

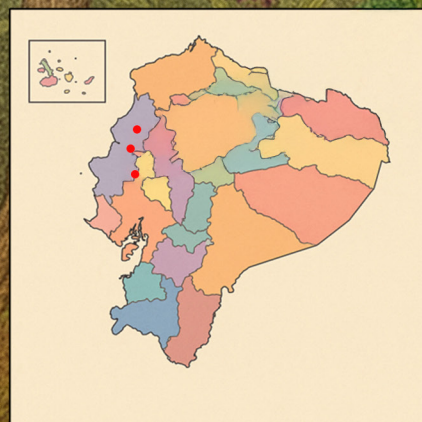
CIENCIA Y TECNOLOGÍA



- Captura de carbono
- Actividad biológica
- Ciclaje de nutrientes



- Conservación del suelo
- Regulación microclimáticas
- Riqueza específica de especies



UTEQ

ISSN:1390 - 4051

e-ISSN:1390 - 4043

Vol. 19, Núm. 1 | Enero 2026

Índice de contenido

Determinación de concentración de cadmio (Cd) en suelos y semillas de plantaciones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en la sierra ecuatoriana <i>Determination of cadmium (Cd) levels in soils and seeds of cocoa plantations (Theobroma cacao L.) in the ecuadorian highlands</i>	1
Entomofauna dañina presente en el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.), cantón El Empalme, provincia del Guayas <i>Damaging entomofauna present in corn crop (Zea mays L.), El Empalme canton, Guayas province</i>	9
Efecto de la enzima transglutaminasa microbiana (<i>Streptomyces mobaraensis</i>) en la reestructuración de fragmentos de atún (<i>Thunnus albacares</i>) cocido <i>Effect of microbial transglutaminase (Streptomyces mobaraensis) on the restructuring of cooked tuna (Thunnus albacares) fragments</i>	18
Huella de carbono del turismo en las Cascadas del Zapanal, provincia de Cotopaxi <i>Carbon footprint of tourism in the Zapanal Waterfalls, Cotopaxi province</i>	28
Resiliencia comunitaria ante el cambio climático en asentamientos urbanos vulnerables: caso Monte Sinaí, Ecuador <i>Community resilience to climate change in vulnerable urban settlements: the case of Monte Sinai, Ecuador</i>	40
Diversidad florística en plantaciones de <i>Tectona grandis</i> L. f. de diferentes edades <i>Floristic Diversity in Plantations of Tectona grandis L.f. of Different Ages</i>	50
Calidad fisicoquímica de suelos silvopastoriles para gestionar recursos forestales en Canoa, San Vicente, Ecuador <i>Physicochemical soil quality of silvopastoral system for forest resource management in Canoa, San Vicente, Ecuador</i>	63
Comportamiento de la producción de huevos en generaciones de gallinas Turquino procedente de huevos clasificados “no aptos” para la incubación <i>Behavior of egg production in generations of Turquino hens from eggs classified as “not suitable” for incubation</i>	76

Determinación de concentración de cadmio (Cd) en suelos y semillas de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la sierra ecuatoriana

Determination of cadmium (Cd) levels in soils and seeds of cocoa plantations (*Theobroma cacao* L.) in the ecuadorian highlands

Kléber Efraín Medina Rodríguez , Erik Ronaldo Estrada Roldán , Leontes Leonidas Zambrano Barcos , Alba Elizabeth Medina Rodríguez

Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador

Autor de correspondencia: kemedina@uagraria.edu.ec

Recibido: 06/08/2025. Aceptado: 23/12/2025.

Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

El propósito de la investigación fue determinar los niveles de cadmio (Cd) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en una unidad de producción ubicada en la provincia de Bolívar, Ecuador. Para ello, se recolectaron 10 muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm en diferentes puntos de la hacienda; asimismo, se recolectaron mazorcas de cacao de 10 árboles de forma aleatoria en los sitios donde se tomó la muestra de suelo, para la determinación de Cd en semillas mediante absorción atómica. Las muestras fueron georreferenciadas y mapeadas usando el programa ArcGIS 10.3 en función de los niveles de contaminación. El análisis estadístico se realizó aplicando la prueba T-Student unilateral izquierda, para comparar con la norma vigente sobre los niveles de cadmio permitidos en suelos y normativa alimentaria europea referente a los valores de Cd en semillas. Los resultados mostraron una media de 1,39 mg kg⁻¹ en suelos, lo cual en ningún caso supera los niveles máximos permitidos. En el caso de las semillas el Cd osciló entre 0,19 – 1,11 mg kg⁻¹, lo cual está dentro del rango permitido. Aunque los valores encontrados no representan riesgos para la agroexportación del cacao es necesario tomar medidas preventivas, especialmente en lo referente al manejo de la fertilización una de las principales fuentes de Cd en el cultivo, con el objetivo de minimizar los riesgos de acumulación de Cd en suelos y semillas, en especial en las áreas donde se reportaron los mayores niveles de este metal pesado.

Palabras clave: agroexportación, contaminación, inocuidad, toxicidad, salud.

