Secundaria completa	18-35	25,23	0,00	0,00	0,00	25,23
	36-49	17,76	0,00	0,93	0,00	18,69
	50-72	6,54	0,00	0,00	0,00	6,54
Técnico/ artesano	36-49	1,87	0,00	0,00	0,00	1,87
	50-72	0,93	0,00	0,00	0,00	0,93
Superior universitario	18-35	2,80	0,00	0,00	0,00	2,80
Ninguno	36-49	0,93	0,00	0,00	0,00	0,93
Total (%)		97,20	0,93	0,93	0,93	100,00

El 95,32 % no ha considerado realizar ningún tipo de análisis económico. Las investigaciones indican que el nivel educativo impacta significativamente el éxito empresarial y los resultados económicos.

Los emprendedores con menos de 12 años de educación ganan 6.6% más por año adicional de

escolaridad, mientras que aquellos con más de 12 años ven un aumento del 3% (Macas Acosta & Macas Lituma, 2022).

En relación con el destino de los residuos (Tabla 4), el 58,77 % de los comerciantes entrega los residuos directamente al recolector municipal, el 38,60 %

Tabla 6. Análisis de Chi-Cuadrado sobre la relación entre edad y conocimiento sobre la disposición final de Residuos Sólidos Orgánicos

Estadístico	Valor	Grados de libertad	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	8,423	4	0,077
Razón de verosimilitud	8,548	4	0,073
Asociación lineal por lineal	4,971	1	0,026
Número de casos válidos	219		

los utiliza como alimento para ganado o mascotas, el 1,75 % los lleva a su hogar, y solo el 0,88 % los entrega para la elaboración de compost. Como lo menciona Aparicio-Rengifo y Materón-Chacón (2024) la falta de separación adecuada de residuos orgánicos en un mercado genera problemas ambientales y socioeconómicos. Respecto al conocimiento sobre estrategias de gestión de residuos orgánicos, el 79,43 % no conoce ni aplica ninguna estrategia, el 16,82 % las conoce, pero no las aplica, y apenas el 3,74 % las conoce y aplica estrategias de RSO. Como en un mercado mexicano, los vendedores reportaron una generación sustancial de residuos orgánicos, con un promedio de 43,30 kg a la semana, lo que resultó en pérdidas económicas de aproximadamente 1287 pesos (Reyes-Álvarez et al., 2023).

#### Percepción de la gestión de residuos y prácticas de compostaje entre comerciantes.

El 73,83 % de los comerciantes considera que los problemas relacionados con la gestión de residuos no son graves (42,99 % sin problema, 30,84 % problema leve), mientras que el 26,16 % percibe algún tipo de dificultad (14,95 % moderado, 10,28 % grave y 0,93 % muy grave). Esta percepción (Figura 2) refleja una falta de concienciación y prácticas adecuadas para el manejo de residuos orgánicos, a pesar del creciente reconocimiento del problema, especialmente entre las mujeres y los comerciantes más jóvenes (Rojas et al., 2025).

En cuanto al sistema de codificación por colores para la clasificación de residuos sólidos orgánicos (RSO), el 42,06 % de los comerciantes declara tener conocimiento parcial, mientras que el 35,51 % no tiene conocimiento. Solo el 3,74 % posee un conocimiento completo. Las diferencias de género son notables: el 32,71 % de las mujeres tienen conocimiento parcial (saben el código de color, pero no lo aplican) en comparación con el 23,36 % de los hombres que no conocen el código de colores (Agrado-Hernández et al., 2024).

Según Tabla 5, el 97,20 % de los comerciantes no ha realizado compostaje, y solo el 2,80 % lo ha hecho en alguna ocasión. Entre quienes no han realizado compostaje, se destaca el grupo con educación primaria (42,06 %), especialmente en el rango de 50 a 72 años (22,43 %) y quienes han culminado el

bachillerato en el grupo de 18 a 35 años (25,23 %). La baja adopción de prácticas sostenibles como el compostaje en los mercados es evidente. Aunque existen experiencias exitosas, como en Pastaza, donde el 65 % de los participantes realiza compostaje regularmente, la implementación generalizada se ve limitada por problemas como el incumplimiento tributario y la falta de registros financieros entre comerciantes. Los programas de compostaje, sin embargo, han demostrado beneficios ambientales y económicos, como la mejora del suelo y la generación de ingresos (Delgado et al., 2021; Valenzuela et al., 2020).

En relación con la percepción del impacto ambiental de la generación de RSO, el 69,16 % de los encuestados tiene entre 18 y 49 años. De este grupo, el 15,89 % no percibe impacto ambiental, el 23,36 % lo considera bajo, el 16,82 % moderado, el 12,15 % alto, y el 0,93 % muy alto. Para los mayores de 50 años, el 11,21 % no percibe impacto, el 7,48 % lo considera bajo, el 6,54 % alto, y el 5,61 % moderado. El nivel educativo y el género influyen significativamente en estas percepciones, siendo los vendedores con mayor nivel educativo más conscientes del adecuado aprovechamiento de residuos, con un marcado interés entre las mujeres y los comerciantes más jóvenes (Rojas et al., 2025).

El análisis presentado en Tabla 6 examina la relación entre la edad y el conocimiento sobre la disposición final de residuos, empleando un análisis de chi-cuadrado. El valor de p de Pearson es 0,077, que se encuentra ligeramente por encima del umbral de significancia del 0,05, indicando que la asociación no es estadísticamente significativa. Sin embargo, la prueba de asociación lineal por lineal ( $p = 0,026$ ) sugiere una tendencia significativa: a mayor edad, menor conocimiento sobre la disposición final de residuos. Estos hallazgos confirman la hipótesis de que la educación y la sensibilización deben adaptarse a diferentes grupos etarios, especialmente a los adultos mayores, quienes requieren estrategias formativas específicas para mejorar su comprensión sobre la gestión de residuos.

La percepción de la existencia de algún tipo de gestión de residuos orgánicos entre los encuestados es baja, con un 81,3 % mostrando inseguridad sobre este aspecto. Esta percepción es más aguda entre personas de 36 a 72 años, mientras que solo un 8,1 % de los jóvenes (18-35 años) expresó algún nivel de seguridad. En Ecuador, los retos en la gestión de residuos orgánicos se derivan principalmente de la limitada implementación de políticas públicas efectivas y la ausencia de metodologías estandarizadas para su tratamiento y aprovechamiento (Rodríguez Masabanda, 2025).

Respecto a la disposición de los comerciantes a consumir productos derivados de sus propios residuos orgánicos, el 84 % de los jóvenes (18-35 años) presenta una actitud positiva. Esta disposición decrece con la

edad, siendo del 73 % en el grupo de 36-49 años y del 61 % en los mayores de 50 años. Las investigaciones señalan que los jóvenes con mayor interés ambiental tienden a adoptar comportamientos proambientales con mayor frecuencia, mientras que los adultos mayores están influenciados por su conexión emocional con la naturaleza y su nivel de interés ambiental (Favara & Moreno, 2020).

## Conclusión

Los resultados de este estudio resaltan la urgente necesidad de mejorar la gestión y reducción de residuos sólidos orgánicos en Lago Agrio, donde el 66,13% de los desechos generados son orgánicos, evidenciando una intensa presión sobre el sistema de recolección municipal, que solo logra cubrir el 96,8% en zonas urbanas. La percepción de los comerciantes indica que el 73,83% considera que los problemas no son graves, lo que revela una alarmante falta de concienciación y práctica adecuada respecto al manejo de residuos.

La escasa adopción del compostaje, con un 97,20% de comerciantes que no lo han realizado, señala la necesidad de estrategias de sensibilización efectivas y accesibles, sobre todo entre grupos con menor nivel educativo, que presenta una correlación negativa con la conciencia sobre el manejo de residuos. Además, el 50,47% de los comerciantes atribuye la generación de residuos a la falta de ventas, un fenómeno exacerbado por las condiciones climáticas adversas, lo que intensifica la necesidad de intervenciones estratégicas que incluyan educación ambiental y prácticas de valorización de residuos.

La relación significativa entre edad y conocimiento sobre la disposición final de residuos ( $p = 0,026$ ) destaca la importancia de implementar programas educativos específicos que aborden las necesidades de diferentes grupos etarios, enfatizando a los adultos mayores. Para abordar estos retos, el desarrollo de infraestructura y políticas públicas que faciliten la recolección y almacenamiento adecuado de residuos es esencial. En resumen, la promoción de prácticas sostenibles y la implementación de un enfoque integral de gestión de residuos contribuirán a mitigar los impactos ambientales y mejorar la calidad de vida en Lago Agrio.

## Recomendaciones

Se sugiere implementar compostaje comunitario en mercados y ferias, acompañado de programas de educación ambiental inclusiva dirigidos a los comerciantes. Además, es necesario desarrollar campañas de sensibilización con contenidos básicos y accesibles. Finalmente, se recomienda mejorar la infraestructura mediante la instalación de puntos de recepción de residuos orgánicos e implementar rutas de recolección diferenciada que favorezcan su aprovechamiento.

## Referencias Bibliográficas

- Agredo-Hernández, E. J., Lara-Chicangana, Y. A., Montenegro-Valdes, D., & Muñoz-Solarte, D. M. (2024). Diagnóstico de manejo de residuos y síntomas en salud en plaza de mercado en zona urbana del suroccidente colombiano. *Ingeniería y Competitividad*, 26(1), 1-16. <https://doi.org/10.25100/iy.c.v26i1.13327>
- Aljarrah, M., Ashraf, A., Khandakar, A., Rohouma, W., Ayari, M. A., Esmaeili, A., Butt, R., Kadampotupadeth, S., Thomas, K., Rahman, A., & Phillips, M. (2024). Environmental performance analysis of three organic waste disposal scenarios: landfilling, composting, and EP-50. *Discover Sustainability*, 5(1), 445. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00614-7>
- Angel, M., Sotelo, I., Cecilia, A., Lazaro, D. P., Alberto, N. M., Humberto, M., Cancho, T., Wilson, J., Gonzales, L., Mario, C., & Mamani, C. (2022). *EESj EESj*. 6(2), 12-21.
- Arizaga Gamboa, R. E., & Balladares Montero, J. C. (2021). Elaboración de abonos orgánicos mediante dos técnicas de compostaje en mercados del cantón La Troncal. *Sathiri*, 16(1), 144-154. <https://doi.org/10.32645/13906925.1046>
- Baraldi, A. L., Cantabene, C., & De Iudicibus, A. (2024). Does gender affect environmentally virtuous behaviour? Evidence from selective waste collection. *Journal of Environmental Management*, 353, 120069. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2024.120069>
- Chalco, Li. E. N. (2015). *Propuesta para la gestión de los residuos generados en las plataformas de perforación de petróleo, caso de estudio: plataforma ccdc-38, cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbios proyecto*. Escuela Politécnica Nacional.
- Chancafe, J. G. (2022). Análisis medioambiental del manejo de residuos sólidos de los mercados abiertos en Perú, una revisión narrativa. *Revista de Ciencias*.
- Chen, T., Zhang, S., & Yuan, Z. (2020). Adoption of solid organic waste composting products: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 272(2020), 122712. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122712>
- Condor, N. E. P. (2019). *Análisis del sistema de Gestión Integral de residuos sólidos urbanos, determinación de potenciales impactos ambientales y propuestas de mejora continua del manejo de los residuos sólidos no peligrosos en la zona urbana de la ciudad de Nueva Loja, Cantón L. Pontificia Universidad Católica del Ecuador*.
- Delgado, P. N., Muñoz, P. V., & Marmol, H. R. (2021). Estudio de caso: Compostaje sustentable en base a residuos orgánicos de los mercados municipales del cantón Pastaza / Case study: Sustainable composting based on organic waste from the municipal markets of the Pastaza cantón. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(2), 2126-2133. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n2-045>
- Favara, J. V., & Moreno, J. E. (2020). Preocupación ambiental y conductas proambientales en jóvenes y adultos mayores. *Revista de Psicología*, 29(1), 1-10. <https://doi.org/10.5354/0719-0581.2020.53184>
- GAD LA (Gobierno Autónomo Descentralizado de Lago Agrio). (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Lago Agrio*.
- Hettiarachchi, H., Meegoda, J. N., & Ryu, S. (2018). Organic waste buyback as a viable method to enhance sustainable municipal solid waste management in developing countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 1-15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112483>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). (2022). *Censo Ecuador*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). *Informe Ejecutivo de las Canastas Analíticas*.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). Anuario meteorológico № 53-2013. In *Instituto Nacional de*

- Meteorología e Hidrología.*
- Islam, N. F., Gogoi, B., Saikia, R., Yousaf, B., Narayan, M., & Sarma, H. (2024). Encouraging circular economy and sustainable environmental practices by addressing waste management and biomass energy production. *Regional Sustainability*, 5(4), 100174. <https://doi.org/10.1016/J.REGSUS.2024.100174>
- Jalalipour, H., Jaafarzadeh, N., Morscheck, G., Narra, S., & Nelles, M. (2020). Potential of producing compost from source-separated municipal organic waste (A case study in Shiraz, Iran). *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12229704>
- Kokkinopoulou, E., Vrontis, D., & Thrassou, A. (2025). The impact of education on productivity and externalities of economic development and social welfare: a systematic literature review. *Central European Management Journal*. <https://doi.org/10.1108/CEMJ-04-2024-0124/FULL/PDF>
- Kumari, T., & Raghubanshi, A. S. (2023). Chapter 33 - Waste management practices in the developing nations: challenges and opportunities. In P. Singh, P. Verma, R. Singh, A. Ahamad, & A. C. S. Batalhão (Eds.), *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World* (pp. 773-797). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90463-6.00017-8>
- Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262-278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>
- Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management: Current Practices and Potential Improvements. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 6329, 16(15), 6329. <https://doi.org/10.3390/SU16156329>
- Merchan, D., Garcia-Cubero, M. T., Paredes, A., & Gonzalez, M. (2022). Waste management in municipal markets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1057(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1057/1/012015>
- Nieto-Cañarte, C. A., Bosquez-Mestanza, A. L., Puente-Bosquez, S. M., Bosquez-Mestanza, J. del R., Guamán-Sarango, V. M., & Burgos-Carpio, B. A. (2024). Análisis de la conciencia ambiental en las familias de zonas urbanas del cantón El Empalme, Ecuador. *South Florida Journal of Development*, 5(10), e4547. <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n10-049>
- Nunan, F. (2000). Urban organic waste markets: Responding to change in Hubli-Dharwad, India. *Habitat International*, 24(3), 347-360. [https://doi.org/10.1016/S0197-3975\(00\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S0197-3975(00)00002-3)
- Oliveira, L. S. B. L., Oliveira, D. S. B. L., Bezerra, B. S., Silva Pereira, B., & Battistelle, R. A. G. (2017). Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 155, 229-237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.093>
- Pace, S. A., Yazdani, R., Kendall, A., Simmons, C. W., & VanderGheynst, J. S. (2018). Impact of organic waste composition on life cycle energy production, global warming and Water use for treatment by anaerobic digestion followed by composting. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 126-135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.030>
- Paes, L. A. B., Bezerra, B. S., Deus, R. M., Jugend, D., & Battistelle, R. A. G. (2019). Organic solid waste management in a circular economy perspective - A systematic review and SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118086. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118086>
- Rahman, T., deb, N., Alam, M. Z., Moniruzzaman, M., Miah, M. S., Horaira, M. A., & Kamal, R. (2024). Navigating the contemporary landscape of food waste management in developing countries: A comprehensive overview and prospective analysis. *Heliyon*, 10(12), e33218. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E33218>
- Ramos, A. (2024). Sustainability assessment in waste management: An exploratory study of the social perspective in waste-to-energy cases. *Journal of Cleaner Production*, 475, 143693. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.143693>
- Raphela, T., Manqeale, N., & Erasmus, M. (2024). The impact of improper waste disposal on human health and the environment: a case of Umgungundlovu District in KwaZulu Natal Province, South Africa. *Frontiers in Sustainability*, 5. <https://doi.org/10.3389/frsus.2024.1386047>
- Reinoso Intriago, C., & Cadenas Martínez, R. (2022). Huella de carbono de los residuos sólidos en el mercado del cantón Yaguachi. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 6(43), 139-145. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp139-145>
- Ren, Z., & Zuo, G. (2024). Challenges of Implementing Municipal Solid Waste Separation Policy in China. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 8081, 16(18), 8081. <https://doi.org/10.3390/SU16188081>
- Rodríguez Masabanda, V. H. (2025). Impacto de las políticas de gestión de residuos sólidos en la salud pública en Ecuador. *E-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 1-9. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v3i.152>
- Rojas, I., Espinosa, E., Marquez, O., & Reyes, I. (2025). *Del huerto al basurero: la percepción de los comerciantes de Ozumba sobre el desperdicio alimentario y su impacto ambiental From the garden to the dump: Ozumba merchants ' perception of food waste and its Resumen Introducción.*
- Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attiya, W. A. K. A. (2022). An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research* 2022 29:39, 29(39), 58514-58536. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-21578-Z>
- Silfa, R., & Surtikanti, H. K. (2024). Analisis pengelolaan sampah pasar tradisional di Pasar Gegerkalong, Kota Bandung, Indonesia. *Journal of Waste and Sustainable Consumption*, 1(1), 46-53. <https://doi.org/10.61511/jwsc.v1i1.2024.696>
- Singh, A. (2019). Remote sensing and GIS applications for municipal waste management. *Journal of Environmental Management*, 243, 22-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.017>
- Tamayo Salazar, D. H., & Cajilema Tobar, L. P. (2023). Comercio informal y género: Un estudio de caso en el cantón Latacunga. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(6), 884-896. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i6.899>
- Trabajos, L. (2019). *8º Congreso Interamericano De Residuos Sólidos Dirsá / Aids Isbn 978-85-93571-08-4.*
- Valenzuela, C., Carrera, P., & Alvarez, S. (2020). Evasión tributaria de comerciantes de mercados populares. *Otonomi*, 20, 396-406.
- Van Eck, J., & Puchta, H. (2019). Food & Agriculture. In *Chemistry and Industry (London)* (Vol. 83, Issue 2). [https://doi.org/10.1002/cind.832\\_8.x](https://doi.org/10.1002/cind.832_8.x)
- van Hoof, J., Soebarto, V., Ayalon, L., Marston, H. R., Zander, K. K., Dikken, J., & Kazak, J. K. (2025). Ten questions concerning older people and a sustainable built environment. *Building and Environment*, 274, 112742. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2025.112742>
- Win, K. Z., Yabar, H., & Mizunoya, T. (2024). Analysis of Household Waste Generation and Composition in Mandalay: Urban-Rural Comparison and Implications for Optimizing Waste Management Facilities. *Waste* 2024, Vol. 2, Pages 490-509, 2(4), 490-509. <https://doi.org/10.3390/WASTE2040026>

- Yang, C. H., Chuang, M. C., & Chen, D. F. (2024). Role of Higher Education Students' Environmental Awareness and Environmental Concern in the Purchase Intention of Circular Economy Products. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 1979, 16(5), 1979. <https://doi.org/10.3390/SU16051979>
- Yoshikawa, N., Matsuda, T., & Amano, K. (2021). Life cycle environmental and economic impact of a food waste recycling-farming system: a case study of organic vegetable farming in Japan. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(5), 963-976. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01879-0>
- Zhang, Z., Chen, Z., Zhang, J., Liu, Y., Chen, L., Yang, M., Osman, A. I., Farghali, M., Liu, E., Hassan, D., Ihara, I., Lu, K., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2024). Municipal solid waste management challenges in developing regions: A comprehensive review and future perspectives for Asia and Africa. *Science of The Total Environment*, 930, 172794. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.172794>

# Implementación de un sistema de recolección y compostaje de residuos orgánicos para su aprovechamiento agrícola

Implementation of an organic waste collection and composting system for agricultural use

Saldaña Bueno Juan Andrés<sup>1</sup>, Castillo Villota Diana Alexandra<sup>1</sup> y León Cueva Wilson Patricio<sup>1</sup>

*Universidad Técnica de Machala*

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

## Resumen

Los sistemas de recolección y compostaje de residuos orgánicos son una solución sostenible para su aprovechamiento agrícola, destacando que en Ecuador el 58% de los residuos sólidos urbanos son orgánicos, pero solo el 15% recibe tratamiento. Mediante revisión bibliográfica y trabajo de campo en un mercado municipal, se demostró que el compostaje puede reducir hasta un 50% los residuos en vertederos, siendo los sistemas puerta a puerta los más efectivos (70% de participación) aunque costosos, mientras el vermicompostaje resulta ideal para pequeña escala por su rapidez (8-12 semanas) y calidad nutricional. La aplicación agrícola del compost incrementa la productividad entre 15-30%, mejora la estructura del suelo y reduce el uso de fertilizantes sintéticos en 40-60%, además de mitigar emisiones de metano en un 85-95%. El éxito de estos sistemas depende de su adaptación al contexto local, lo que los convierte en una estrategia clave para promover la economía circular.

**Palabras clave:** residuos orgánicos, compostaje, gestión sostenible, economía circular.

## Abstract

Organic waste collection and composting systems are a sustainable solution for agricultural use. In Ecuador, 58% of urban solid waste is organic, but only 15% is treated. Through a literature review and fieldwork in a municipal market, it was demonstrated that composting can reduce landfill waste by up to 50%. Door-to-door systems are the most effective (70% share) although expensive. Vermicomposting is ideal for small-scale applications due to its speed (8-12 weeks) and nutritional quality. Agricultural composting increases productivity by 15-30%, improves soil structure, and reduces the use of synthetic fertilizers by 40-60%, while mitigating methane emissions by 85-95%. The success of these systems depends on their adaptation to the local context, making them a key strategy for promoting the circular economy.

**Keywords:** organic waste, composting, sustainable management, circular economy.

## Introducción

La creciente generación de residuos orgánicos en entornos urbanos representa uno de los mayores desafíos ambientales de nuestra era. Según datos recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), aproximadamente un tercio de todos los alimentos producidos a nivel global se pierde o desperdicia, generando anualmente cerca de 1,300 millones de toneladas de residuos orgánicos.

Esta problemática adquiere especial relevancia en América Latina, donde, de acuerdo con el Banco Mundial (2022), los residuos orgánicos representan entre el 50% y 60% del total de los residuos sólidos

urbanos generados, con una producción per cápita que oscila entre 0.5 y 1.4 kg/habitante-día.

En el contexto ecuatoriano, la situación es particularmente preocupante. El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2023) reporta que el país genera aproximadamente 14,000 toneladas diarias de residuos sólidos, de las cuales cerca del 58% corresponden a materia orgánica, principalmente de origen alimentario. Sin embargo, apenas el 15% de estos residuos reciben algún tipo de tratamiento, mientras que el 85% restante se dispone en vertederos que en muchos casos no cumplen con los estándares técnicos mínimos (MAATE, 2023). Esta situación genera importantes impactos ambientales, incluyendo la emisión de gases de efecto invernadero

\* Correspondencia del autor:

E-mail: andresbueno1171@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.

- especialmente metano (CH<sub>4</sub>) - y la contaminación de suelos y fuentes hídricas a través de lixiviados (IPCC, 2023).

Frente a este escenario, el compostaje emerge como una solución técnica y ambientalmente sostenible para transformar estos residuos en recursos valiosos. Numerosos estudios demuestran que los sistemas de compostaje adecuadamente implementados pueden reducir hasta en un 50% los volúmenes de residuos enviados a vertederos (Adhikari et al., 2022), al tiempo que producen un mejorador de suelo de alta calidad que puede incrementar la productividad agrícola entre un 15% y 30% (Martínez-Blanco et al., 2020). Además, el uso de compost en agricultura permite reducir significativamente la dependencia de fertilizantes químicos, cuya producción es responsable de aproximadamente el 1.2% del consumo energético global (IFA, 2021).

Sin embargo, la implementación exitosa de sistemas integrados de recolección y compostaje de residuos orgánicos enfrenta importantes desafíos. Desde el punto de vista técnico, la heterogeneidad en la composición de los residuos (Cerda et al., 2018) y los requerimientos específicos de espacio y condiciones climáticas (Onwosi et al., 2021) representan obstáculos significativos. En el ámbito social, se observan bajos niveles de participación ciudadana en programas de separación en origen (Bernstad, 2019) y un limitado conocimiento sobre técnicas adecuadas de compostaje. Finalmente, los desafíos económicos incluyen los altos costos iniciales de implementación (Kaza et al., 2022) y las dificultades para crear mercados estables para los productos del compostaje (FAO, 2022).

Este estudio busca contribuir al desarrollo de soluciones prácticas para estos desafíos mediante el análisis de sistemas integrados de recolección y compostaje de residuos orgánicos. Los resultados de esta investigación buscan aportar evidencia concreta para la formulación de políticas públicas que promuevan la economía circular en el sector de residuos orgánicos, particularmente en contextos urbanos de países en desarrollo como Ecuador.

## Materiales y Métodos

Para la elaboración de esta revisión bibliográfica, se realizó una búsqueda exhaustiva de artículos científicos, informes técnicos, libros y normativas relacionadas con el tema. Las bases de datos consultadas incluyeron Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Académico y repositorios institucionales. Los términos de búsqueda empleados fueron: “composting of organic waste”, “organic waste collection systems”, “agricultural use of compost”, “waste management strategies” y sus equivalentes en español.

La selección de las fuentes se basó en criterios de relevancia, actualidad (priorizando publicaciones de



Figura 1. Tachos de clasificación

los últimos 10 años) y rigor científico. Se analizaron estudios de caso, experiencias de implementación en diferentes contextos, así como las tecnologías más utilizadas en el proceso de compostaje. Además, se revisaron normativas internacionales y nacionales que regulan el manejo de residuos orgánicos y la producción de compost para uso agrícola.

Además, se implementó un proyecto de vinculación con el mercado municipal que permitió obtener datos empíricos sobre la generación de residuos orgánicos. Este trabajo de campo incluyó el monitoreo semanal de residuos de frutas y verduras, que representaban la fracción orgánica predominante según diagnósticos preliminares. Para ello, se dispusieron tres contenedores de clasificación codificados por colores (verde para residuos vegetales, rojo y negro para otros tipos de desechos), siendo el contenedor verde el de mayor uso en este estudio (Figura 1).

Durante cinco semanas consecutivas (desde el 02/05/2025 al 07/06/2025), se registraron los pesos de los residuos vegetales, obteniendo un total de 360.94 kg, con variaciones semanales que oscilaron entre 47.04 kg y 144.49 kg. Estos datos cuantitativos se complementaron con actividades de socialización y capacitación a los comerciantes sobre la importancia de la separación adecuada de residuos.

## Resultados

### Recolección de Residuos Orgánicos

La recolección diferenciada de residuos orgánicos es un componente fundamental para garantizar la calidad de la materia prima destinada al compostaje y su posterior aprovechamiento agrícola. Según los estudios revisados, los sistemas más eficientes dependen de factores como la densidad poblacional, la cultura de separación en origen y la infraestructura disponible (Smith et al., 2022). En entornos urbanos de alta densidad, el modelo de recolección puerta a puerta ha demostrado ser el más efectivo, con tasas de participación que superan el 70% en ciudades europeas como Barcelona y Milán (European Environment Agency, 2021). Este sistema, respaldado por campañas de concienciación y, en algunos casos, incentivos fiscales, logra altos niveles de pureza en

Tabla 1. Resumen de la recolección semanal de residuos vegetales (kg) en el mercado mi Ciudad.

Semana	Fecha	Peso (Kg)
1	02/05/2024	144.49
2	08/05/2025	50.59
3	15/05/2025	47.04
4	22/05/2025	68.32
5	07/06/2025	50.50
Total		360.94

Fuente: Elaboración autor

los residuos recolectados, facilitando su posterior tratamiento (Martínez-Blanco et al., 2020). Sin embargo, su principal limitación es el elevado costo operativo, especialmente en áreas con baja concentración de viviendas, donde la recolección se vuelve menos eficiente (Zhao et al., 2023).

En zonas periurbanas y rurales, los contenedores comunitarios son una alternativa más común debido a su menor costo de implementación (UNEP, 2022). No obstante, este método presenta tasas de separación inferiores (30-50%), principalmente por la falta de compromiso ciudadano y la contaminación con materiales no orgánicos (plásticos, vidrios, metales) (Kaza et al., 2018). Un caso destacado es el de Curitiba (Brasil), donde la instalación de contenedores específicos en mercados y plazas centrales, combinada con programas educativos, incrementó la recolección de orgánicos en un 40% en cinco años (IBGE, 2021). Sin embargo, la presencia de impropios sigue siendo un desafío, lo que exige procesos adicionales de limpieza antes del compostaje (Bernstad et al., 2021). La implementación del sistema de recolección diferenciada en el mercado “Mi Ciudad” demostró ser una estrategia efectiva para la gestión de residuos orgánicos, particularmente frutas y verduras. Durante las cinco semanas de monitoreo, se registró un total de 360.94 kg de residuos vegetales recolectados, con un promedio semanal de 72.19 kg. (Tabla 1).

Un enfoque innovador es la recolección en circuitos cortos, donde los residuos orgánicos se obtienen directamente de grandes generadores, como supermercados, restaurantes y mercados de abastos (FAO, 2020). En países como Alemania y Países Bajos, este modelo ha permitido procesar grandes volúmenes con alta homogeneidad, evitando la contaminación típica de la recolección domiciliaria (Adhikari et al., 2023). Por otro lado, en contextos rurales de países en desarrollo, como India y Kenia, los sistemas de autogestión comunitaria han demostrado ser altamente eficaces. En estas regiones, los agricultores separan sus propios residuos agrícolas y estiércol, integrándolos directamente en compostaje descentralizado, lo que reduce costos de transporte y fomenta la economía circular (World Bank, 2022).

Un enfoque innovador es la recolección en circuitos

cortos, donde los residuos orgánicos se obtienen directamente de grandes generadores, como supermercados, restaurantes y mercados de abastos (FAO, 2020). En países como Alemania y Países Bajos, este modelo ha permitido procesar grandes volúmenes con alta homogeneidad, evitando la contaminación típica de la recolección domiciliaria (Adhikari et al., 2023). Por otro lado, en contextos rurales de países en desarrollo, como India y Kenia, los sistemas de autogestión comunitaria han demostrado ser altamente eficaces. En estas regiones, los agricultores separan sus propios residuos agrícolas y estiércol, integrándolos directamente en compostaje descentralizado, lo que reduce costos de transporte y fomenta la economía circular (World Bank, 2022).

#### Métodos de Compostaje

El compostaje aeróbico tradicional emerge como el método más extendido a nivel global, particularmente en sistemas de mediana y gran escala. Según Zhang et al. (2021), este proceso, que requiere una relación carbono-nitrógeno (C/N) óptima de 25-30:1 y humedad entre 50-60%, logra una degradación efectiva en 2 a 6 meses cuando se realiza un volteo periódico (mínimo 3 veces por semana en la fase termófila). Estudios en plantas industriales de Países Bajos (European Compost Network, 2022) demuestran que este método puede procesar hasta 50,000 toneladas anuales de residuos urbanos, generando un compost clase A (libre de patógenos) cuando se mantienen temperaturas superiores a 55°C durante al menos 15 días consecutivos.

Para contextos de pequeña escala o comunitarios, el vermicompostaje ha mostrado resultados sobresalientes. Investigaciones de Domínguez et al. (2023) con la lombriz *Eisenia fetida* revelan que este sistema reduce el tiempo de procesamiento a 8-12 semanas y produce un compost con mayor concentración de nutrientes disponibles (N: 1.8-2.5%, P: 0.9-1.5%, K: 1.2-1.8%) comparado con métodos tradicionales. Un estudio en escuelas rurales de México (Pérez-Salazar et al., 2022) demostró que este método es particularmente efectivo para manejar residuos de cocina, con tasas de degradación del 85-90% y alta aceptación comunitaria por su bajo requerimiento de espacio (sistemas verticales de 1-2 m<sup>3</sup>).

En el caso de residuos con alta humedad (>70%), como estiércoles o subproductos de la industria alimentaria, la biodigestión anaerobia aparece como alternativa técnica. Datos de plantas alemanas (Kothari et al., 2023) muestran que este método no solo produce compost estabilizado en 4-8 semanas, sino que genera biogás con un 55-70% de metano, aprovechable energéticamente. Sin embargo, estudios comparativos (Li et al., 2022) advierten que el compost resultante puede presentar menores niveles de nitrógeno disponible (0.5-1.2%) que los sistemas aeróbicos, requiriendo frecuentemente un post-tratamiento de maduración.

Emergen como innovaciones relevantes los sistemas semi-mecanizados con control automatizado, particularmente en entornos urbanos con limitaciones de espacio. El proyecto "Compost 4.0" en Barcelona (Giro et al., 2023) implementó reactores cerrados con sensores IoT que ajustan automáticamente la aireación y humedad, reduciendo el tiempo de proceso a 4-5 semanas y minimizando emisiones de olores. Tecnologías como el compostaje por ondas milimétricas (Wang et al., 2023) están demostrando capacidad para esterilizar patógenos en un 99.9% en solo 48 horas, aunque con costos operativos aún elevados para su masificación.

#### Beneficios Agronómicos y Ambientales

Los estudios revisados demuestran que la aplicación de compost derivado de residuos orgánicos genera impactos positivos significativos tanto en la calidad del suelo como en la sostenibilidad ambiental. Desde el punto de vista agronómico, las investigaciones de Diacono y Montemurro (2022) revelan que la incorporación de compost (en dosis de 10-20 ton/ha) incrementa el contenido de materia orgánica del suelo entre un 1.5% y 3% anual en cultivos extensivos, mejorando significativamente la estructura edáfica. Este efecto se traduce en un aumento de la porosidad (hasta 35%) y capacidad de retención hídrica (20-30%), particularmente relevante en regiones áridas como el Mediterráneo (Iglesias et al., 2023). Además, análisis espectroscópicos (Farooq et al., 2023) confirman que los ácidos húmicos presentes en el compost favorecen la disponibilidad de micronutrientes como Zn y Mn, reduciendo las necesidades de fertilización sintética en un 40-60% para cultivos como maíz y trigo.

En el ámbito de la productividad agrícola, metaanálisis recientes (Thangarajan et al., 2023) que incluyen 145 estudios de caso muestran incrementos de rendimiento del 15-25% en hortalizas (tomate, lechuga) y 10-18% en cereales cuando se usa compost como enmienda base. Estos beneficios son particularmente notorios en suelos degradados, donde la actividad microbiana (medida como respiración basal) puede aumentar hasta 5 veces tras 3 años de aplicación continuada (Bastida et al., 2023). Sin embargo, investigaciones en el Valle Central de Chile (Gómez et al., 2023) advierten que dosis excesivas (>40 ton/ha) pueden generar desbalances nutricionales, destacando la necesidad de análisis edáficos previos.

Desde la perspectiva ambiental, el compostaje demuestra un triple beneficio climático: 1) reduce emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) en un 85-95% comparado con la disposición en vertederos (EPA, 2023), 2) secuestra carbono en el suelo a tasas de 0.5-1.2 ton C/ha/año (Paustian et al., 2023), y 3) disminuye la lixiviación de nitratos en un 30-50% respecto a fertilizantes minerales (Liu et al., 2023). Modelizaciones del IPCC (2023) estiman que la adopción global de prácticas de compostaje agrícola podría mitigar hasta 1.8 Gt CO<sub>2</sub>eq anuales para 2030. Adicionalmente, estudios de ciclo de vida (LCA) en California (Harrison et al., 2023) demuestran que

los sistemas de compostaje comunitario reducen la huella de carbono de la gestión de residuos en un 60-70% comparado con incineración.

La biodiversidad del suelo muestra respuestas particularmente positivas. Investigaciones mediante secuenciación masiva (Banerjee et al., 2023) identificaron un aumento del 20-40% en la riqueza de bacterias fijadoras de nitrógeno (ej. *Azotobacter*) y hongos micorrízicos tras aplicaciones de compost. Estos cambios en la microbiología edáfica se correlacionan con una mayor resistencia a patógenos radiculares, reduciendo el uso de fungicidas en un 25-35% en cultivos como la papa (Bonanomi et al., 2023). No obstante, algunos estudios (Wakelin et al., 2023) alertan sobre riesgos potenciales de eutrofización cuando el compost se aplica cerca de cuerpos de agua, requiriendo franjas de protección de 10-15 m.

#### Discusión

Los resultados presentados revelan una interrelación fundamental entre los sistemas de recolección, los métodos de compostaje y los beneficios agronómicos y ambientales obtenidos, conformando un sistema integral de gestión de residuos orgánicos. La eficiencia del proceso completo depende críticamente de la etapa inicial de recolección, donde se observa que los sistemas puerta a puerta, aunque costosos, garantizan la mayor pureza del material (European Environment Agency, 2021). Este aspecto es crucial ya que, como demuestran Zhang et al. (2021), la calidad del insumo determina directamente la eficiencia del proceso de compostaje y las características del producto final.

La comparación entre métodos de compostaje revela interesantes compensaciones. Mientras el compostaje aeróbico tradicional muestra ventajas en capacidad de procesamiento (hasta 50,000 ton/año), el vermicompostaje destaca por su eficiencia en pequeña escala y calidad nutricional superior (Dominguez et al., 2023). Esta dualidad sugiere la necesidad de implementar sistemas diferenciados según contexto: tecnologías centralizadas para áreas urbanas y soluciones descentralizadas en entornos rurales, coincidiendo con las recomendaciones de la FAO (2020) y el World Bank (2022).

Los beneficios agronómicos documentados (Diacono & Montemurro, 2022) justifican ampliamente las inversiones en sistemas de recolección y compostaje. El incremento del 15-25% en rendimientos agrícolas, combinado con la reducción del 40-60% en fertilizantes sintéticos (Thangarajan et al., 2023), crea un caso económico sólido para agricultores. Sin embargo, como advierten Gómez et al. (2023), se requieren protocolos de aplicación precisos para evitar desequilibrios nutricionales, sugiriendo la necesidad de acompañamiento técnico en la fase de implementación.

Desde la perspectiva ambiental, los datos son

contundentes: el compostaje emerge como una estrategia clave en la mitigación climática (IPCC, 2023), particularmente relevante para países en desarrollo donde la disposición en vertederos sigue siendo predominante (Kaza et al., 2018). La sinergia entre reducción de emisiones (85-95% menos CH<sub>4</sub> según EPA, 2023) y secuestro de carbono (0.5-1.2 ton C/ha/año, Paustian et al., 2023) posiciona esta tecnología como solución basada en la naturaleza con alto potencial.

## Conclusión

El estudio sobre la implementación de un sistema de recolección y compostaje de residuos orgánicos demuestra que esta práctica es una solución técnica y ambientalmente sostenible para abordar el creciente problema de los desechos urbanos, especialmente en países en desarrollo como Ecuador. Los resultados revelan que el compostaje no solo reduce significativamente la cantidad de residuos enviados a vertederos, sino que también genera beneficios agronómicos clave, como el aumento de la materia orgánica en el suelo y la mejora de la productividad agrícola. Además, contribuye a la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de metano y fomentar el secuestro de carbono.

Sin embargo, el éxito de estos sistemas depende de factores como la eficiencia en la recolección diferenciada, la selección adecuada del método de compostaje según el contexto (urbano o rural) y la participación activa de la comunidad dentro del mercado, que permita una adecuada clasificación de residuos orgánicos e inorgánicos, así como el registro de datos cuantitativos por semana en kilogramos para así dar paso a métodos de compostaje según las condiciones del entorno. Aunque el compostaje aeróbico tradicional es ideal para grandes escalas, el vermicompostaje y otros métodos innovadores, como los sistemas con IoT, ofrecen alternativas viables para entornos más pequeños o con limitaciones de espacio. Es importante adoptar un enfoque integral que combine políticas públicas, educación ciudadana y tecnologías adaptadas a las necesidades locales. Futuros estudios podrían profundizar en los aspectos económicos de implementación y en estrategias para escalar estos sistemas, asegurando su sostenibilidad a largo plazo y su contribución a una economía circular.

## Recomendaciones

Para maximizar el impacto de los sistemas de recolección y compostaje de residuos orgánicos, se recomienda implementar estrategias diferenciadas según el contexto urbano o rural. En áreas urbanas, los sistemas puerta a puerta, respaldados por campañas de conscientización e incentivos fiscales, pueden mejorar la participación ciudadana y la pureza de los residuos recolectados. En zonas rurales, los modelos

comunitarios y el vermicompostaje descentralizado resultan más viables debido a su bajo costo y facilidad de manejo. Además, es crucial involucrar a los grandes generadores de residuos orgánicos, como mercados y restaurantes, en circuitos cortos de recolección para garantizar un suministro constante y de calidad.

Desde el punto de vista técnico, se sugiere adoptar tecnologías adaptadas a las condiciones locales, como contenedores de residuos de mayor tamaño y con su respectivo indicador de clasificación por colores para que el entendimiento sea rápido y preciso, compostaje aeróbico para plantas de mediana y gran escala o biodigestores anaerobios para residuos con alta humedad. En base a las actividades realizadas por medio del proyecto de vinculación se sugiere la incorporación de herramientas digitales, para monitorear humedad y temperatura en la que se pueda optimizar los procesos y reducir tiempos de compostaje. Asimismo, es fundamental establecer protocolos claros para el uso agrícola del compost, incluyendo análisis de suelo y dosificaciones precisas, a fin de evitar desequilibrios nutricionales y maximizar sus beneficios.