Abstract

The purpose of the research was to determine cadmium (Cd) levels in cocoa crops (*Theobroma cacao* L.) at a production unit located in Bolívar Province, Ecuador. To this end, 10 soil samples were collected at a depth of 0 to 20 cm at different points on the farm. Cocoa pods were also collected from 10 trees at random at the sites where the soil samples were taken to determine the Cd content in the seeds using atomic absorption. The samples were georeferenced and mapped using ArcGIS 10.3 software based on contamination levels. Statistical analysis was performed using the one-tailed Student's t-test to compare with current standards on permissible cadmium levels in soil and European food regulations on Cd values in seeds. The results showed an average of 1.39 mg kg⁻¹ in soils, which in no case exceeds the maximum permitted levels. In the case of seeds, Cd ranged from 0.19 to 1.11 mg kg⁻¹, which is within the permitted range. Although the values found do not pose a risk to cocoa exports, preventive measures need to be taken, especially with regard to fertilization management, one of the main sources of Cd in the crop, in order to minimize the risks of Cd accumulation in soils and seeds, particularly in areas where the highest levels of this metal were reported.

Keywords: agroexport, pollution, safety, toxicity, health. .

Introducción

A nivel mundial el comercio de productos agrícolas, entre ellos el cacao en grano, es de significativa importancia, dado que la producción y el comercio de estos bienes es de gran importancia para la economía de la mayoría de los países subdesarrollados (Suh y Molua, 2022). Sin embargo, las mismas son de poca importancia si se comparan con el valor total de exportaciones en países subdesarrollados como: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Ecuador, y Camerún (Sabas *et al.*, 2020, Amponsah-Doku *et al.*, 2022, Rahim *et al.*, 2020, Kuhn *et al.*, 2023 y Nkouedjo *et al.*, 2020).

Ecuador es el primer productor de cacao fino de aroma a nivel mundial, satisface el 60 % de la demanda internacional de este producto (Borja *et al.*, 2021). En el año 2024, Cedeño y Dilas-Jiménez (2022) reportaron que se exportaron 460 mil toneladas métricas de cacao, generando ventas por 800 millones de dólares. Por su parte, Parada-Gutiérrez y Veloz-Cordero (2021) destacaron que muchos productores trabajan arduamente en pequeñas granjas, las cuales presentan bajos rendimientos que podrían mejorar mediante la tecnificación, ya que las cosechas suelen venderse dentro del mismo recinto.

En la Unión Europea, en enero del 2019 entró en vigencia una normativa que se considera un rango permisible para niveles de cadmio de 0,10 a 0,80 mg kg⁻¹, en productos ya elaborados a base de cacao (Rofner, 2021). Las plantas del cacao no están clasificadas como hiperacumuladora de Cd, generalmente la concentración en los granos va desde 0,02 a 12 mg kg⁻¹ de cadmio, siendo estos valores superiores en América Latina (Vanderschueren *et al.*, 2021).

Las regulaciones impuestas por la Unión Europea sobre los límites máximos permitidos de residuos de cadmio sobre el grano de cacao ecuatoriano puede generar el bloqueo de las exportaciones, afectando la cadena de valor del cultivo, lo cual afectaría directamente a miles de familias que dependen de este rubro (Barraza *et al.* 2021), impactando de los ingresos nacionales, dado que este producto representa uno de los principales rubros económicos no solo en el campo agrícola, sino de la economía nacional, y países de África y sudamericanos como Brasil (De Oliveira *et al.*, 2021).

Existe preocupación en la cadena de negocio del cacao en todo el mundo; productores, exportadores, importadores y clientes; debido a la presencia del cadmio en las semillas y en su transmisión directa al chocolate de consumo humano (Bravo *et al.*, 2022), puesto que este metal pesado se acumula en el organismo y responsable de patologías graves para el ser humano; además de ser tóxico, presenta alta permanencia en hígado y riñones, siendo estos criterios establecidos para los contaminantes más tóxicos (Maddela, *et al.*, 2020).

La cadena de producción de cacao ecuatoriano a nivel mundial se caracteriza por su excelente aroma y sabor (Villacis *et al.* 2022). A pesar de ello, su exportación es limitada, dado que la Unión Europea ha detectado niveles significativos de metales pesados en especial cadmio en productos derivados

de cacao, por lo que propuso una normativa sobre los límites mínimos de cadmio (Marincich *et al.*, 2023). En consecuencia, el cacao en grano debe cumplir con los niveles máximos de Cadmio de acuerdo con el Codex Alimentarius.

En función de lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta investigación fue determinar, en la hacienda Roldán ubicada en el cantón Echeandía provincia de Bolívar, lo siguiente:

- Realizar análisis del contenido de cadmio en suelo en el cultivo de cacao mediante la toma de muestras.
- Evaluar los niveles de cadmio de cacao en grano, mediante análisis de laboratorio.
- Representar en forma gráfica los niveles de cadmio en la zona de estudio.