## Referencias Bibliográficas

- Adhikari, B. K., Barrington, S., & Martinez, J. (2022). Microbial characteristics of municipal solid waste compost: Occupational and public health risks from surface applied compost. *Waste Management*, 144, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.03.012>
- Adhikari, B. K., et al. (2023). Decentralized composting in rural areas: A case study from Nepal. *Waste Management*, 145, 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.02.015>
- Banco Mundial. (2022). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Banerjee, S., et al. (2023). Compost-induced changes in soil microbiome diversity and function. *Nature Communications*, 14, 1256. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36876-4>
- Bastida, F., et al. (2023). Soil microbial activation predicts crop productivity response to compost. *Science of the Total Environment*, 857, 159301. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159301>
- Bernstad, A. (2019). Methodology for characterizing emissions from small (0.5-2 MTD) batch-fed gasification systems using multiple waste compositions. *Waste Management*, 87, 557-570. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.031>
- Bernstad, A., et al. (2021). Household waste sorting participation in urban areas: A meta-analysis. *Resources, Conservation & Recycling*, 168, 105439. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105439>
- Bonanomi, G., et al. (2023). Compost-induced disease suppression in vegetable crops. *Applied Soil Ecology*, 182, 104697. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104697>
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrera, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2018). Co-pyrolysis behavior of fermentation residues with woody sawdust by thermogravimetric analysis and a vacuum reactor. *Bioresource Technology*, 248, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.168>
- Diacono, M., & Montemurro, F. (2022). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00750-8>
- Domínguez, J., et al. (2023). Vermicomposting efficiency

- for urban organic waste: A meta-analysis. *Bioresource Technology*, 370, 128523. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128523>
- EPA. (2023). Quantifying methane reductions from composting organic waste. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2023-04/documents/compost-methane-2023.pdf>
- European Compost Network. (2022). Best practices in industrial composting plants. <https://www.compostnetwork.info/industry-guides>
- European Environment Agency. (2021). Bio-waste in Europe - Turning challenges into opportunities (EEA Report No 04/2021). <https://www.eea.europa.eu/publications/bio-waste-in-europe>
- FAO. (2020). Urban food waste recycling for sustainable agriculture. <http://www.fao.org/3/ca9731en/ca9731en.pdf>
- FAO. (2022). Circular Economy in Agriculture. <http://www.fao.org/3/cb8661en/cb8661en.pdf>
- FAO. (2023). Global Food Losses and Waste. <http://www.fao.org/3/i4068e/i4068e.pdf>
- Giro, M., et al. (2023). Smart composting systems in urban areas: The Compost 4.0 case study. *Journal of Cleaner Production*, 389, 136022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136022>
- Harrison, M.T., et al. (2023). Life cycle assessment of community-scale composting systems. *Journal of Cleaner Production*, 398, 136542. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136542>
- IFA. (2021). \*Fertilizer Outlook 2021-2025\*. <https://www.ifastat.org/>
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Mitigation Pathways for Waste Sector. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Kaza, S., et al. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank Group. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2022). Effect of incineration ash leachates on the hydraulic conductivity of bentonite-polymer composite geosynthetic clay liners. *Waste Management*, 139, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.011>
- Kim, J., et al. (2023). Smart bins and IoT-based waste collection systems in Seoul. *Journal of Cleaner Production*, 389, 136022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136022>
- Kothari, R., et al. (2023). Anaerobic digestion-composting integration for circular economy. *Renewable Energy*, 202, 345-356. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.085>
- MAATE. (2023). Informe Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Martínez-Blanco, J., et al. (2020). The role of separate biowaste collection in circular economy: A European perspective. *Sustainability*, 12(15), 6075. <https://doi.org/10.3390/su12156075>
- Martínez-Blanco, J., Lazcano, C., & Christensen, T. H. (2020). Application of a new information priority accumulated grey model with time power to predict short-term wind turbine capacity. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118573. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118573>
- Onwosi, C. O., Igbokwe, V. C., Odimba, J. N., Eke, I. E., Nwankwoala, M. O., Iroh, I. N., & Ezeogu, L. I. (2021). Thermal pretreatment enhances the degradation and humification of lignocellulose by stimulating thermophilic bacteria during dairy manure composting. *Bioresource Technology*, 319, 124149. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124149>
- Pérez-Salazar, R., et al. (2022). Community-scale vermicomposting in rural Mexico: Social and agronomic benefits. *Sustainability*, 14(3), 1125. <https://doi.org/10.3390/su14031125>
- Raviv, M. (2022). Comparative analysis of compost quality from different production methods. *Compost Science & Utilization*, 30(1), 45-59. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2021.2000853>
- Smith, A., et al. (2022). Optimizing organic waste collection systems for composting. *Environmental Science & Technology*, 56(8), 4567-4578. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07890>
- Zero Waste Europe. (2023). Best practices in biowaste management: Case studies from Europe. <https://zerowasteurope.eu/library/best-practices-in-biowaste-management/>
- Zhang, H., et al. (2021). Contamination in urban organic waste: Sources and solutions. *Waste Management*, 126, 578-589. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.042>

# Modelación hidrológica y plan de respuesta a emergencias ante inundaciones del río Dulcepamba, Chillanes-Bolívar

Hydrological modeling and emergency response plan for floods of the  
Dulcepamba river, Chillanes-Bolívar

Holger Adolfo Torres Caceres<sup>1</sup>, Marcelo José Álvarez Pico<sup>1</sup>

*Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gómez Lince s.n. y Av.  
Juan Tanca Marengo (Campus Mapasingue) Guayaquil, Ecuador.*

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

## Resumen

Ante la amenaza histórica de inundaciones en San José del Tambo, se desarrolló un modelo hidrológico de la cuenca del río Dulcepamba en Chillanes-Bolívar, con la finalidad de generar el plan de respuesta ante inundaciones. Utilizando datos hidrometeorológicos del periodo 1999-2018 y las aplicaciones QGIS y RAS-2025, se caracterizó a la subcuenca de 307.66 km<sup>2</sup> y 5 órdenes de río. El modelo Témez demostró buena precisión con un coeficiente Nash-Sutcliffe de 0.71 y error cuadrático medio de 0.41. La media de velocidad del flujo fue 1.76 m/s, espejo de agua 27 m y caudal 31.54 m<sup>3</sup>/s. La simulación hidrológica reveló que el 43% de la población de San José del Tambo se encuentra en amenaza ante inundaciones. El plan de respuesta contempla ocho medidas con un presupuesto de \$130,000 USD. Esta investigación proporciona información geográfica para la planificación territorial y la gestión de riesgos ante inundaciones del cantón Chillanes.

**Palabras clave:** Amenaza, cuenca hidrográfica, inundaciones, modelación hidrológica.

## Abstract

Given the historical threat of flooding in San José del Tambo, a hydrological model of the Dulcepamba River basin in Chillanes-Bolívar was developed with the purpose of generating a flood response plan. Using hydrometeorological data from the period 1999-2018 and QGIS and RAS-2025 applications, the sub-basin of 307.66 km<sup>2</sup> and 5 river orders was characterized. The Témez model demonstrated good accuracy with a Nash-Sutcliffe coefficient of 0.71 and a root mean square error of 0.41. The average flow velocity was 1.76 m/s, water surface width 27 m, and discharge 31.54 m<sup>3</sup>/s. The hydrological simulation revealed that 43% of the population of San José del Tambo is at risk from flooding. The response plan contemplates eight measures with a budget of \$130,000 USD. This research provides geographical information for territorial planning and flood risk management in Chillanes canton.

**Keywords:** Hazard, watershed, floods, hydrological modeling.

## Introducción

Las cuencas hidrográficas constituyen la unidad territorial adecuada para la planificación y gestión del recurso hídrico, al integrar procesos físicos, bióticos y sociales que determinan tanto la disponibilidad como la calidad del agua (Buytaert & De Bièvre, 2012).

En este contexto, el agua no solo actúa como un recurso vital para la sociedad y los ecosistemas, sino que también representa un elemento de amenaza cuando los eventos hidrometeorológicos extremos superan la capacidad natural de regulación, generan inundaciones con repercusiones en infraestructura,

actividades productivas y la población (Valderrama Chávez et al. 2021).

A nivel global, el cambio climático ha intensificado los patrones de variabilidad hidrológica, aumentando la frecuencia e intensidad de sequías e inundaciones, lo cual compromete directamente la seguridad hídrica de millones de personas (IPCC, 2023). Estas alteraciones son especialmente críticas en regiones andinas, donde las pendientes pronunciadas, la deforestación y el uso inadecuado del suelo exacerban los procesos de escorrentía y erosión (Oñate 2016; Jaramillo Monroy, 2021). En América Latina, la gestión

\* Correspondencia del autor:

E-mail: torresholger99@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.

integral de cuencas hidrográficas es considerada un pilar para alcanzar la sostenibilidad ambiental y social, particularmente en zonas rurales donde las comunidades dependen directamente de los servicios ecosistémicos hídricos (FAO, 2017).

En Ecuador, las cuencas altoandinas cumplen un rol estratégico en la provisión de agua para consumo humano, riego agrícola y producción hidroeléctrica; sin embargo, también representan una creciente exposición a amenazas de origen hidrometeorológico (Ludeña & Wilk, 2013), cuya afectación se ha magnificado debido a la deforestación y cambios en la cobertura vegetal (Álvarez y Macas, 2018). La cuenca del río Dulcepamba, ubicada en la provincia de Bolívar, abarca a los cantones Chillanes y San Miguel. A partir del año 2000 la parroquia San José del Tambo del cantón Chillanes, ha experimentado inundaciones recurrentes que han afectado a las comunidades ribereñas.

El modelo de Témez, es aplicado en diversas cuencas de tamaño medio del Ecuador (Oñate, 2016; Zhicay, 2020), ha demostrado ser eficaz en la estimación de caudales máximos bajo condiciones de información limitada. Así también, la aplicación de información geográfica y de modelos digitales hidráulicos como HEC-RAS delimitan zonas inundables y estiman las áreas de exposición (Herrera et al., 2022). En este estudio, se generó un análisis espacial identificando territorios en condición de amenaza ante inundaciones en la cuenca del río Dulcepamba.

El objetivo fue modelar la respuesta hidrológica de la cuenca del río Dulcepamba mediante el método Témez y generar simulaciones de inundación con el fin de diseñar un plan de respuesta a emergencias ante inundaciones.

## Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Dulcepamba de la provincia de Bolívar. El modelo hidrológico fue aplicado en el cauce principal de la subcuenca en la parroquia San José del Tambo del cantón Chillanes. Se utilizaron datos hidrometeorológicos del período 1999-2018 (Tabla 1), proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), correspondientes a las estaciones meteorológicas M0131, M0402 y M0404, y a las estaciones hidrológicas H0331, H0333 y H0337 (INAMHI, 2019). Estas series de datos incluyeron registros de precipitación, temperatura y caudales diarios.

La delimitación y caracterización morfométrica de la cuenca se realizó mediante el software Quantum GIS 3.40, empleando un modelo digital de elevación de 30 metros de resolución espacial. Se calcularon parámetros como área, perímetro, pendiente media, longitud del cauce principal, altitudes extremas, densidad de drenaje y coeficientes de forma, estableciendo las condiciones hidrológicas de la

Tabla 1. Estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) cercanas al área de estudio.

Código	Estación	Estado	Cantón	Elevación
M0130	Chillanes	Activa	Chillanes	2320
M0402	Chimbo DJ Pangor	Activa	Pallatanga	2266
M0404	Cañi-Limbe	Activa	Colta	2800
H0331	Chimbo San Lorenzo	Activa	Guaranda	2419
H0333	San Lorenzo	Activa	Chimbo	2464
H0334	Chima Aj Pesq (Sicoto Aj)	Activa	Chillanes	2100

unidad hidrográfica (Quesada-Román y Barrantes, 2017).

El análisis hidrológico se efectuó con el modelo de Témez, implementado en la plataforma HIDROVLAB, calibrando parámetros de infiltración, humedad máxima, caudal base y evapotranspiración potencial. La validación se realizó con los indicadores NSE y RMSE (Moriasi et al. 2007). Paralelamente, se ejecutó el aforo en campo mediante el método del flotador superficial, registrando velocidad, profundidad y caudal en un tramo representativo medio antes, de la población. Finalmente, la simulación hidráulica con RAS 2025 permitió identificar las zonas de inundación en la parroquia San José del Tambo, integrando los caudales generados por el modelo de Témez y la topografía del área de estudio.

## Resultados

### Caracterización morfométrica

La cuenca del río Dulcepamba abarca una superficie de 307.66 km<sup>2</sup>, la cual comprende cinco órdenes de drenaje y se clasifica por su tamaño como subcuenca. El perímetro es de 94.3 km, la longitud del cauce

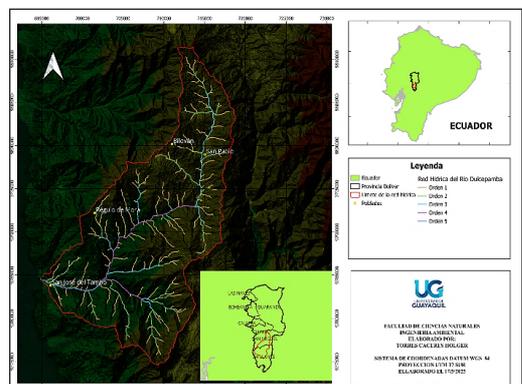


Figura 1. Área de estudio y red de drenaje de la cuenca del río Dulcepamba.

Tabla 2. Parámetros generales del área de drenaje del río Dulcepamba.

Parámetro	Valor	Unidad
Área	307.66	Km <sup>2</sup>
Perímetro	118.36	Km
Longitud del cauce principal	47.56	Km
Longitud axial de la cuenca	32.75	Km
Ancho de la cuenca	12.14	Km
Altura máxima	3289	m.s.n.m
Altura mínima	300	m.s.n.m
Altura media de la cuenca	853.85	m.s.n.m
Desnivel altitudinal	3229	m.s.n.m
Longitud de la red hídrica	101,78	Km

principal de 34.5 km y una pendiente media de 23 %. La diferencia altitudinal es de 2,940 m, indicando una variabilidad hidrológica de la región andina. La densidad de drenaje es de 2.3 km/km<sup>2</sup>, lo cual es una característica de cuencas de montaña (ver Tabla 2). En la figura 1 se representa en el mapa el área de estudio y la red de drenaje de la cuenca de interés y 5 órdenes jerárquicos de ríos.

**Aforo hidráulico**

El trabajo de campo permitió estimar un caudal de 31.54 m<sup>3</sup>/s, con una velocidad media de 1.76 m/s, con profundidad promedio de 0.64 m y ancho del cauce de 27 m. Los cálculos complementarios mostraron un área hidráulica de 16.96 m<sup>2</sup>, perímetro mojado de 27.62 m y radio hidráulico de 0.60 m (ver Tabla 3 y Figura 2).

**Modelo hidrológico de Témez**

El modelo de Témez demostró mayor escorrentía en los meses de diciembre a marzo y estiaje entre junio y septiembre. El ajuste mostró un NSE de 0.71 y un RMSE de 0.41, valores que confirman un desempeño aceptable en la simulación de caudales pico (Figura 3).

**Simulación hidráulica**

Tabla 3. Resultados del aforo hidráulico en el río Dulcepamba.

Semana	Fecha	Peso (Kg)
1	02/05/2024	144.49
2	08/05/2025	50.59
3	15/05/2025	47.04
4	22/05/2025	68.32
5	07/06/2025	50.50
Total		360.94

La simulación hidráulica identificó que el 43 % de la población de San José del Tambo se encuentra en zona de inundación. Las zonas críticas incluyen viviendas ribereñas, cultivos en planicies de inundación y tramos viales estatales (Figuras 4 y 5).

**Plan de respuesta ante inundaciones en la parroquia San José del Tambo**

En la tabla 4, se incluyó un conjunto de medidas con la finalidad de disminuir el riesgo ante eventos de inundación.

**Discusión**

Los parámetros morfométricos de la cuenca del río Dulcepamba, con una superficie de 307.66 km<sup>2</sup> y una densidad de drenaje de 2.3 km/km<sup>2</sup>, indican una red hídrica interconectada y con respuesta rápida frente a precipitaciones intensas. Este valor es comparable con lo reportado en la cuenca del río Chanchán por Ramírez y Cevallos (2019), quienes identificaron una densidad de drenaje de 2.1 km/km<sup>2</sup> en un sistema andino de características similares, asociada a crecidas recurrentes.

El desnivel altitudinal de 2,940 m determina una marcada variabilidad en los caudales. Buytaert y Bievre (2012) señalan que esta condición en cuencas altoandinas favorece procesos de erosión y crecidas repentinas, lo cual coincide con la dinámica observada en el río Dulcepamba.

La aplicación del modelo de Témez demostró un NSE de 0.71 y un RMSE de 0.41, valores que validan su capacidad para simular crecidas máximas en contextos montañosos. Oñate Valdivieso (2016), en la cuenca del río Jubones, obtuvo un NSE de 0.72 bajo condiciones análogas, confirmando la pertinencia del modelo en sistemas hidrológicos andinos y cuencas de tamaño medio.

El aforo en campo determinó un caudal medio de 31.54 m<sup>3</sup>/s, con una velocidad de 1.76 m/s y un ancho de 27 m, cifras similares con los resultados de Zhincay (2021) en la cuenca del río Paute, donde los caudales medios en creciente alcanzaron entre 30 y 35 m<sup>3</sup>/s. Estos valores, junto con el área hidráulica

Figura 2. Forma hidrológica de la sección transversal del río Dulcepamba, datos del mes de mayo del 2025.

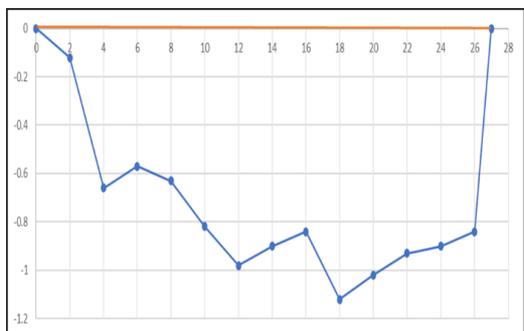


Tabla 4. Medidas propuestas en el Plan de Respuesta a Emergencias ante inundaciones.

Coordenadas		Sección	Distancia (m)	Profundidad (m)
X	Y			
698307	9783450	1	0	0.00
		2	2	0.12
		3	4	0.66
		4	6	0.57
		5	8	0.63
		6	10	0.82
		7	12	0.98
		8	14	0.90
		9	16	0.84
		10	18	1.12
		11	20	1.02
		12	22	0.93
		13	24	0.90
		14	26	0.84
		15	27	0.00

Coordenadas		Medición	Hora	Tiempo (s)
X	Y			
698307	9783450	1	16:00	10
		2	16:05	11
		3	16:10	8
		4	16:15	10
		5	16:20	9

Figura 3. Modelo hidrológico Temez de caudales observados y simulados correspondientes al periodo 1999-2018

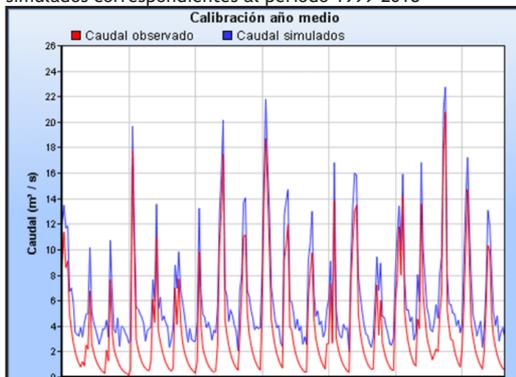


Figura 4. Simulación general de inundación en la cuenca del río Dulcepamba representado por el software RAS 2025.

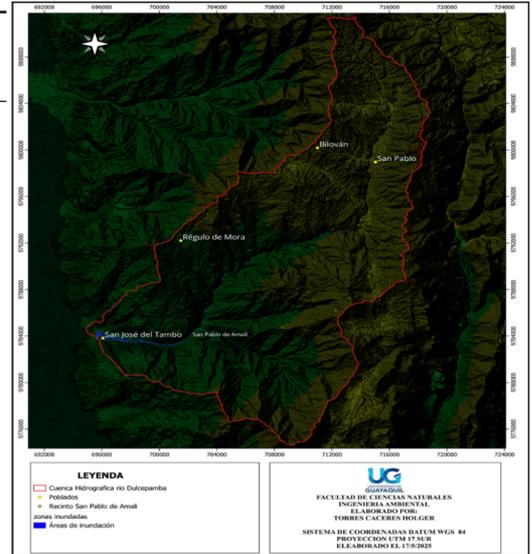
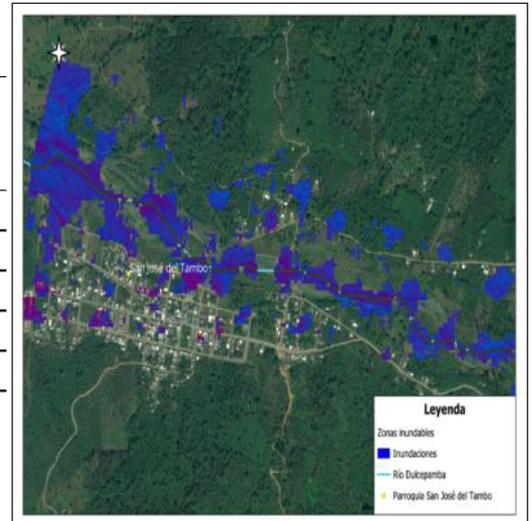


Figura 5. Representación del software RAS 2025 de zonas de inundación de la parroquia San José del Tambo.



calculada ( $16.96 \text{ m}^2$ ) y el radio hidráulico ( $0.60 \text{ m}$ ), validan lo indicado por Chow et al. (1988) respecto a la influencia de estas variables en el transporte de sedimentos y la estabilidad del cauce.

La simulación hidráulica reveló que el 43 % de la población de San José del Tambo se encuentran en zona de inundación recurrente, hallazgo consistente con lo reportado por Herrera et al. (2022) en la cuenca del río Toachi, donde más del 40 % del área fue clasificada como zona de alto impacto.

### Conclusión

La cuenca del río Dulcepamba presenta una superficie

de 307.66 km<sup>2</sup>, una diferencia altitudinal de 2,940 m y una densidad de drenaje de 2.3 km/km<sup>2</sup>, características que demostraron una alta respuesta hidrológica ante precipitaciones intensas.

La aplicación del modelo Témez mostró un NSE de 0.71 y un RMSE de 0.41, confirmando su validez para representar caudales máximos, pese a la poca disponibilidad de datos hidrometeorológicos.

El aforo en campo estimó un caudal de 31.54 m<sup>3</sup>/s, asociado a una velocidad media de 1.76 m/s y un ancho promedio de 27 m, parámetros representativos de la dinámica fluvial del sistema hidrológico andino. La simulación hidráulica determinó que el 43 % de la población de San José del Tambo se encuentra en zona de inundación recurrente, lo que afecta a viviendas, áreas agrícolas y vías estatales.

El plan de respuesta propuesto contempla ocho medidas estratégicas, distribuidas en fases de prevención, acción inmediata y recuperación, con un presupuesto aproximado de 130,000 USD.

## Recomendaciones

Fortalecer la red de monitoreo hidrometeorológico mediante la instalación de estaciones pluviométricas y caudalímetros automáticos.

Impulsar programas de educación y capacitación comunitaria sobre prevención y respuesta a inundaciones.

Implementar medidas de bioingeniería (reforestación de laderas, estabilización de taludes y control de escorrentías) para reducir la erosión de suelos y mitigar deslizamientos en la cuenca.

Fomentar convenios interinstitucionales entre gobiernos locales, el SNGRE y universidades, que permitan dar continuidad técnica.

Incorporar los resultados de este estudio en la gestión de planificación de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Chillanes.

## Referencias bibliográficas

- Álvarez, M., & Macas, V. (2018). Variación de la cobertura vegetal del Parque Nacional Machalilla mediante la evaluación de índices de vegetación en la provincia de Manabí. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 12(2), 49-65. <https://doi.org/https://doi.org/10.53591/cna.v12i2.284>
- Buytaert, W., & De Bièvre, B. (2012). Water for cities: The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*, 48(8), 1-13. <https://doi.org/10.1029/2011WR011755>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- FAO. (2015). *Estimaciones del Caudal de Agua*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/)

- FAO\_Training/General/x6705s/x6705s03.htm
- Herrera, M., Vinuesa, J., & García, L. (2022). Análisis de la exposición de poblaciones rurales a inundaciones en cuencas andinas de Ecuador. *Revista Geoespacial*, 19(2), 45-60. <https://doi.org/10.1590/geoespacial.2022.19.2>
- INAMHI. (2019). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. Retrieved April 16, 2025, from <https://www.inamhi.gob.ec/>
- IPCC (2023). Informe de síntesis del AR6: Cambio climático 2023 - Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Génova, Suiza, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- Jaramillo Monroy, F., Wehncke Rodríguez, E. V., Flores Armillas, V. H., Pohle Morales, O. M., López-Medellín, X., Jaramillo Monroy, F., Wehncke Rodríguez, E. V., Flores Armillas, V. H., Pohle Morales, O. M., & López-Medellín, X. (2021). Enfoque regional de manejo integrado del agua en la microcuenca El Pantano, Morelos, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21(65), 275-304. <https://doi.org/10.22136/EST20211625>
- Ludeña Carlos, & Wilk David. (2013). ECUADOR: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático Marco de la preparación de la Estrategia 2012-2017 del BID en Ecuador.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Oñate Valdivieso, F. (2016). Aplicación del modelo Témez para la estimación de caudales en la cuenca del río Jubones, Ecuador. *Revista Politécnica*, 38(1), 65-75. [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica/article/view/362](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica/article/view/362)
- Quesada-Román, A., & Barrantes, G. (2017). Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones Geográficas: Boletín - Instituto de Geografía, Universidad Nacional, Autónoma de México*, 94, 1-12. <https://doi.org/10.14350/rig.57318>
- Ramírez, M., & Cevallos, A. (2019). Evaluación del modelo Témez en la simulación hidrológica de la cuenca del río Chanchán, Chimborazo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2), 7-15. <https://doi.org/10.26423/rctu.v6i2.548>
- Valderrama Chávez, M. D., Vásquez Granda, V. D., & León Baque, E. L. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador, región costa. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8(SPE2). <https://doi.org/10.46377/Dilemas.V8I.2609>
- Zhickey, J. (2020). Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana-Cuenca. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18364>.

# Capacidad de usos del suelo en el Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA ESPAM MFL

Capacity for Land Use in the Sustainable Integral Space: Polytechnic  
Forest - CIIDEA ESPAM MFL

Francisco Javier Velásquez Intriago<sup>1</sup>, Carlos Andree  
Villafuerte Vélez<sup>1</sup>, José Miguel Giler Molina<sup>1</sup>, Leonardo Sebastián  
Bazurto Meza

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta,  
Ecuador.

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

## Resumen

La presente investigación se enfocó en la identificación de la capacidad de usos del suelo en el Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA ESPAM MFL. Se analizaron variables como temperatura, humedad, pendiente, drenaje, pedregosidad, salinidad, pH y textura del suelo, para la identificación de la capacidad vocacional natural o potencial del suelo, empleando la tabla de clases de capacidad de usos del suelo elaborado por MAG/SIGTIERRAS. Las clases agrológicas de capacidad de usos del suelo identificadas fueron presentadas en un mapa, mediante el uso de tecnologías SIG. Los resultados mostraron que el área de estudio se encuentra distribuida por 6 clases de capacidad de usos del suelo: las clases I y II representaron el 5,51% (7,39 ha) y 5,39% (7,24 ha), la clase III un 9,03% (12,12 ha), las clases IV y V un 30,52% (40,97 ha) y 21,72% (29,16 ha) respectivamente, y finalmente la clase VI con un 27,83% (37,36 ha). Las capacidades del suelo reflejan diversidad, por lo que es importante tener en cuenta estas consideraciones para desarrollar estrategias sostenibles.

**Palabras claves:** Capacidad de usos del suelo, variables del suelo, estrategias sostenibles.

## Abstract

This research focused on identifying the land use capacity of the Sustainable Integral Space: Polytechnic Forest - CIIDEA ESPAM MFL. Variables such as temperature, soil moisture, slope, drainage, stoniness, salinity, pH, and soil texture were analyzed to determine the soil's natural or potential productive capacity, using the land use capacity classification table developed by MAG/SIGTIERRAS. The agrological land use capacity classes identified were mapped using GIS technologies. The results revealed that the study area is distributed across six land use capacity classes: Classes I and II represent 5.51% (7.39 ha) and 5.39% (7.24 ha), Class III 9.03% (12.12 ha), Classes IV and V 30.52% (40.97 ha) and 21.72% (29.16 ha), respectively, and finally, Class VI covers 27.83% (37.36 ha). The diversity in soil capacities highlights the importance of considering these factors when developing sustainable land management strategies.

**Keywords:** Land use capacity, soil variables, sustainable strategies.

## Introducción

Una correcta planificación del suelo consiste en evaluar de manera organizada aspectos como el clima, la economía, la sociedad y el tipo de suelo con el objetivo de brindar herramientas útiles para toma de decisiones, esto permite administrar el suelo equilibradamente, respetando al medio ambiente, la economía y las necesidades de la población (Morales y de Vries 2021; Arteaga 2023). Desde esta perspectiva, la evaluación de la capacidad del uso del suelo es fundamental, debido a que permite determinar

su idoneidad para un uso específico en un área determinada (Herzberg et al. 2019).

En este contexto, no solo se consideran las demandas para su uso, sino también su capacidad para funcionar adecuadamente, los suelos se clasifican y agrupan de acuerdo a su capacidad inherente e idoneidad para un uso definido, esto se aborda incorporando en la clasificación una amplia gama de factores que incluyen atributos físicos del suelo, aspectos ambientales y socioeconómicos, entre otros (Morales y de Vries 2021). Por ello la evaluación de la capacidad

\* Correspondencia del autor:

E-mail: torresholger99@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 uso del suelo es clave en la sostenibilidad y en la solución de los problemas ambientales provocados por el acelerado desarrollo urbano (Yang et al. 2021). Actualmente, evaluar la capacidad de usos del suelo se considera un requisito previo en la planificación y gestión del mismo (Sakeri y Devadas 2019). Su propósito destaca en la evaluación de la idoneidad del uso del suelo y evaluar el potencial del suelo para usos alternativos, incluyendo múltiples criterios basados en factores ambientales, sociales y económicos (Luan et al. 2021), mediante análisis cuantitativos y cualitativos (Taghizadeh et al. 2021). Este enfoque constituye un pilar fundamental para alcanzar un desarrollo sostenible, ya que permite evaluar el potencial y las limitaciones de un territorio para diferentes actividades, sin comprometer sus funciones ecológicas a largo plazo (Topuz y Deniz 2023).

Por lo tanto, mientras las dinámicas del desarrollo urbano se vuelven más complejas, se hace imprescindible el empleo de enfoques multidisciplinarios que combinen tecnologías y ciencia de datos en el manejo de los usos del suelo. Por lo que este enfoque no solo ayuda a identificar capacidades de usos del suelo, sino que también es parte del diagnóstico fundamental en la elaboración de políticas y guías que se adapten a las necesidades de las comunidades urbanas y rurales.

**Diseño Metodológico**

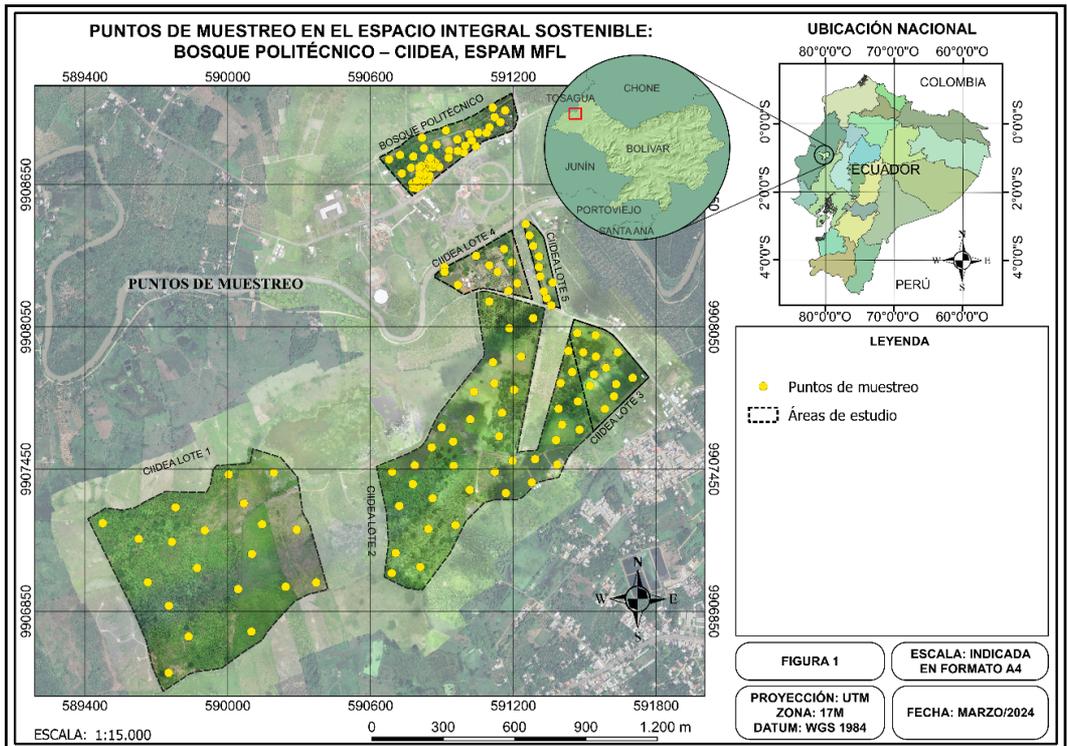
Esta investigación se llevó a cabo en el Bosque

**Tabla 1.** Distribución del Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico y CIIDEA en la ESPAM MFL

Descripción	Área (ha)
Bosque Politécnico	9,18
LOTE 1	58,64
LOTE 2	49,79
LOTE 3	8,21
LOTE 4	6,16
LOTE 5	2,26

Politécnico y CIIDEA (Ciudad de la Investigación, Innovación y Desarrollo Agropecuario) que recientemente en atención a la nueva estructura organizacional ha pasado a ser Parque Tecnológico Agropecuario de la ESPAM MFL, localizado en el sitio El Limón del cantón Bolívar, provincia de Manabí-Ecuador. El Bosque Politécnico cuenta con una extensión de 9,18 ha; mientras que CIIDEA posee una superficie de 125,06 ha, dividida en varias fracciones de terreno denominadas: Lote 1 (58,64 ha), Lote 2 (49,79 ha), Lote 3 (8,21 ha), Lote 4 (6,16 ha) y Lote 5 (2,26 ha); para un total general de 134,24 ha.

En el área de estudio se seleccionaron diversos puntos de muestreo para la obtención de los parámetros evaluados. Como se observa en la figura 1, estos puntos se distribuyeron estratégicamente en el Bosque Politécnico y en los diferentes lotes (1 al 5).



**Figura 1.** Puntos de muestreo en el Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA, ESPAM MFL

Las coordenadas geográficas de cada punto fueron registradas mediante un sistema de posicionamiento global (GPS), permitiendo su georreferenciación para el análisis espacial.

En investigación previa realizada por Velásquez et al. (2025) se determinó la cobertura y usos del suelo de la superficie en estudio. Con el uso de tecnología geoespacial se obtuvo una ortofoto del espacio geográfico, identificando diferentes áreas de cobertura, que sirvieron como parte del insumo para la presente compilación.

La metodología utilizada para determinar la capacidad de usos del suelo se desarrolló en varios pasos. Se analizó variables físicas y químicas del suelo como régimen de humedad, temperatura, pedregosidad,

Tabla 2. Coordenadas de los puntos de muestreo en el Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA, ESPAM MFL

Lugar	Coordenadas	
	X	Y
Bosque Politécnico	590839	9908661
Bosque Politécnico	590826	9908682
Bosque Politécnico	590810	9908658
Bosque Politécnico	590814	9908650
Bosque Politécnico	590820	9908665
Bosque Politécnico	590800	9908641
Bosque Politécnico	590793	9908636
Bosque Politécnico	590778	9908638
Bosque Politécnico	590678	9908757
Lote 1	589475	9907222
Lote 1	589781	9907288
Lote 1	589625	9907155
Lote 1	589871	9907032
Lote 1	589665	9906972
Lote 1	589835	9906743
Lote 1	590100	9906764
Lote 1	589752	9906590
Lote 1	590102	9907092
Lote 2	591099	9908157
Lote 2	591284	9908087
Lote 2	591183	9908044
Lote 2	591115	9907901
Lote 2	591233	9907925
Lote 2	591034	9907776
Lote 2	591204	9907784
Lote 2	591120	9907812
Lote 2	590947	9907566

Lugar	Coordenadas	
	X	Y
Lote 2	591140	9907588
Lote 3	591702	9907835
Lote 3	591632	9907808
Lote 3	591623	9907757
Lote 3	591585	9907704
Lote 3	591522	9907802
Lote 3	591539	9907849
Lote 3	591590	9907878
Lote 3	591639	9907943
Lote 3	591547	9907925
Lote 3	591494	9907943
Lote 3	591546	9908015
Lote 3	591469	9908024
Lote 4	590911	9908303
Lote 4	590911	9908281
Lote 4	590967	9908227
Lote 4	591044	9908350
Lote 4	591099	9908310
Lote 4	591134	9908282
Lote 4	591161	9908379
Lote 4	591195	9908322
Lote 4	591216	9908234
Lote 4	591180	9908202
Lote 5	591360	9908140
Lote 5	591340	9908171
Lote 5	591328	9908200
Lote 5	591366	9908237
Lote 5	591313	9908263
Lote 5	591308	9908302
Lote 5	591308	9908347
Lote 5	591284	9908391
Lote 5	591268	9908436
Lote 5	591252	9908484

Fuente: Elaboración autor

Tabla 3. Parámetros de régimen de temperatura del suelo

Régimen ISO	Temperatura
Isofrígido	Menor a 10 °C
Isomésico	10 - 13 °C
Isotérmico	13 - 22 °C
Isohipertérmico	Mayor a 22°C

Fuente: Villalaz et al. (2020)

Tabla 4. Parámetros de régimen de humedad del suelo

Régimen de Humedad	Descripción		
	Húmedo	Seco	Temperatura
Árido	menor a 90 días seguidos	-	Mayor a 5 °C
Ústico	Mayor a 90 días seguidos o Mayor a 180 días de acumulación	Mayor a 90 días de acumulación	Mayor o igual a 22 °C
Údico	Mayor a 270 días de acumulación	Menor a 90 días de acumulación	Menor a 22 °C
Hiperúdic	Extremadamente húmedo. En todos los meses Pp mayor a ETP	-	Menor a 22 °C

Fuente: Andrzej (2023)

Tabla 5. Parámetros de tipos de pendientes

Descripción	Porcentaje de pendiente
Topografía plana	0 - 2%
Topografía aproximadamente plana	2 - 5%
Topografía levemente ondulada	5 - 12%
Topografía regularmente ondulada	12 - 25%
Topografía mediana a fuertemente disectada	25 - 40%
Topografía altamente disectada	40 - 70%
Topografía muy altamente disectada	70 - 100%
Topografía escarpada, tiene pendientes de 45°	>100%

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 2009

drenaje, textura, salinidad y pH mediante técnicas y análisis de suelo; además de la pendiente del terreno a través de levantamientos de mediciones in situ con equipos topográficos. Estos resultados se emplearon en la elaboración del mapa de capacidad y permitió identificar las clases de capacidad agrológicas del suelo en el área de estudio descrita a continuación:

Variables del suelo en el área de estudio para la identificación de la capacidad del suelo.

Para la identificación de la capacidad del suelo se empleó la metodología de CLIRSEN et al. (2011) donde describe que los parámetros esenciales para este proceso son: el régimen de temperatura, el régimen de humedad, la pendiente, el drenaje, la pedregosidad, la salinidad, el pH y la textura del suelo.

Régimen de temperatura

Para el régimen de temperatura se utilizó un

termómetro digital modelo Yieryi, el cual fue introducido en el suelo a una profundidad de 12 cm por un periodo de un minuto, acorde a lo descrito por Madera (2024). Se empleó la tabla 3 para identificar el régimen de temperatura.

Régimen de humedad

En la obtención de los datos del régimen de humedad se utilizó el equipo Soil Tester a una profundidad de 2 cm por un periodo de 1 min acorde a lo descrito por Pachacama y Bersosa (2023). Se usó la tabla 4 para identificar el régimen de humedad.

Pendiente

El cálculo de la pendiente del terreno se realizó a través de las curvas de nivel obtenidos del levantamiento topográfico en el área de estudio mediante la técnica de posicionamiento en tiempo real RTK (Real Time Kinematic) T10 Pro. (Tabla 5).

Drenaje

El drenaje del suelo (Tabla 6) se determinó mediante la conductividad hidráulica, el proceso consistió en realizar hoyos con un radio de 15 cm y una profundidad de 30 cm, llenando de agua hasta los 20 cm, se registró el tiempo en que el agua se infiltró en el suelo, para el cálculo de este parámetro se utilizó la metodología de Salgado (2020) mediante la siguiente ecuación:

$$K = R \left\{ -\ln \left( \frac{H_2}{H_2 + \frac{R}{2}} \right) + \ln \left( \frac{H_1}{H_1 + \frac{R}{2}} \right) \right\} / 2T_2$$

Donde:

K: Conductividad Hidráulica

R: Radio en m

H: Altura total de hoyo

H1: Altura inicial

H2: Agua sobrante

T1: Tiempo inicial

T2: Tiempo final

Al finalizar se utilizó la tabla 6 para determinar el tipo de drenaje del suelo.

Pedregosidad

Para determinar la pedregosidad se utilizó el método de Andrades et al. (2007). Se excavó en los puntos

Tabla 6. Tipos de drenajes del suelo

Tipo	Símb.	Conductividad Hidráulica K (cm/seg)	Descripción
Excesivo	E	100	El agua se elimina más rápido que el agua que ingresa por la precipitación. De hecho, se trata de suelos densos y a menudo se ve que estos horizontes del suelo no están saturados a pesar de la cantidad de agua aplicada.
Bueno	B	$10^{-1} - 10^{-4}$	Si bien eliminar el agua es fácil, no ocurre a la velocidad del tipo de drenaje mencionado anteriormente. La textura de estos suelos es de media a fina. Por lo general, se puede encontrar cierto nivel de saturación a los pocos días de la intrusión de agua sin manchas menores. Hasta un 2% de 60 a 100 cm.
Moderado	M	$10^{-5} - 10^{-6}$	Se consideran suelos de drenaje lento y textura variada, cuyo nivel suele estar saturado por más de una semana después de la entrada del agua y diversificado en un 2% a una profundidad de 60 a 100 cm.
Mal drenado	X	$10^{-7} - 10^{-9}$	Eliminan la misma cantidad de agua entrante que los anteriores, tienen variedad de texturas, sus horizontes permanecen saturados durante varios meses después de la adición de agua y tienen características tipo gley, con problemas de hidroformo.

Fuente: Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador (CONGOPE) 2018

Tabla 7. Tipos de pedregosidad del suelo

Etiqueta	Símbolo	Descripción
Sin	S	Presencia nula de fragmentos gruesos
Muy pocas	M	Formado por un 10% de fragmentos gruesos, no interfiere en el laboreo
Poca	P	Tiene de 10 a 25% de fragmentos gruesos, interfiere en el laboreo, es adecuado para la siembra de tubérculos y maíz.
Frecuentemente	F	Tiene un 25 a 50% de fragmentos gruesos, es difícil el laboreo, apto para cultivos de pasto y heno.
Abundantes	A	Tiene un 50 a 75% de fragmentos gruesos, es difícil el uso de maquinaria agrícola, es más conveniente el uso de labranza tradicional
Pedregoso o rocoso	R	Tiene más de 75% de fragmentos gruesos, no es apto para cultivos

Fuente: Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador (CONGOPE) 2018

Tabla 8. Categorías de salinidad del suelo

Categoría	Símbolo	CE. Promedio (dS/m)	Descripción
No salino	NS	<2	El nivel de crecimiento del cultivo es ilimitado, no afecta a ningún tipo de cultivo.
Ligeramente salino	LS	2-4	El nivel de toxicidad es leve y afecta sólo a las plantas sensibles.
Salino	S	4-8	La salinidad moderadamente tóxica afecta a la mayoría de los cultivos.
Fuertemente salino	MS	8-16	Niveles de salinidad altamente tóxicos, sustentados únicamente por cultivos tolerantes.
Extremadamente salino	ES	>16	El contenido de sal es extremadamente tóxico y puede dar rendimientos muy bajos.

Fuente: Vecilla (2020)

Tabla 9. Clases de capacidad de usos del suelo

CLASE AGROLÓGICA	ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
AGRICULTURA Y OTROS USOS	Sin limitaciones a ligeras	<p>Suelos en pendiente plana hasta el 2%, profundos y fácilmente trabajables, que presentan muy pocas o no tienen pedregosidad, es decir, no tienen limitaciones que interfieran las labores de maquinaria, son suelos con drenaje bueno, no salinos y de textura superficial del grupo textural G1 (francos, franco arcillo-arenosos, francos arenosos y francos limosos). Se presentan en régimen de humedad údico y en regímenes de temperatura isohipertérmico e isotérmico. Las tierras de esta clase pueden ser utilizadas para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestales adaptadas ecológicamente a la zona.</p>
		<p>Suelos similares a la Clase I, y/o en pendientes muy suaves menores al 5 %, moderadamente profundos y profundos, con poca pedregosidad que no limita o imposibilita las labores de maquinaria, son de textura superficial del grupo textural G1, G2 (francos arcillosos, franco arcillo-limosos y limosos) y G3 (arcillo-arenosos, arcillo limosos, arena francosos y arcillosos), tienen drenaje natural de bueno a moderado. Incluyen a suelos ligeramente salinos y no salinos. Requieren prácticas de manejo más cuidadosas que los suelos de la Clase I. Se presentan en regímenes de humedad údico y ústico, y en regímenes de temperatura isohipertérmico e isotérmico.</p>
	Con limitaciones ligeras-Moderadas	<p>Suelos en pendientes menores a 12 %, de suaves a planas, son desde poco profundos a profundos, tienen poca pedregosidad que no limita o imposibilita las labores de maquinaria, son de textura del grupo textural G1, G2 y G3, pueden presentar drenaje excesivo, bueno y moderado. Incluyen a suelos salinos, ligeramente salinos y no salinos. Son tierras con régimen de humedad údico y ústico y en regímenes de temperatura isohipertérmico e isotérmico. Por las limitaciones que presentan estas tierras, el desarrollo de los cultivos se ve disminuido, siendo necesarias prácticas especiales de manejo y conservación en los recursos suelo y agua.</p>
		<p>Son suelos que se encuentran en pendientes de medias a planas, es decir menores a 25 %, poco profundos a profundos, y tienen poca pedregosidad. Esta clase de tierras requiere un tratamiento especial en cuanto a las labores de maquinaria, pues permiten un laboreo “ocasional”, son de textura variable, y de drenaje excesivo a moderado. Incluyen a suelos desde no salinos a muy salinos. Son tierras con régimen de humedad údico y ústico, y en regímenes de temperatura del suelo isohipertérmico e isotérmico.</p>

CLASE AGROLÓGICA	ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
POCO RIESGO DE EROSIÓN  Con limitaciones fuertes a muy fuertes	CLASEV	V
	Se ubican en pendientes entre planas y suaves, es decir menores al 12 %, generalmente son suelos poco profundos, como también suelos profundos, pero con severas limitaciones en cuanto a drenaje y pedregosidad. Estos requieren de un tratamiento “muy especial “ en cuanto a las labores de maquinaria ya que presentan limitaciones imposibles de eliminar en la práctica; son de textura y drenaje variable. Incluyen a suelos desde no salinos a muy salinos. Se pueden encontrar en áreas propensas o con mayor riesgo a inundación. Son tierras con régimen de humedad údico, ústico, perústico, ácuico, perácuico y arídico, y en los regímenes de temperatura isohipertérmicos e isotérmicos.	
	CLASEVI	VI
APROVECHAMIENTO FORESTAL O CON FINES DE CONSERVACIÓN  Con limitaciones muy fuertes	Suelos similares en pendiente a la Clase IV, pudiéndose también encontrar en pendientes medias y fuertes, es decir entre 12 y 40 %, son moderadamente profundos a profundos, y con poca pedregosidad. Las labores de maquinaria son “muy restringidas”; son tierras aptas para aprovechamiento forestal, ocasionalmente pueden incluir cultivos permanentes y pastos. Son de textura de variable, tienen drenaje de excesivo a mal drenado. Incluyen a suelos desde no salinos a muy salinos. Son tierras con régimen de humedad údico, ústico y perústico, y en regímenes de temperatura isohipertérmicos, isotérmicos e isomésicos.	
	CLASEVII	VII
	Suelos en pendientes de medias a fuertes (menores al 70%), son poco profundos a profundos, y tienen una pedregosidad menor al 50 %. Estas tierras tienen limitaciones muy fuertes para el laboreo debido a la pedregosidad y a la pendiente. En cuanto a la textura, drenaje y salinidad éstas pueden ser variables. Son tierras con régimen de humedad údico, ústico, perústico y arídico, y en los regímenes de temperatura isohipertérmicos, isotérmicos e isomésicos. Muestran condiciones para uso forestal con fines de conservación.	
CLASEVIII	VIII	Suelos en pendiente que varían desde plana (0 - 2 %) a escarpada (mayor a 100%), son superficiales a profundos, son de textura y drenaje variables. Pueden ser suelos muy pedregosos o no; en cuanto a la salinidad, esta clase de tierras incluye a las de reacción muy salina. Son tierras con régimen de humedad údico, ústico, perústico, ácuico, perácuico y arídico, y en los regímenes de temperatura isohipertérmicos, isotérmicos, isomésicos e isofrígidos. Son áreas que deben mantenerse con vegetación arbustiva y/o arbórea con fines de protección para evitar la erosión.
No aplicable	Para unidades no consideradas como unidades de suelo, que se las adquiere de la cartografía base, incluye principalmente centros poblados y cuerpos de agua.	

Fuente: MAG/SIGTIERRAS (2017)

de muestreo de 0 a 50 cm y se tomó una muestra de suelo. En las muestras se analizó: el volumen total del suelo y el volumen de las piedras. El volumen de los fragmentos rocosos presentes en las capas del suelo se consideró para el proceso y con la tabla 7 se identificó la pedregosidad.

#### Salinidad

La salinidad se calculó mediante un análisis fisicoquímico de conductividad eléctrica, este proceso permitió obtener datos esenciales para el estudio, se utilizó la tabla 8 de Vecilla (2020) y se identificó los niveles de salinidad en el suelo.

#### pH

Para determinar el pH del suelo se utilizó la metodología de Calvo (2019). Se obtuvo una muestra a una profundidad de 0 a 50 cm, se preparó la muestra en el laboratorio y mediante un medidor de pH OAKTON 700, se registró los datos.

#### Textura

La textura del suelo se la determinó utilizando el método del hidrómetro, aplicado por Loo y Trujillo (2021), donde se obtuvo los porcentajes de las clases texturales mediante análisis de laboratorio, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ arcilla} = (\text{Lectura corregida de 4 horas} / \text{Masa de muestra seca}) \times 100$$

$$\% \text{ limo} + \text{ arcilla} = (\text{Lectura corregida de 40 seg.} / \text{Masa de muestra seca}) \times 100$$

$$\% \text{ limo} = (\% \text{ limo} + \text{ arcilla}) - \% \text{ arcilla}$$

$$\% \text{ arena} = 100 - (\% \text{ limo} + \% \text{ arcilla})$$

Una vez obtenidos los porcentajes texturales de arcilla, limo y arena, se empleó el diagrama de triángulo textural, para identificar los diferentes tipos de textura presente en el área de estudio.

Una vez obtenida toda la información de los parámetros del suelo se compararon con la tabla de MAG/SIGTIERRAS (2017) con la descripción de las diferentes clases de capacidad del suelo para la clasificación del área de estudio en sus diversas clases agrológicas.

Una vez clasificado el suelo acorde a las características descritas por MAG/SIGTIERRAS (2017) se elaboró el mapa de capacidad de usos del suelo en el software ArcGIS 10.4, representando gráficamente cada una de las clases.

## Resultados

Como se muestra en la figura 2, el área de estudio se divide según diferentes capacidades de uso del suelo. Se identificaron suelos de clase I y II, los cuales son aptos para la agricultura debido a su alta calidad. Los suelos de clase III también son adecuados para

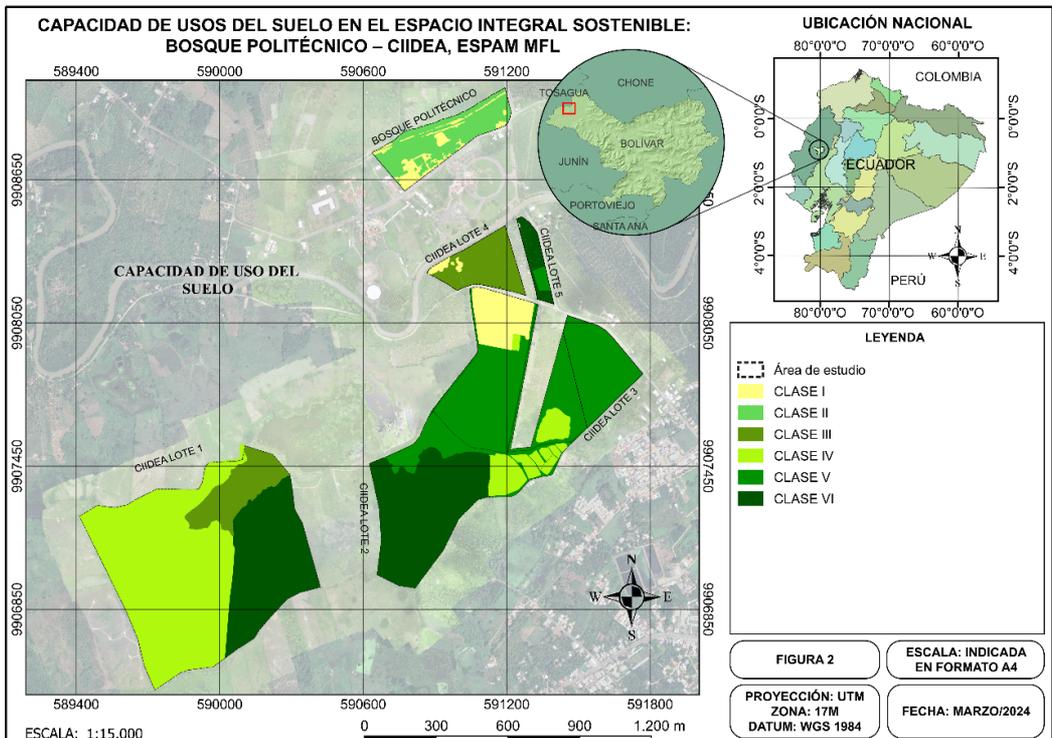


Figura 2. Mapa de capacidad de usos del suelo del Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA ESPAM MFL

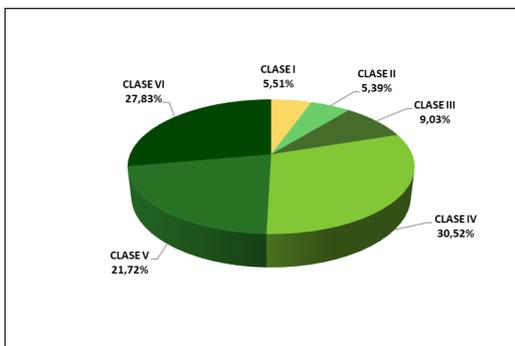
Tabla 10. Áreas que ocupan las clases de capacidad de usos del suelo en el Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA ESPAM MFL

Clase de Capacidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
CLASE I	7,39	5,51
CLASE II	7,24	5,39
CLASE III	12,12	9,03
CLASE IV	40,97	30,52
CLASE V	29,16	21,72
CLASE VI	37,36	27,83

actividades agrícolas, aunque su eficiencia es menor en comparación con los de clase I y II. Por otra parte, se encontraron suelos de clase IV y V, que resultan más apropiados para la implementación de prácticas de conservación y usos extensivos. Finalmente, los suelos de clase VI se consideran adecuados para plantaciones forestales o para fines de conservación. De acuerdo con la distribución de la capacidad del suelo en el área de estudio, se obtuvo información fundamental para el proceso de planificación de los usos del suelo, destacando la importancia de considerar las características del suelo para el desarrollo de estrategias de gestión eficiente. Saavedra et al. (2019) señalan que las clases de capacidad del suelo identificadas en un área reflejan la gran diversidad de sus propiedades. En este caso, el área de estudio presenta capacidades que van desde la clase I hasta la VI, lo que indica una amplia variabilidad en la composición y en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Esta composición refleja la complejidad y diversidad del suelo en el Bosque Politécnico y CIIDEA. Los suelos de clase I y II, identificados como aptos para la agricultura, destacan por su contribución a la seguridad alimentaria. Autores como Bamikole et al. (2020) subrayan la importancia de estos suelos en el desarrollo sostenible. Por otro lado, aunque los suelos de clase III presentan una eficiencia menor en comparación con los de clase I y II en relación con

Figura 3. Distribución de la capacidad de los usos de suelo en el Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA ESPAM MFL



los resultados obtenidos, se puede observar que la capacidad de producción del suelo no depende de su clase, sino que también por factores como la calidad y la disponibilidad de nutrientes. En este sentido, Akinde et al. (2020) evidenciaron que estas propiedades varían significativamente según su uso, influyendo directamente en la fertilidad y productividad. Así mismo, Parihar et al. (2020) alegan que aun en suelos de clase III, la fertilidad y las propiedades físico-químicas pueden mantener niveles aceptables de productividad. Reforzando la idea de que una gestión adecuada de los suelos con limitaciones moderadas puede ser óptimo en productividad.

Por otro lado, los suelos de clase IV y V han sido objeto de numerosos estudios debido a su potencial para implementar sistemas de manejo sostenible. Autores como Li et al. (2020) destacan la importancia de aplicar modelos de conservación en estas áreas para mantener la fertilidad del suelo y prevenir la erosión a largo plazo. Finalmente, los suelos de clase VI, aptos para fines de conservación o para plantaciones forestales, han sido considerados en diversas investigaciones relacionadas con la silvicultura y la conservación de ecosistemas. Estudios como los de Ni et al. (2020) y Sofrony (2020) enfatizan de que los suelos de clase VI deben ser una prioridad en la identificación y protección dentro de los sistemas de gestión, debido a su importancia en la conservación de la biodiversidad y en la provisión de servicios ecosistémicos.

Como se muestra en la figura 2 y la tabla 9 y 10, la clasificación de la capacidad de uso del suelo en el área de estudio presenta una distribución variada que evidencia el potencial para un uso sostenible del territorio. La clase VI, con una extensión de 37,36 hectáreas, representa el 27,83 % del área total. Estos suelos son aptos para plantaciones forestales o fines de conservación, y pueden ser escenario ideal para actividades de reforestación, conservación de ecosistemas y protección de recursos naturales. Álvarez y Almonte (2023) recomiendan que estos tipos de suelos deben mantenerlos con cobertura forestal permanente y destinarlos preferentemente a cultivos perennes, sistemas agroforestales, pasturas y actividades forestales. Según González (2020), esta clase presenta limitaciones para actividades agrícolas debido a la acidez del suelo o al drenaje deficiente. Asimismo, Sevilla y Comerma (2009) identificaron que los suelos de clase VI están mayormente cubiertos por bosques y matorrales.

Por otra parte, la clase V ocupa 29,16 hectáreas, equivalente al 21,72 % del área total, mientras que la clase IV abarca 40,97 hectáreas que representa un 30,52 %. Estas dos categorías son consideradas aptas para prácticas de conservación y usos extensivos, tales como pastoreo, conservación de la biodiversidad y protección de los recursos naturales. La asignación de estas áreas para la conservación resalta la necesidad de preservar los recursos naturales, un enfoque que coincide con investigaciones como la de Ma et al.

(2021), quienes enfatizan la importancia de mantener una visión holística para conservar la biodiversidad y promover un ambiente más saludable. En esta misma línea, Rojas et al. (2017) refuerzan dicha perspectiva al proponer el desarrollo de conexiones ecológicas amplias, como los corredores biológicos, que permiten mantener tanto la diversidad de especies como el funcionamiento integral de los ecosistemas.

No obstante, las clases de suelos registradas en la parroquia Calceta del cantón Bolívar por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP] (2022), no coinciden completamente con la clasificación; sin embargo, esto no indica la ausencia de dichas clases, lo que sugiere una baja representación.

Esta situación resalta la necesidad de destinar estas áreas a prácticas de conservación, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas (2015), que promuevan la conservación de la biodiversidad y la gestión adecuada de los recursos naturales, pilares fundamentales para garantizar el bienestar humano. La clase III cubre una extensión de 12,12 hectáreas, equivalente al 9,03 % del área total del estudio.

De acuerdo con Dagar et al. (2021), este tipo de suelo presenta limitaciones para la agricultura, permitiendo el cultivo de ciertos productos específicos, por lo que es importante considerar estas restricciones en términos de capacidad de carga y manejo.

Además, Wang (2022) destaca la importancia de evaluar la capacidad de los suelos de esta categoría para asegurar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Según el INIAP (2022), la clase III ocupa aproximadamente el 45 % del área total del cantón Bolívar, lo que respalda los resultados obtenidos en el área de estudio.

Finalmente, las Clases I y II, con áreas de 7,39 hectáreas y 7,24 hectáreas representan un 5,51% y 5,39% respectivamente del área total. Somoza et al. (2020) describe que los suelos en esta clasificación son fértiles y aptos para actividades agrícolas y son un recurso valioso en la producción de alimentos.

Según el INIAP (2022), en Bolívar la clase I, ocupa aproximadamente el 25% del territorio del cantón, no obstante, no es predominante. Según Pawlak et al. (2020) la presencia de esta categoría de suelos es fundamental porque garantizan la producción de alimentos, debido a que estos suelos ofrecen las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos, aumentando la productividad y disponibilidad de alimentos para la sociedad en general.

Además de acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT] (2012) del cantón Bolívar la clase II ocupa un 5,32%, valores equivalentes al área en estudio.

## Conclusiones

Las capacidades de los usos del suelo en el área sostenible Bosque Politécnico y CIIDEA, están compuestas por varios niveles desde la Clase I hasta la Clase VI, esta distribución evidencia la diversidad de las propiedades físicas y químicas del suelo. Dicha diversidad destaca la importancia de tomar en consideración las características del suelo, en la planificación de los usos del suelo, todo desarrollado, en un marco de gestión sostenible y eficiente del suelo, que garantice la seguridad alimentaria y la conservación del medio ambiente.

Las clases IV, V y VI a pesar de no ser óptimas para la agricultura, tienen un alto potencial en la implementación de prácticas de conservación, debido a esto es importante priorizar la conservación y uso sostenible del suelo en estas categorías. Por lo que realizar prácticas en conservación de la biodiversidad y la protección de los recursos naturales, contribuye de manera significativa en la conservación de la fertilidad del suelo, prevención de la erosión, prácticas que se alinean perfectamente con los objetivos de desarrollo sostenible.

A pesar de que los suelos de Clase III cuentan con limitaciones para realizar prácticas agrícolas, cuentan con un área significativa en el Espacio Integral Sostenible Bosque Politécnico - CIIDEA, conocer la capacidad de carga y manejo del suelo ayuda a tomar decisiones informadas que permitan la optimización de la producción mientras se mitigan los impactos adversos al suelo.

## Recomendaciones

Adoptar diferentes técnicas de conservación del suelo, entre ellas la rotación de cultivos y agroforestería, además de la implementación del riego por goteo y acolchado (mulching) para optimizar recursos hídricos.

Desarrollar sistemas de monitoreo con la finalidad de establecer indicadores químicos, físicos y biológicos de calidad del suelo con apoyo de sensores remotos y análisis de laboratorio.

Implementar la zonificación económica y ecológica (ZEE) mediante mapas de capacidad productiva del suelo, integrando herramientas de sistemas de información geográfica, para alinear los usos con la vocación natural del territorio.

Evaluar los riesgos climáticos, ya que los cambios climáticos alteran significativamente la capacidad y uso del suelo, lo que obliga a adaptaciones continuas en la planificación territorial.

Diseñar programas formativos que vinculen a autoridades, agricultores y población civil en la gestión sostenible del territorio, destacando riesgos

de prácticas inadecuadas que incluyan módulos sobre legislación ambiental y beneficios económicos de la conservación.

## Referencias Bibliográficas

- Akinde, Bamikole Peter, Abiodun Ojo Olakayode, Durodoluwa Joseph Oyedele, and Fatai Oladapo Tijani. 2020. "Selected Physical and Chemical Properties of Soil under Different Agricultural Land-Use Types in Ile-Ife, Nigeria." *Heliyon* 6 (9): e05090. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05090>.
- Álvarez, Yulissa y Héctor Almonte. 2023. "Diagnóstico biofísico, socioeconómico y análisis de vulnerabilidad de los municipios Villa Los Almácigos, El Pino y Loma de Cabrera". *Proyecto Comunidades Caribeñas Resilientes*. <https://bvearmb.do/handle/123456789/4658>
- Andrades, Jesús, Fernando Delgado y Roberto López. 2007. "Estimación de la pedregosidad volumétrica del suelo, con base en el área de fragmentos de roca expuestos en un inceptisol de los Andes venezolanos". *Revista forestal venezolana*, 51(2), 219 - 229. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/24477>
- Andrzej Górniak. 2023. "Recent and Future Soil Temperature Regime in the Coldest Part of Poland". *Journal of Agrometeorology* 25 (1):158-63. <https://doi.org/10.54386/jam.v25i1.1867>.
- Arteaga, Carlos. 2023. «El Ordenamiento Territorial Como Proceso De planificación Y Gobernanza». *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 7 (2), 10667-68. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i2.6154](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.6154).
- Bamikole, Peter, Ojo Abiodun, Joseph Durodoluwa y Oladapo Fatai . 2020. "Selected physical and chemical properties of soil under different agricultural land-use types in Ile-Ife, Nigeria". *Heliyon*, 6(9), e05090. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05090>
- Calvo, Adriana. 2019. "Qué es y cómo medir el pH de la tierra". *Agroptima blog*. Última modificación 26 de diciembre del 2019. <https://www.agroptima.com/es/blog/medir-ph-tierra/>
- CLIRSEN, MAGAP, y SIGAGRO. 2011. *Memoria técnica: Evaluación de tierras por su capacidad de uso, cantón Guayaquil*. Proyecto: "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25 000", Componente 2: "Geopedología y amenazas geológicas". <https://www.geoportaligm.gob.ec/>
- CONGOPE (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador) y Consejo Nacional de Competencias. 2018. *Manual técnico para el diseño de sistemas de drenaje en suelos agrícolas del Ecuador*. Quito: CONGOPE. [www.competencias.gob.ec](http://www.competencias.gob.ec)
- Dagar, Vishal, Muhammad Kamran Khan, Rafael Alvarado, Muhammad Usman, Abdulrasheed Zakari, Abdul Rehman, Muntasir Murshed, y Brayán Tillaguango. 2021. "Variations in Technical Efficiency of Farmers with Distinct Land Size Across Agro-Climatic Zones: Evidence from India." *Journal of Cleaner Production* 315: 128109. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128109>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. *Guía para la descripción de suelos*. 4ª ed. Traducido y adaptado al castellano por Ronald Vargas Rojas. Roma: FAO.
- González, Adrián. 2020. *Análisis y optimización de los parámetros de evaluación de la capacidad de uso del suelo a partir del mapa de suelos*. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, España. <http://hdl.handle.net/10612/13403>
- Herzberg, Ronja, Tung Gia Pham, Martin Kappas, Daniel Wyss, and Chau Thi Minh Tran. 2019. "Multi-Criteria Decision Analysis for the Land Evaluation of Potential Agricultural Land Use Types in a Hilly Area of Central Vietnam" *Land* 8, no. 6: 90. <https://doi.org/10.3390/land8060090>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 2022. *Análisis de la clasificación agrológica del suelo en el cantón Calceta, Manabí, Ecuador*. p. 25. Quito: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <https://repositorio.iniap.gob.ec>
- Li, Shicheng, Heng Zhang, Xuewu Zhou, Haibin Yu, y Wangjun Li. 2020. "Enhancing Protected Areas for Biodiversity and Ecosystem Services in the Qinghai-Tibet Plateau." *Ecosystem Services* 43: 101090. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101090>
- Loor, Lucia, y Karla Trujillo. 2021. *Evaluación de la proporción del abono de soca de maíz (Zea mays L.) en la calidad físico-química del suelo en los Amarillos, Tosagua*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL). <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1656>
- Luan, Chaoxu, Renzhi Liu, y Sicheng Peng. 2021. "Land-Use Suitability Assessment for Urban Development Using a GIS-Based Soft Computing Approach: A Case Study of Ili Valley, China." *Ecological Indicators* 123: 107333. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107333>
- Ma, Shuai, Yong-Peng Qiao, Liang-Jie Wang, y Jin-Chi Zhang. 2021. "Terrain Gradient Variations in Ecosystem Services of Different Vegetation Types in Mountainous Regions: Vegetation Resource Conservation and Sustainable Development." *Forest Ecology and Management* 482: 118856. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118856>
- Madera, Vladymir. 2024. *Diseño e implementación de un equipo electrónico para la medición de la humedad y temperatura de suelos en el distrito de San Sebastián*. Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/8667>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)/SIG Tierras. 2017. *Memoria explicativa del mapa de conflictos de uso de las tierras en Ecuador (Técnico 6)*. Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica.
- Morales, Florentino, y Walter Timo de Vries. 2021. "Establishment of Land Use Suitability Mapping Criteria Using Analytic Hierarchy Process (AHP) with Practitioners and Beneficiaries" *Land* 10, no. 3: 235. <https://doi.org/10.3390/land10030235>.
- Naciones Unidas. 2015. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

- Ni, Chen, Fan Qin, Yanxin Zhai, Heping Cao, Rui Zhang, y Fangping Cao. 2020. "Evaluation of Coordinated Development of Forestry Management Efficiency and Forest Ecological Security: A Spatiotemporal Empirical Study Based on China's Provinces." *Journal of Cleaner Production*, 260: 121042. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121042>
- Pachacama, Alexander. 2023. *Determinación de la afectación de los suelos colindantes a plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus) y pino (Pinus radiata) mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en la Comunidad de Pesillo, cantón Cayambe*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24423>
- Parihar, C.M., A.K. Singh, S.L. Jat, A. Dey, H.S. Nayak, B.N. Mandal, Y.S. Saharawat, M.L. Jat, y O.P. Yadav. 2020. "Soil Quality and Carbon Sequestration under Conservation Agriculture with Balanced Nutrition in Intensive Cereal-Based System." *Soil and Tillage Research* 202: 104653. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104653>
- Pawlak, Karolina, y Małgorzata Kołodziejczak. 2020. "The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production" *Sustainability* 12, no. 13: 5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT). 2012. *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25 000*. [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/MANABI/BOLIVAR/IEE/MEMORIAS\\_TECNICAS/mt\\_bolivar\\_capacidad\\_uso\\_de\\_las\\_tierras.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/MANABI/BOLIVAR/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_bolivar_capacidad_uso_de_las_tierras.pdf)
- Rojas, Carolina, Francisco De la Barrera, Tamara Vidaurrázaga, Juan Munizaga, y Joan Pino. 2017. "Efectos de la Urbanización sobre la Conectividad Ecológica de Paisajes Metropolitanos." *Revista Universitaria de Geografía* 26, no. 2: 155-182.
- Saavedra, David, Valentín Murcia, Leidy Machado, Joserth Sánchez, Luis Estrada, y Claudia Ordoñez. 2019. "Propiedades físicas y químicas de suelos y su relación con sistemas de producción en el municipio Campoalegre, departamento del Huila, Colombia". *Bioagro* 31 (2):151-58. <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2643>
- Sakkeri, Ramya, y V. Devadas. 2019. "Integration of GIS, AHP and TOPSIS in Evaluating Suitable Locations for Industrial Development: A Case of Tehri Garhwal District, Uttarakhand, India." *Journal of Cleaner Production* 238: 117872. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117872>
- Salgado, Luis. 2020. *Conductividad hidráulica, porosidad drenable y región de flujo*. Tesis de grado, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Universidad de Concepción. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/36134>
- Sevilla, Víctor, y Juan Comerma. 2009. "Caracterización de la Cuenca del Río Canoabo en el Estado Carabobo, Venezuela. I. Análisis Climático y de Producción de Agua." *Agronomía Tropical* 59, no. 1. ISSN 0002-192X.
- Sofrony, Carolina. 2020. *Otras medidas efectivas de conservación basadas en área (OMEC): Latinoamérica y el Caribe: perspectivas de conservación más allá de las áreas protegidas*. Bogotá, Colombia: Unión Europea, Redparques, WWF, FAO, UICN, ONU Medio Ambiente. <https://bvearmb.do/handle/123456789/3025>
- Somoza, Ailin, Patricia Vázquez, Laura Zulaica, y Mónica Sacido. 2020. "Dinámica espacio-temporal de usos del suelo en sistemas ecológicos de la Región Pampeana Austral, Argentina: Agricultura en el partido de Tandil." *M+A, Revista Electrónica de Medioambiente* 21 (1): 82-101.
- Taghizadeh, Seydeh, Davoud Nikbin, Mirza Didarul, Syed Rahman, y Gunalan Nadarajah. 2021. "Technological Capabilities, Open Innovation and Perceived Operational Performance in SMEs: The Moderating Role of Environmental Dynamism." *Journal of Knowledge Management* 25, no. 6: 1486-1507. <https://doi.org/10.1108/JKM-05-2020-0352>
- Topuz, Mustafa, y Mehmet Deniz. 2023. "Application of GIS and AHP for Land Use Suitability Analysis: Case of Demirci District (Turkey)." *Humanities and Social Sciences Communications* 10, no. 1: 115. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01609-x>
- Vecilla, Joffre. 2020. *Enmiendas orgánicas como alternativas de manejo en suelos afectados por salinidad en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.)*. Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8485>
- Velásquez, Francisco, Carlos Villafuerte, Carlos Delgado, y Leonardo Bazurto. 2025. "Cobertura y Usos del Suelo en el Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA ESPAM MFL." *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales* 19 (1). <https://doi.org/10.53591/cna.v19i1.1909>
- Villalaz, Jhon, José Villarreal, Adolfo Santo, Abiel Gutiérrez y Iván Ramos. 2020. "Caracterización pedogenética de los suelos dedicados al cultivo de cacao orgánico, Almirante - Bocas del Toro." *Ciencia Agropecuaria* 31: 1-15. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/299>
- Wang, Xiukang. 2022. "Managing Land Carrying Capacity: Key to Achieving Sustainable Production Systems for Food Security" *Land* 11, no. 4: 484. <https://doi.org/10.3390/land11040484>
- Yang, Yang, Xiao Tang, y Zhe Li. 2021. "Land Use Suitability Analysis for Town Development Planning in Nanjing Hilly Areas: A Case Study of Tangshan New Town, China." *Journal of Mountain Science* 18 (2): 528-540. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6037-z>

# Potencial Acuícola de *Anodontites trapesialis*: Nuevos Registros e Implicaciones para la Conservación en Sudamérica.

## Aquaculture Potential of *Anodontites trapesialis*: New Records and Conservation Implications in South America.

Ulises Tiberio Avendaño Villamar<sup>1</sup>, José Luis Pacheco Bedoya<sup>1</sup>,  
Milton Gabriel Montúfar-Romero<sup>1,2,3</sup>, Walter Edgar Ruiz Chóez<sup>1</sup>,  
Fátima Gabriela Mesías Mosquera<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, Letamendi 102 y la Ría, Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup>Programa de Doctorado en Ciencias con énfasis en Gestión de Recursos Acuáticos Renovables (MaReA), Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Apartado Postal 160-C, Concepción, Chile.

<sup>3</sup>Centro Interdisciplinario de Investigación en Acuicultura Sostenible (INCAR), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

<sup>4</sup>Universidad de Guayaquil-Facultad de Ciencias Naturales.

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

### Resumen

*Anodontites trapesialis* es un bivalvo de agua dulce distribuido desde México hasta Argentina, con funciones esenciales en la recirculación de nutrientes, filtración y promoción de la biodiversidad. Este estudio registra por primera vez la familia Mycetopodidae en el embalse Chongón, dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, ampliando su distribución. Se identificaron nueve ejemplares adultos mediante revisión taxonómica y estudio de campo. La literatura resalta su adaptabilidad, valor nutricional y resiliencia, destacando su potencial para la acuicultura en Ecuador y aportando al conocimiento del orden Unionida hacia una acuicultura sostenible.

**Palabras clave:** Acuicultura, Biodiversidad, Bivalvo, Unionida, Ecuador.

### Abstract

*Anodontites trapesialis* is a freshwater bivalve distributed from Mexico to Argentina, with essential functions in nutrient recirculation, filtration, and the promotion of biodiversity. This study records for the first time the family Mycetopodidae in the Chongón reservoir, within Ecuador's National System of Protected Areas, extending its distribution. Nine adult specimens were identified through taxonomic review and field study. The literature highlights its adaptability, nutritional value, and resilience, emphasising its potential for aquaculture in Ecuador and contributing to the knowledge of the order Unionida towards sustainable aquaculture.

**Keywords:** Aquaculture, Biodiversity, Bivalve, Unionida, Ecuador.

### Introducción

La familia Mycetopodidae, con 53 especies y 11 géneros, es endémica de la región Neotropical y está clasificada en cuatro subfamilias: Mycetopodinae, Anodontinae, Monocondylaeinae y Leilinae (The University of Wisconsin-Stevens Point., 2024). Entre estas, *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) destaca por tener la distribución geográfica más amplia, abarcando desde el sur de México hasta la Patagonia en Argentina; este dato es respaldado por múltiples estudios realizados (Callil, C., Krinski,

D., & Silva, F., 2012; Paschoal, L, et al, 2020; Silva, Douglas dos Santos et al, 2021). Este molusco se caracteriza por vivir semi-enterrado en sedimentos, alimentándose de partículas en suspensión como plancton y detritos orgánicos. Su reproducción es interna, en una región modificada conocida como "marsupio", (Castellanos, Z. A., & Landoni, N. A., 1991; Simone, L. R. L. de., 1994) con una larva tipo "lasidium" que parasita peces de agua dulce, hasta alcanzar la etapa juvenil y dependiendo del grado de infestación podría causar efectos negativos en el huésped por patógenos oportunistas, principalmente

\* Correspondencia del autor:

E-mail: ulisesave03@yahoo.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.

hongos (Felipi, P. G., & Silva-Souza, Ángela T, 2008). *A. trapesialis* es un componente clave en los ecosistemas acuáticos al contribuir a la bioturbación de los sedimentos (Ampuero L, 2012) y proporcionando sustrato para otras especies (Vaughn, C.C. and Hakenkamp, C.C., 2001; Johnson, P.D et al, 2013; Spooner, E et al, 2013). Además, es una fuente alimenticia para el ser humano, un bioindicador de la calidad del agua y un organismo utilizado en ensayos ecotoxicológicos (Boening, D.W, 1999; Kádár E, Salánki J, Powell J, White KN, et al., 2002). En Ecuador, los estudios e investigaciones sobre moluscos fluviales son insuficientes, y la información existente está desactualizada en relación a Colombia y Perú, aunque se considera que su biodiversidad es muy afín desde el punto de vista biogeográfico (Tognelli, M.F., Lasso, C.A., Bota-Sierra, et al, 2016). Las principales amenazas para la conservación de los moluscos incluyen la contaminación por vertidos de aguas residuales domésticas y comerciales, que conlleva la degradación y pérdida de hábitat, junto con el uso de agroquímicos que afecta tanto a los moluscos nativos como a otras formas de vida acuática (Correoso Rodríguez, M et al, 2015). Según las bases de datos de acceso abierto sobre biodiversidad (<https://www.gbif.org>) y (<https://ecuador.inaturalist.org>) en Ecuador, *A. trapesialis* se distribuye en afluentes de los ríos de la provincia de Orellana en la Amazonía y en la provincia de Manabí en la región litoral (Darrigran, G., Agudo-Padrón, I., Báez, P. et al., 2013). A nivel global, es crucial diversificar las fuentes de alimentación para garantizar la seguridad alimentaria debido al déficit previsto. La diversificación en el cultivo de especies acuáticas no tradicionales se destaca como una estrategia clave para fortalecer el crecimiento y la resiliencia a largo plazo del sector acuícola, especialmente ante desafíos como el cambio climático, enfermedades y fluctuaciones del mercado (Caí et al, 2023).

En Ecuador, más del 95% de la acuicultura se centra en el camarón marino (*Litopenaeus spp*), seguido por la tilapia, que ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos cinco años.

El resto se distribuye entre otras especies, como peces y crustáceos de agua dulce. La acuicultura de agua dulce, predominantemente centrada en la región interandina, se enfoca principalmente en el cultivo de trucha Arco Iris. El cultivo del Chame también muestra ciertos avances en la región Costa (Schwarz, L, 2005).

Este estudio tiene como objetivo aportar con información que contribuya con el desarrollo de estrategias de conservación efectivas y al enriquecimiento del conocimiento sobre la biodiversidad acuática de los moluscos de agua dulce, además de aportar a la diversificación acuícola nacional por medio de la identificación de nuevas especies con potencial para acuicultura.

En este contexto, la investigación se plantea la siguiente pregunta:

¿Tiene *Anodontites trapesialis* potencial para ser considerada una especie viable en la acuicultura sostenible del Ecuador, y qué implicaciones tiene su registro en el embalse Chongón para la biodiversidad y la conservación de moluscos dulceacuícolas del país?

## Materiales y métodos

Se recolectaron manualmente nueve ejemplares de *A. trapesialis* en el embalse de Chongón (02° 13'51" S - 80° 06'59" W), ubicado en la zona centro-oeste de la región litoral ecuatoriana (Figura 1). Esta especie, también conocida como "almeja de agua dulce" o "tumba cuchara", fue examinada en el laboratorio de Biología del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP) de Ecuador. Para cada ejemplar, se realizaron mediciones morfométricas, incluyendo la longitud total y el ancho de las valvas en milímetros (mm) utilizando un calibrador vernier.

El peso se registró con una balanza digital con una precisión de 0,001 gramos (g) (Tabla 1). Además, se utilizó un equipo de disección para la manipulación de los ejemplares. La identificación taxonómica se basó en el estudio comparativo de la morfología funcional de *Anodontites trapezeus* (Spix) y *A. trapesialis* (Lamarck). (Bivalvia: Mycetopodidae) (Hebling, N. J., 1976), así como en la clave de identificación para géneros de bivalvos amazónicos (Mollusca: Unionoidea) en el Perú (Vivar, I. et al., 1995). Todos estos análisis se realizaron en fresco.

Además, se utilizó un equipo de disección para la manipulación de los ejemplares. La identificación taxonómica se basó en el estudio comparativo de la morfología funcional de *Anodontites trapezeus* (Spix) y *A. trapesialis* (Lamarck). (Bivalvia: Mycetopodidae) (Hebling, N. J., 1976), así como en la clave de identificación para géneros de bivalvos amazónicos (Mollusca: Unionoidea) en el Perú .

### Estrategia de búsqueda de la información

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el potencial acuícola de *A. trapesialis*. Para ello, se limitó la búsqueda exclusivamente a publicaciones científicas disponibles en la plataforma de Web of Science (<https://www.webofscience.com/>). La estrategia

Tabla 1.- Medidas de especímenes (N = 9) de *A. trapesialis* colectadas en el embalse de Chongón.

LT (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)
106,71	69,82	142,4
102,37	61,28	109,4
118,33	72,02	182,5
105,91	64,83	148,1
108,11	65,92	150,5
116,59	74,31	189,5
110,4	65,94	147,2
115,18	68,13	159,3
103,78	65,58	130
109,7 ± 5.8	67,5 ± 4.0	151,0 ± 24.5

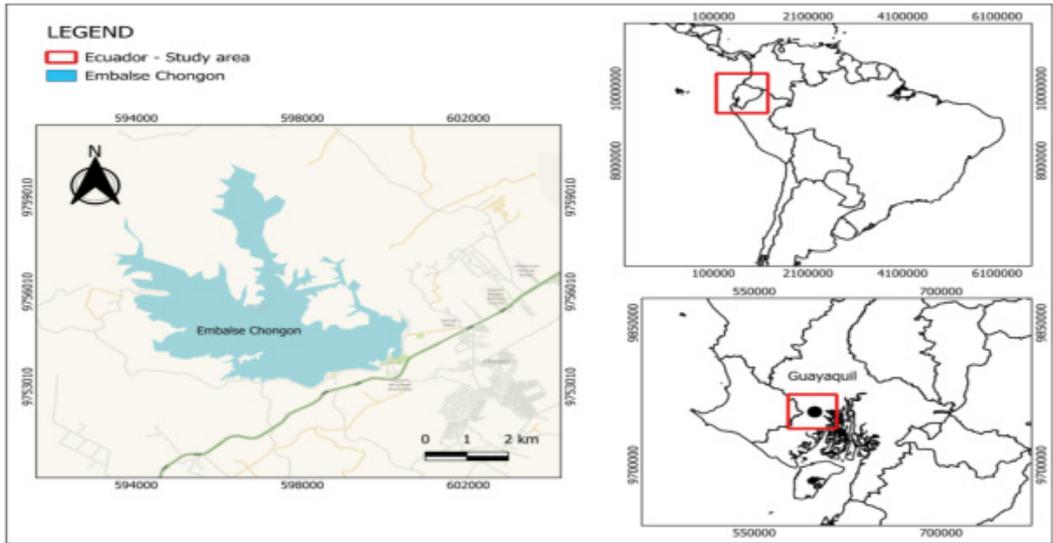


Figura 1. Área de estudio

de búsqueda se basó en utilizar las siguientes combinaciones de palabras clave o “keywords”: “*Anodontites trapesialis*” en el campo de búsqueda por título. La información fue analizada considerando la biología, ecología y alternativas para la acuicultura de esta especie.

Con el propósito de estructurar el marco teórico de este estudio, se accedió y analizó un total de 37 fuentes bibliográficas en idioma inglés. Estas fuentes incluyeron artículos de investigación, proporcionando una base sólida para abordar el potencial acuicola de *A. trapesialis* desde una perspectiva científica y actualizada.

## Resultados

### Biometría y taxonomía

Los ejemplares recolectados de *A. trapesialis*

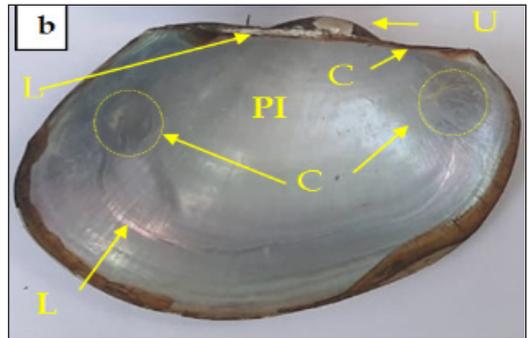


Figura 2b. Vista ventral: LP, línea paleal; L, ligamento; PI, pared interna de la valva; CM, cicatrices de los músculos; U, umbo; Ch; charnela.

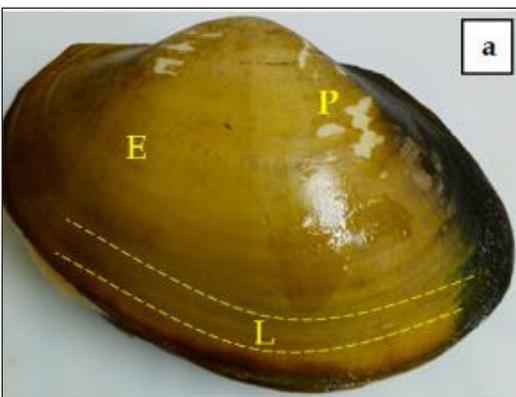


Figura 2a. Vista dorsal: Líneas de crecimiento; ES, escultura; P, periostraco.

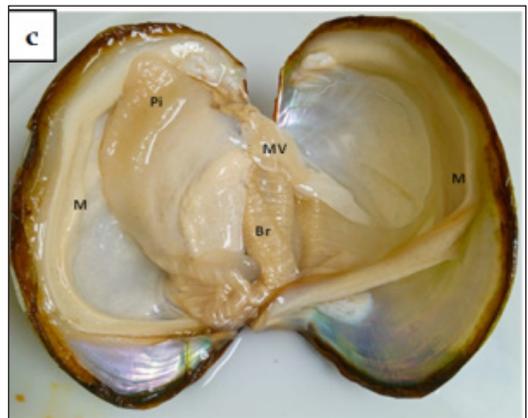


Figura 2c. Vista interna: M, manto; MV, masa visceral; Br, branquias; Pi, pie.

Tabla 2. Variables relevantes para el cultivo de *A. trapesialis*

Variable	Descripción	Bibliografía
Profundidad	Promedio: 1-2 m, Máxima reportada: 20 metros	Felipi & Silva-Souza, 2008; Callil et al., 2012; Paschoal et al., 2020; Silva et al., 2021
Presencia	Ríos, lago, llanuras de inundación, embalses artificiales (especialmente aquellos destinados a la cría de peces), estanques de granjas y piscifactorías	Graf & Cummings, 2007; Callil et al., 2012; Torres et al., 2018; Silva et al., 2021
Tipo de sustrato	El sustrato lodoso blando y el arcilloso compuesto por partículas finas favorecen su colonización y su capacidad para enterrarse	Cândido & Romero, 2006, 2007; Loayza-Muro & Elías-Letts, 2007; Paschoal et al., 2020
Comportamiento	Tendencia a la agregación, con densidades que varían de 0,02 a 1 individuo por metro cuadrado	Paschoal et al., 2020
Depredadores	Aves acuáticas, mamíferos acuáticos y comunidades locales que dependen de sus recursos naturales	Loayza-Muro & Elías-Letts, 2007
Bioacumulación de metales pesados	Mercurio, plomo, cadmio y nanopartículas de plata (Ag)	Lopes et al., 1992; Callil et al., 2012; Tesser et al., 2022
Especie en peligro de extinción	Brasil	Callil et al., 2012; Felipi & Silva-Souza, 2008; Silva et al., 2021
Aprovechamiento de las valvas	Correctores de pH del suelo, carbonatos de calcio, fertilizantes, mezclas en la alimentación de animales domésticos y el nácar puede emplearse para fabricar botones y artesanías	Felipi & Silva-Souza, 2008; Piwoni-Piórewicz et al., 2022; Silva et al., 2021; Summa et al., 2022
Aplicaciones del tejido blando	Alimentación animal y suplementos alimenticios, especialmente en la suplementación mineral, hasta potenciales usos en la alimentación humana como suplementos y sustitutos en la industria alimentaria	Klunklin & Savage, 2018a, 2018b
Valor agregado para acuicultura	Potencial interesante para la producción de perlas	Saucedo et al., 2021

presentaron una longitud total promedio de  $109,7 \pm 5,8$  mm, un ancho de  $67,5 \pm 4,0$  mm y un peso de  $151,0 \pm 24,5$  gramos.

Las valvas de estos ejemplares eran delgadas (Figura 2a), con contorno trapezoidal (equivalva), extremo posterior angosto y redondeado, y la parte posterior más ancha (inequilateral).

Periostraco delgado y opaco, de color verde amarillento en la parte media y más oscuro en la parte posterior, con escultura cancelada en estrías. Líneas de crecimiento notorias en la región Ventral. Parte interna de la valva con una superficie nacarada azulada (Figura 2b), con borde interno liso; línea palear casi completa sin seno paleal (integripaleada);

cicatrices de los músculos abductores marcados unidos a los músculos retractores. Umbo prominente y elevado ortogiro con un espacio umbonal pequeño. Charnela adonta recta, ligamento del tejido conectivo de tipo anfídético. Los sífonos se encuentran del lado posterior del bivalvo y están formados por los pliegues internos del manto (Figura 2c); el sífon exhalante sin tentáculos; palpos labiales de forma elíptica muy desarrollados; manto color beige. Ctenidios prominentes formados por pliegues poco profundos formados por una media de 21 filamentos, pudiendo variar de 16 y 26 respectivamente. Palpos labiales de forma elíptica muy desarrollados, esófago corto, dorso ventralmente plano y se abre en la región antero-dorsal en el estómago, terminando en un bien definido cresta transversal con o sin anillo circular.

Tabla 3. Aspectos biológicos y conductuales para el cultivo de *A. trapesialis*

Criterio	Descripción	Bibliografía
Ciclo de vida de las larvas	Planctónicas, llevan a cabo una fase temporal como parásitos en las branquias de los peces	Paschoal et al., 2020; Silva et al., 2021
Ciclo de vida de los juveniles	Las larvas establecidas en el pez después de completar la metamorfosis (de 19 a 28 días) se transforman en juveniles, liberándose finalmente para convertirse en organismos bentónicos	Felipi & Silva-Souza, 2008; Silva et al., 2021
Tipo de reproducción	Hermafrodita funcional y simultánea	Callil & Mansur, 2007
Tamaño	Promedio: 15 cm, Longitud máxima registrada: 20 cm	Callil & Mansur, 2005; Felipi & Silva-Souza, 2008
Peso	Adulto promedio: 60 g	Callil & Mansur, 2005
Fecundidad	Un espécimen de 10 cm capaz de generar entre 3200 y 3500 larvas. Individuos más grandes tienen una descendencia más abundante que los más pequeños	Silva et al., 2021; Callil et al., 2018

En el momento del muestreo, los estadios gonadales no estaban desarrollados, presentando una abertura supranal y marsupio en casi toda la demibranchia interna. El conjunto de características morfológicas, merística y patrones de coloración en el ejemplar analizado se ajusta al diagnóstico de *A. trapesialis*.

#### Alternativa para la acuicultura

Las principales variables críticas para el cultivo de *A. trapesialis*, abordando su hábitat, comportamiento, interacciones con el entorno y aspectos biológicos clave fueron analizadas (Tabla 2). Además, se discuten posibles usos de la especie, desde valvas hasta aplicaciones en alimentación.

Aspectos biológicos como ciclo de vida, reproducción y tamaño se abordan, ofreciendo una visión integral para su manejo y conservación (Tabla 3).

## Discusión

La presencia de *A. trapesialis* en el Embalse de Chongón representa el primer registro documentado de este molusco bivalvo nativo fuera de su hábitat natural en Ecuador. Si bien este es un hallazgo novedoso para Ecuador, informes similares se han documentado en otros países americanos, incluyendo Brasil y México, para otras especies de moluscos bivalvos (Torres-Orozco & Revueltas-Valle, 1996; Baker & Mann, 1997; Oliver & Sellanes, 2005; Ragonha et al., 2014; Hendrickx et al., 2016; Suárez-Mozo et al., 2018; López et al., 2019; Lozano-Guzmán et al., 2020; Leal et al., 2021; Sanz-Latorre et al., 2023; da Silva et al., 2024). Comprender los factores que impulsan la redistribución geográfica de *A. trapesialis* es crucial para anticipar y mitigar los posibles impactos

en la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos locales. La nueva distribución de *A. trapesialis* en Ecuador puede atribuirse tanto a actividades antropogénicas como a procesos de dispersión natural. En casos de intervención humana deliberada, los vectores de introducción son principalmente no intencionales o accidentales. El transporte de especies invasoras a menudo es

Para la dispersión natural, las aves acuáticas pueden transportar larvas de bivalvos a nuevas áreas. Estas larvas pueden adherirse a las plumas de estos animales y ser transportadas a diferentes cuerpos de agua, facilitando la dispersión de las especies (Coughlan et al., 2017). Además, las larvas de *A. trapesialis* pueden haber sido transportadas cuando parasitaban las branquias de peces de agua dulce (Felipi & Silva-Souza, 2008). Las condiciones ambientales juegan un papel significativo en la supervivencia y el comportamiento de los moluscos bivalvos. A medida que la distribución de una especie se ve afectada, también lo hacen las condiciones ambientales en las que vive.

El clima juega un papel crucial en la influencia de la distribución y la dinámica de las poblaciones de las especies (Rato et al., 2022; Bertolini et al., 2023). Comprender cómo los cambios climáticos y geomorfológicos impactan la distribución de esta especie puede guiar las estrategias de manejo de recursos naturales y la planificación de áreas protegidas, asegurando la conservación a largo plazo de los hábitats acuáticos y su biodiversidad asociada. Estudios a largo plazo en el Embalse de Chongón permitirán evaluar en detalle la composición de la población, incluyendo parámetros como el número de individuos, su edad y sexo. Este análisis fenológico proporcionará información valiosa sobre

las variaciones de crecimiento y las interacciones bióticas dentro de su nuevo hábitat.

A nivel mundial, se han realizado varios estudios sobre el potencial acuícola para moluscos bivalvos de agua dulce, tales como el mejillón cebrá (*Dreissena polymorpha*), el mejillón de río (*Unio spp.*), el mejillón de agua dulce (*Anodonta pseudodopsi*) y el mejillón negro de río (*Potamida littoralis*) (Tan et al., 2022; Ersoy et al., 2010; Sereflisan & Altun, 2018; Lazzara et al., 2012; Makhutova et al., 2011).

En Sudamérica, varios moluscos bivalvos de agua dulce han demostrado tener un alto potencial para su cultivo en acuicultura. Por ejemplo, *Limnoperna fortunei*, *Diplodon spp.* y la almeja asiática *Corbicula fluminea*. (Darrigan, 2002; Boltovskoy et al., 2006; Miyahira et al., 2017).

En Ecuador, se han realizado diversos intentos para diversificar la acuicultura de moluscos bivalvos marinos (Loor & Sonnenholzner, 2016; Lodeiros et al., 2018; Revilla et al., 2019; Treviño et al., 2020; Rodríguez-Pesantes et al., 2022). La diversificación se presenta como una estrategia clave para impulsar el crecimiento y la resiliencia a largo plazo del sector acuícola, especialmente en un contexto marcado por desafíos como el cambio climático, brotes de enfermedades y fluctuaciones del mercado (Cai et al., 2023).

*A. trapesialis* se presenta como el primer molusco bivalvo de agua dulce con potencial para diversificar la acuicultura en Ecuador. Su adaptabilidad, rápido crecimiento y beneficios ambientales la convierten en una alternativa viable para fortalecer la resiliencia del sector acuícola. Sin embargo, el éxito en la implementación de esta alternativa dependerá de abordar cuidadosamente los desafíos identificados y llevar a cabo investigaciones adicionales. Estas investigaciones deben enfocarse en la optimización de las condiciones de cultivo, la mitigación de posibles impactos ambientales y la integración de *A. trapesialis* en sistemas acuícolas sostenibles que maximicen sus beneficios económicos y ecológicos.

## Conclusión

El presente estudio representa el primer registro confirmado de *Anodontites trapesialis* en el embalse Chongón, ampliando significativamente el conocimiento sobre su distribución geográfica en Ecuador, lo que coincide con las actualizaciones sobre rangos de distribución y amenazas para los Unionida en Sudamérica descritas por Torres et al. (2024).

Este hallazgo reviste especial importancia al encontrarse dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, sugiriendo un potencial valioso para iniciativas de conservación y acuicultura sostenible en el país, como proponen Cai et al. (2023) para el fortalecimiento de la diversificación acuícola.

Desde una perspectiva ecológica y funcional, *A. trapesialis* demuestra un notable potencial como especie filtradora y bioindicadora de calidad ambiental, concordando con lo señalado por Lopes et al. (1992) y Loayza-Muro y Elías-Letts (2007), quienes evidencian su sensibilidad a contaminantes y cambios fisicoquímicos del agua. Además, su papel en la promoción de la biodiversidad bentónica coincide con las funciones ecológicas descritas para los Unionida por Vaughn y Hakenkamp (2001).

Su morfología, comportamiento y capacidad de adaptación a distintos ambientes acuáticos refuerzan su viabilidad para ser considerada en sistemas acuícolas alternativos, en concordancia con los estudios de Callil, Krinski y Silva (2012) y Felipi y Silva-Souza (2008), quienes destacan su resiliencia y plasticidad ecológica.

Adicionalmente, el valor nutricional y las múltiples aplicaciones de sus tejidos blandos y valvas —desde suplementos alimenticios hasta usos artesanales— respaldan su perfil como recurso estratégico para la economía local y la conservación de ecosistemas dulceacuícolas, en coincidencia con los resultados bromatológicos reportados por Silva et al. (2021). No obstante, el desarrollo de su cultivo requiere investigaciones adicionales sobre reproducción, carga parasitaria y compatibilidad con peces hospedadores, aspectos ya señalados como prioritarios para los bivalvos de la familia Mycetopodidae (Miyahira, Santos y Mansur 2017; Lopes-Lima et al. 2018).

En términos académicos y científicos, este trabajo contribuye al conocimiento taxonómico del orden Unionida en Sudamérica, reafirmando la necesidad de fortalecer la investigación sobre moluscos nativos con potencial acuícola en el Neotrópico, como recomiendan Graf y Cummings (2007) y Darrigan et al. (2013).

## Recomendaciones

**Investigación reproductiva controlada:** Se recomienda implementar estudios experimentales sobre el ciclo reproductivo completo de *A. trapesialis* en condiciones controladas, particularmente sobre la sincronización con peces hospedadores y tasas de infestación larval.

**Ensayos de cultivo piloto:** Desarrollar sistemas piloto de cultivo en estanques o jaulas flotantes para evaluar variables de crecimiento, supervivencia, densidad poblacional y calidad del agua bajo condiciones ecuatoriales.

**Evaluación de riesgos ecológicos:** Realizar análisis de riesgo ambiental asociados a la introducción o manejo de poblaciones en nuevas zonas, incluyendo el estudio de posibles efectos ecológicos no deseados y la bioacumulación de contaminantes.

Monitoreo sistemático en áreas naturales protegidas: Establecer un programa de monitoreo de poblaciones silvestres de *A. trapesialis* dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, para generar datos a largo plazo sobre su distribución, abundancia y dinámica poblacional.

Formulación de políticas de diversificación acuícola: Incluir a *A. trapesialis* dentro de los planes nacionales de diversificación acuícola sostenible, promoviendo su investigación aplicada y transferencia tecnológica hacia comunidades rurales e instituciones educativas. Fortalecimiento institucional: Se sugiere destinar recursos para el fortalecimiento de laboratorios especializados en moluscos dulceacuícolas en Ecuador, lo cual permitiría consolidar capacidades técnicas y científicas para su aprovechamiento y conservación.

Promoción del uso sostenible y agregado: Incentivar el aprovechamiento integral de la especie (tejido blando y valvas) mediante iniciativas de bioeconomía circular, desarrollo de productos funcionales y valorización artesanal con enfoque comunitario.

## Referencias Bibliográficas

- Ampuero, L. 2012. Evaluación de la fauna malacológica en la cuenca del río Bajo Madre de Dios. Lima: Museo de Historia Natural, UNMSM.
- Baker, P., and R. Mann. 1997. "The Postlarval Phase of Bivalve Mollusks: A Review of Functional Ecology and New Records of Postlarval Drifting of Chesapeake Bay Bivalves." *Bulletin of Marine Science* 61 (2): 409-430.
- Bertolini, C., D. Glaser, M. Canu, and R. Pastres. 2023. "Coupling Habitat-Specific Temperature Scenarios with Tolerance Landscape to Predict the Impacts of Climate Change on Farmed Bivalves." *Marine Environmental Research* 188: 106038.
- Boening, D. W. 1999. "An Evaluation of Bivalves as Biomonitor of Heavy Metals Pollution in Marine Waters." *Environmental Monitoring and Assessment* 55: 459-470. <https://doi.org/10.1023/A:1005995217901>.
- Boltovskoy, D., N. Correa, D. Cataldo, and F. Sylvester. 2006. "Dispersion and Ecological Impact of the Invasive Freshwater Bivalve *Limnoperna fortunei* in the Río de la Plata Watershed and Beyond." *Biological Invasions* 8: 947-963.
- Cai, J., H. Chan, X. Yan, and P. Leung. 2023. "A Global Assessment of Species Diversification in Aquaculture." *Aquaculture* 576: Article 739837. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739837>.
- Callil, C., D. Krinski, and F. Silva. 2012. "Variações na incubação larval de *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819): Efeito sinérgico de fatores ambientais e disponibilidade de hospedeiros." *Brazilian Journal of Biology* 72 (3): 545-552. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000300017>.
- Callil, C., M. Leite, L. Mateus, and J. Jones. 2018. "Influence of the Flood Pulse on Reproduction and Growth of *Anodontites trapesialis* in the Pantanal Wetland, Brazil." *Hydrobiologia* 810 (1): 433-448. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3097-3>.
- Callil, C., and M. Mansur. 2005. "Ultrastructural Analysis of the Shells of *Anodontites trapesialis* and *Anodontites elongatus* from the Mato Grosso Pantanal Region, Brazil." *Revista Brasileira de Zoologia* 22 (3): 724-734. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752005000300033>.
- Callil, C., and M. Mansur. 2007. "Gametogenesis and Dynamics of the Reproduction of *Anodontites trapesialis* from Baía do Polo Lake at the Cuiabá River Wetland, Mato Grosso, Brazil." *Revista Brasileira de Zoologia* 24 (3): 825-840. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752007000300033>.
- Cândido, L., and S. Romero. 2006. "Heart Rate and Burrowing Behavior in the Mussel *Anodontites trapesialis* from Lotic and Lentic Sites." *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular & Integrative Physiology* 145 (1): 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.05.011>.
- Cândido, L., and S. Romero. 2007. "A Contribution to the Knowledge of the Behaviour of *Anodontites trapesialis*: The Effect of Sediment Type on Burrowing." *Belgian Journal of Zoology* 137 (1): 11-16.
- Castellanos, Z. A., and N. A. Landoni. 1991. La familia Mycetopodidae Gray, 1840 en la República Argentina, Vol. 7. Buenos Aires: FECIC.
- Costello, K. E., S. A. Lynch, R. M. O'Riordan, R. McAllen, and S. C. Culloty. 2021. "The Importance of Marine Bivalves in Invasive Host-Parasite Introductions." *Frontiers in Marine Science* 8: 609248.
- Correoso Rodríguez, M., et al. 2015. *Pomacea canaliculata*: Plaga del arroz en Ecuador. Quito: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Coughlan, N. E., T. C. Kelly, J. Davenport, and M. A. Jansen. 2017. "Up, up and Away: Bird-Mediated Ectozoochorous Dispersal between Aquatic Environments." *Freshwater Biology* 62 (4): 631-648.
- Darrigran, G. 2002. "Potential Impact of Filter-Feeding Invaders on Temperate Inland Freshwater Environments." *Biological Invasions* 4: 145-156. <https://doi.org/10.1023/A:1020521811416>.
- Darrigran, G., I. Agudo-Padrón, P. Báez, et al. 2013. "Species Movements within Biogeographic Regions: Exploring the Distribution of Transplanted Mollusc Species in South America." *Biological Invasions* 25: 673-691. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02942-z>.
- Da Silva, V. R., F. G. Varejão, S. A. Matos, M. G. Rodrigues, L. V. Warren, M. L. Assine, ... and M. G. Simões. 2024. "A New Condensed Freshwater-Brackish Water Bivalve-Dominated Assemblage in the Aptian Crato Formation, Araripe Basin, NE Brazil and Its Paleoenvironmental Significance." *Cretaceous Research* 154: 105748.
- Ersoy, B., and H. Sereffian. 2010. "The Proximate Composition and Fatty Acid Profiles of Edible Parts of Two Freshwater Mussels." *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 10 (1): 71-74. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0110>.
- Felipi, P. G., and Â. T. Silva-Souza. 2008. "*Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819): Um Bivalve Parasito de Peixes de Água Doce." *Semina: Ciências Agrárias* 29 (4): 895-904. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n4p895>.
- Góngora-Gómez, A. M., M. I. Sotelo-González, J. A. Hernández-Sepúlveda, A. L. Domínguez Orozco, and M. García-Ulloa Gómez. 2016. "Nuevo Registro de la Almeja Generosa *Panopea globosa* (Dall, 1898) (Bivalvia: Hiatellidae) en el Estado de Sinaloa, México." *Latin American Journal of Aquatic Research* 44 (2): 411-415. <https://doi.org/10.3856/vol44-issue2-fulltext-22>.
- Graf, D. L., and K. S. Cummings. 2007. "Review of the Systematics and Global Diversity of Freshwater Mussel Species (Bivalvia: Unionoida)." *Journal of Molluscan Studies* 73 (3): 291-314. <https://doi.org/10.1093/mollus/eym029>.
- Hebling, N. J. 1976. "The Functional Morphology of *Anodontites trapezeus* (Spix) and *Anodontites trapesialis* (Lamarck) (Bivalvia: Mycetopodidae)." *Boletim de Zoologia* 1 (1): 265-298. <https://doi.org/10.11606/issn.2526-3358.bolzoo.1976.121585>.
- Hendrickx, M. E., P. Valentich-Scott, and N. Y. Suárez-Mozo. 2016. "Deep-Water Bivalve Mollusks Collected during the TALUD XV Cruise off the West Coast of the Southern Baja California Peninsula, Mexico." *Biodiversity Data Journal* 4: e7648.
- Johnson, P. D., A. E. Bogan, K. M. Brown, N. M. Burkhead, J.

- R. Cordeiro, J. T. Garner, P. D. Hartfield, D. A. Whelan, and G. A. Zaroban. 2013. "Conservation Status of Freshwater Gastropods of Canada and the United States." *Fisheries* 38 (6): 247-282. <https://doi.org/10.1080/03632415.2013.785396>.
- Kádár, E., J. Salánki, J. Powell, K. N. White, and C. R. McCrohan. 2002. "Effect of Sub-lethal Concentrations of Aluminium on the Filtration Activity of the Freshwater Mussel *Anodonta cygnea* L. at Neutral pH." *Acta Biologica Hungarica* 53 (4): 485-493. <https://doi.org/10.1556/ABiol.53.2002.4.9>.
- Klunklin, W., y G. Savage. 2018. "Physicochemical Properties and Sensory Evaluation of Wheat-Purple Rice Biscuits Enriched with Green-Lipped Mussel Powder (*Perna canaliculus*) and Spices." *Journal of Food Quality*, artículo 7697903: 1-9. <https://doi.org/10.1155/2018/7697903>.
- Lazzara, R., D. Fernandes, M. Faria, J. F. Lopez, R. Tauler, y C. Porte. 2012. "Changes in Lipid Content and Fatty Acid Composition along the Reproductive Cycle of the Freshwater Mussel *Dreissena polymorpha*: Its Modulation by Clofibrate Exposure." *The Science of the Total Environment* 432: 195-201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.094>.
- Leal, M. F., L. R. L. de Simone, A. C. F. Lacerda, E. L. da Silva, y T. G. Pinheiro. 2021. "Current Distribution of the Invasive Mollusk *Corbicula fluminea* (OF Müller, 1774) (Bivalvia, Cyrenidae) in Brazil, Including a New Record from the State of Piauí." *Check List* 17 (1): 151-57.
- Loayza-Muro, R., y R. Elias-Letts. 2007. "Responses of the Mussel *Anodontites trapesialis* (Unionidae) to Environmental Stressors: Effect of pH, Temperature and Metals on Filtration Rate." *Environmental Pollution* 149 (2): 209-15. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.003>.
- Lodeiros, C., D. Rodríguez-Pesantes, A. Márquez, J. Revilla, J. Chávez-Villalba, y S. Sonnenholzner. 2018. "Suspended Cultivation of the Pacific Oyster *Crassostrea gigas* in the Eastern Tropical Pacific." *Aquaculture International* 26 (1): 337-47.
- Loor, A., y S. Sonnenholzner. 2016. "Reproductive Cycle of the Rock Oyster, *Striostrea prismatica* (Gray, 1825) from Two Locations on the Southern Coast of Ecuador." *Aquaculture Research* 47 (5): 1432-42.
- Lopes, J., I. Casanova, M. Defigueireido, F. Nather, y W. Avelar. 1992. "*Anodontites trapesialis*: A Biological Monitor of Organochlorine Pesticides." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 23 (3): 351-54. <https://doi.org/10.1007/bf00216244>.
- Lopes-Lima, M., et al. 2018. "Conservation of Freshwater Bivalves at the Global Scale: Diversity, Threats and Research Needs." *Hydrobiologia* 810: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3486-7>.
- López, E., L. Garrido-Olvera, F. Benavides-González, Z. Blanco-Martínez, R. Pérez-Castañeda, A. Correa-Sandoval, M. L. Vázquez-Sauceda, y J. L. Rábago-Castro. 2019. "New Records of Invasive Mollusks *Corbicula fluminea* (Müller, 1774), *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) and *Tarebia granifera* (Lamarck, 1816) in the Vicente Guerrero Reservoir (NE México)." *BiolInvasions Records* 8 (3): 640-52. <https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.3.21>.
- Lozano-Guzmán, R. I., J. H. Rodríguez-Castro, L. Barrientos-Lozano, C. S. Venegas-Barrera, A. Correa-Gutiérrez, y A. Correa-Sandoval. 2020. "Nuevos Registros de Moluscos (Gastropoda, Bivalvia) de la Isla de Cozumel, Quintana Roo, México." *Hidrobiológica* 30 (3): 243-50.
- Makhtova, O. N., N. N. Sushchik, M. I. Gladyshev, A. V. Ageev, E. G. Pryanichnikova, y G. S. Kalachova. 2011. "Is the Fatty Acid Composition of Freshwater Zoobenthic Invertebrates Controlled by Phylogenetic or Trophic Factors?" *Lipids* 46 (8): 709-21. <https://doi.org/10.1007/s11745-011-3566-9>.
- Miyahira, I. C., S. B. D. Santos, and M. C. D. Mansur. 2017. "Freshwater Mussels from South America: State of the Art of Unionida, Specially Rhipidodontini." *Biota Neotropica* 17: e20170341. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2017-0341>.
- Oliver, P. G., y J. Sellanes. 2005. "New Species of Thyasiridae from a Methane Seepage Area off Concepción, Chile." *Zootaxa* 1092: 1-20. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1092.1.1>.
- Paschoal, L., et al. 2020. "Massive Mortality of the Giant Freshwater Mussel *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Mycetopodidae) during a Severe Drought in a Neotropical Reservoir." *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 92. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180811>.
- Piwoni-Piórewicz, A., S. Strekopytov, E. Humphreys-Williams, J. Najorka, B. Szymczycha, y P. Kuklinski. 2022. "Polymorphism of CaCO<sub>3</sub> and the Variability of Elemental Composition of the Calcareous Skeletons Secreted by Invertebrates along the Salinity Gradient of the Baltic Sea." *Geobiology* 20 (4): 575-96. <https://doi.org/10.1111/gbi.12496>.
- Ragonha, F. H., G. D. Pinha, D. K. Petsch, M. C. D. Mansur, y A. M. Takeda. 2014. "First Records of Freshwater Bivalves of Ilha Grande National Park, Paraná, Brazil." *Iheringia. Série Zoológica* 104: 14-20.
- Rato, A., S. Joaquim, A. M. Matias, C. Roque, A. Marqués, y D. Matias. 2022. "The Impact of Climate Change on Bivalve Farming: Combined Effect of Temperature and Salinity on Survival and Feeding Behavior of Clams *Ruditapes decussatus*." *Frontiers in Marine Science* 9: 932310.
- Revilla, J., A. Márquez, C. Lodeiros, y S. Sonnenholzner. 2019. "Experimental Cultures of Giant Lion's Paw Nodidipeten subnodosus in Equatorial Waters of the Eastern Pacific: Progress in Larval Development and Suspended Culture." *Latin American Journal of Aquatic Research* 47: 818-25.
- Rodríguez-Pesantes, D., J. Reyes, A. Márquez, S. Sonnenholzner, y S. V. D. Hende. 2022. "Early Life Cycle Description and Effects of Microalgal Diets on Larval and Post Larval Development of the Mangrove Cockle *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833)." *Aquaculture Research* 53 (2): 590-602.
- Sanz-Latorre, M., M. Soto, O. D. de Cerio, I. Valenciano, M. Gutiérrez, y U. Izaguirre. 2023. "Distribution of the Alien Bivalve *Xenostrobus securis* (Lamarck, 1819) in the Coast of Bizkaia (Northern Iberian Peninsula)." *Continental Shelf Research* 267: 105101.
- Schwarz, L. 2005. "Visión General del Sector Acuicola Nacional - Ecuador." Recuperado el 7 de mayo de 2023, de Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO: [https://firms.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=countrysector&xml=naso\\_ecuador.xml&lang=es](https://firms.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=countrysector&xml=naso_ecuador.xml&lang=es).
- Sereflisan, H., y B. E. Altun. 2018. "Amino Acid and Fatty Acid Composition of Freshwater Mussels, *Anodonta pseudodopsis* and *Unio tigridis*." *Pakistan Journal of Zoology* 50 (6): 2153-58. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2018.50.6.2153.2158>.
- Silva, Douglas dos Santos, Márcio Ribeiro Pereira, João de Deus Souza, Carlos José de Oliveira Ribeiro, Carlos Eduardo de Andrade Braga, y Nivaldo Nordi. 2021. "Bromatological Study of the Freshwater Bivalve *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) (Unionida, Mycetopodidae)." *Latin American Journal of Aquatic Research* 49 (3): 465-475. <https://dx.doi.org/10.3856/vol49-issue3-fulltext-2659>.
- Simone, L. R. L. de. 1994. "Anatomical Characters and Systematics of *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) from South America (Mollusca, Bivalvia, Unionoidea, Muteloidea)." *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 29 (3): 169-185. <https://doi.org/10.1080/01650529409360929>.
- Spooner, Elena, Patricia A. Chambers, y John M. Bennett. 2013. "Nutrient Loading Associated with Agriculture Land Use Dampens the Importance of Consumer-Mediated Niche Construction." *Ecology Letters* 16: 1115-1125. <https://doi.org/10.1111/ele.12146>.

- Suárez-Mozo, N. Y., A. Gracia, y P. Valentich-Scott. 2018. "A New Species of *Malletia* (Bivalvia, Malletiidae) and New Records of Deep-Water Bivalves from Pacific Southern Colombia." *ZooKeys* 762: 13-31.
- Summa, D., M. Lanzoni, G. Castaldelli, E. A. Fano, y E. Tamburini. 2022. "Trends and Opportunities of Bivalve Shells' Waste Valorization in a Prospect of Circular Blue Bioeconomy." *Resources* 11 (5): 48. <https://doi.org/10.3390/resources11050048>.
- Tan, K., H. Zhang, S. Li, H. Ma, y H. Zheng. 2022. "Lipid Nutritional Quality of Marine and Freshwater Bivalves and Their Aquaculture Potential." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62 (25): 6990-7014.
- Tesser, M., M. Guilger, N. Bilesky-José, W. E. Risso, R. de Lima, y C. Martínez. 2022. "Biogenic Metallic Nanoparticles (Ag, TiO<sub>2</sub>, Fe) as Potential Fungicides for Agriculture: Are They Safe for the Freshwater Mussel *Anodontites trapesialis*?" *Chemosphere* 309: 136664. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136664>.
- The University of Wisconsin-Stevens Point. 2024. "The Mussel Project." Consultado el 25 de enero de 2024. <http://www.mussel-project.net/>.
- Tognelli, M. F., C. A. Lasso, C. A. Bota-Sierra, L. F. Jiménez-Segura, y N. A. Cox. 2016. Estado de Conservación y Distribución de la Biodiversidad de Agua Dulce en los Andes Tropicales. Gland, Suiza: IUCN.
- Torres, S., L. Cao, D. Gregoric, M. de Lucía, F. Brea, y G. Darrigran. 2018. "Distribution of the Unionida (Bivalvia, Paleoheterodonta) from Argentina and Its Conservation in the Southern Neotropical Region." *PLOS ONE* 13 (9): e0203616. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203616>.
- Torres-Orozco, R. B., y E. Revueltas-Valle. 1996. "New Southernmost Record of the Asiatic Clam *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae), in Mexico." *The Southwestern Naturalist* 41 (1): 60-61.
- Treviño, L., C. Lodeiros, J. Vélez-Falcones, C. Chávez-Alcívar, F. Isea-León, A. E. Bermúdez-Medrandá, y D. Rodríguez-Pesantes. 2020. "Suspended Culture Evaluation of Pacific Oyster *Crassostrea gigas* in a Tropical Estuary." *Aquaculture Research* 51 (5): 2052-2061.
- Vaughn, C. C., y C. C. Hakenkamp. 2001. "The Functional Role of Burrowing Bivalves in Freshwater Ecosystems." *Freshwater Biology* 46: 1431-1446. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00771.x>.
- Vivar, I., M. Rengifo, y C. Paredes. 1995. "Clave de Identificación para Géneros de Bivalvos Amazónicos (Mollusca: Unionoidea) en el Perú." *Biotempo* 2: 97-103. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v2i0.1544>.

# Contenidos de la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales Vol. 19(2)

Concentración de Materia Orgánica en Sedimentos del Estero Salado de Guayaquil, Ecuador / Concentration of Organic Matter in Sediments of The Salado Estuary of Guayaquil, Ecuador..... Jesús Alexander Cedeño Borrero, Dayse Karina Guamán Guamán, Ana de las Mercedes Grijalva Endara, Patricia Antonieta Macias Mora.....	701
Obtención de grasas lubricantes a partir de la epoxidación del aceite de las semillas de Sacha Inchi (“Plukenetia volubilis L”), del cantón “San Vicente” de la provincia de Manabí / Obtaining lubricating greases from oil epoxidation from the seeds of Sacha Inchi (“Plukenetia volubilis L”), from the canton “San Vicente” of the province of Manabí..... Fernando David García Pallo, Brando José Ponce Holguín .....	708
Primer registro de leucismo en <i>Eleotris picta</i> (Eleotridae: Eleotrinae) en la cuenca del río Guayas, Ecuador. / First record of leucism in <i>Eleotris picta</i> (Eleotridae: Eleotrinae) in the Guayas River basin, Ecuador..... Enrique Laaz Moncayo, Ulises Avendaño Villamar, William Revelo Ramírez, Mercy Preciado Ramírez, Geovanny Sandoval Reyes y Jonathan Valdiviezo Rivera.....	714
Evaluación de distintas intensidades de luz para la producción de microalgas. / Evaluation of different light intensities for microalgae production..... Kevin Omar Oña Limones, Geovanna Parra Riofrío.....	721
Desafíos en manejo y reducción de residuos orgánicos en mercados urbanos de Lago Agrio / Challenges in the management and reduction of organic waste in urban markets of Lago Agrio..... Melanie Valeria Panimbosa Castro, Orlando Meneses Quelal.....	733
Implementación de un sistema de recolección y compostaje de residuos orgánicos para su aprovechamiento agrícola / Implementation of an organic waste collection and composting system for agricultural use .....	739
Modelación hidrológica y plan de respuesta a emergencias ante inundaciones del río Dulcepamba, Chillanes-Bolívar / Hydrological modeling and emergency response plan for floods of the Dulcepamba river, Chillanes-Bolívar .....	744
Capacidad de usos del suelo en el Espacio Integral Sostenible: Bosque Politécnico - CIIDEA ESPAM MFL / Capacity for Land Use in the Sustainable Integral Space: Polytechnic Forest - CIIDEA ESPAM MFL .....	756
Potencial Acuícola de <i>Anodontites trapesialis</i> : Nuevos Registros e Implicaciones para la Conservación en Sudamérica. / Potencial Acuícola de <i>Anodontites trapesialis</i> : Nuevos Registros e Implicaciones para la Conservación en Sudamérica. .... Ulises Tiberio Avendaño Villamar, José Luis Pacheco Bedoya, Milton Gabriel Montúfar Romero, Walter Edgar Ruiz Chóez, Fátima Gabriela Mesías Mosquera.....	765
Normas para la publicación de artículos, “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales” / Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”	