Materiales y métodos

Ubicación y caracterización del sitio de estudio

La investigación se realizó en el sector Barraganete del cantón Echeandía, provincia de Bolívar (1°26'36.01" S, 79°17'13.22" O) entre octubre 2020 y agosto 2021, evaluando la variedad de cacao CCN 51 con 7 años de plantado. El clima predominante es el tropical megatérmico húmedo, que se caracteriza por sus precipitaciones hasta 2.500 mm anual y una temperatura de 24 °C, ideal para el desarrollo de una vegetación arbustiva exuberante (Caiza, 2013). Los suelos en su mayor parte pertenecen al grupo de inceptisoles (84,24 %), que implica una alta concentración de materia orgánica, drenaje deficiente y ocupan las laderas escarpadas características del cantón.

Recolección de muestras de suelo

Se recolectaron 10 muestras de suelo compuesta en las 17,45 hectáreas de la finca de manera aleatoria al azar y en forma de zig – zag dentro de la superficie sembrada del cultivo de cacao establecido, a una profundidad de 0 a 20 cm, para cada muestra compuesta se tomaron 3 submuestras las cuales fueron mezcladas homogéneamente, para obtener una muestra compuesta de 1 kg aproximadamente para el análisis químico.

Recolección de muestras de granos

Se recolectó mazorcas de cacao de 10 árboles de forma aleatoria cercano al sitio donde se tomó la muestra de suelo, previamente los granos deben estar libre de la mazorca, este proceso se realizó con instrumento de acero inoxidable desinfectado cada toma de muestra para evitar contaminación con otros metales.

Concentraciones de cadmio en suelo (mg kg⁻¹)

La determinación de los niveles de cadmio en suelos se realizó mediante extracción de Cd total, usando el procedimiento acreditado de absorción atómica en el Laboratorio de Suelos, Foliares y Aguas de Agrocalidad Tumbaco. El mismo está acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano SAE bajo la norma ISO/IEC 17025.

Tabla 1. Puntos georreferenciados dentro de la unidad de producción, donde se recolectaron muestras de suelo y semillas para la determinación de Cd

Muestra	Muestras de suelo		Muestras de semillas	
	S	O	S	O
M-1	1°27'2.43"	79°16'53.14"	1°27'2.59"	79°16'53.17"
M-2	1°26'55.43"	79°16'52.92"	1°26'50.61"	79°16'54.15"
M-3	1°26'51.00"	79°16'55.51"	1°26'44.59"	79°16'54.48"
M-4	1°26'45.24"	79°16'56.78"	1°26'45.24"	79°16'56.78"
M-5	1°26'44.98"	79°17'2.21"	1°26'44.43"	79°17'1.66"
M-6	1°26'43.78"	79°17'3.12"	1°26'43.45"	79°17'3.12"
M-7	1°26'42.22"	79°17'6.87"	1°26'41.73"	79°17'6.29"
M-8	1°26'40.09"	79°17'27.96"	1°26'40.10"	79°17'8.26"
M-9	1°26'37.63"	79°17'12.57"	1°26'37.47"	79°17'14.02"
M-10	1°26'36.01"	79°17'13.22"	1°26'35.48"	79°17'12.44"

Representación de datos

Mediante el software ArcGIS se realizó la representación gráfica de los datos obtenidos de cadmio en suelos y semillas de cacao, para lo cual se identificaron previamente las coordenadas mediante localización por GPS (Sistema de Posicionamiento Global), las cuales se presentan en formato geográfico sexagesimal (grados, minutos, segundos) en la Tabla 1.

Análisis estadístico

Se aplicó una prueba T-Student unilateral izquierda donde se comparó con la Normativa Ambiental Ecuatoriana 2015 con los niveles de cadmio permitidos en suelo agrícola, y con la Normativa Alimentaria Europea, 2019 para productos elaborados de cacao.

Resultados

Análisis de concentración de cadmio en suelo

Los valores de cadmio en las 10 muestras de suelo obtenidas en la Hacienda Roldán presentan valores en un rango de 1,19 – 2,13 mg kg⁻¹ (Tabla 2) y, de acuerdo con Reglamento al Código Orgánico del Ambiente año 2019, en su anexo 2 Norma Técnica Ambiental del recurso suelo, la mayor parte de estos valores se encuentran menor que 2,00 mg kg⁻¹, que es el límite máximo permitido para remediación en los suelos de uso agrícola según la norma ambiental ecuatoriana a excepción del punto 10, que supera este valor. Solo una muestra presentó concentración más arriba de lo permitido.

Tabla 2. Niveles de cadmio obtenidos en suelos de una unidad de producción del cantón de Echeandía, provincia de Bolívar, Ecuador

Muestra	Valor Cd mg kg ⁻¹
Muestra 1	1,41
Muestra 2	1,57
Muestra 3	1,20
Muestra 4	1,42
Muestra 5	1,20
Muestra 6	1,21
Muestra 7	1,36
Muestra 8	1,23
Muestra 9	1,19
Muestra 10	2,13

Al comparar los valores obtenidos, con lo establecido en la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados Anexo 2, mediante la T de Student, se observa una media de 1,39 mg kg⁻¹, con un valor *p* de 0,99 (Tabla 3), indicando que solo una de las muestras obtenidas presenta considerablemente altos niveles de cadmio en los resultados del análisis de suelo, tomando como referencia el valor máximo establecido en la norma ecuatoriana.

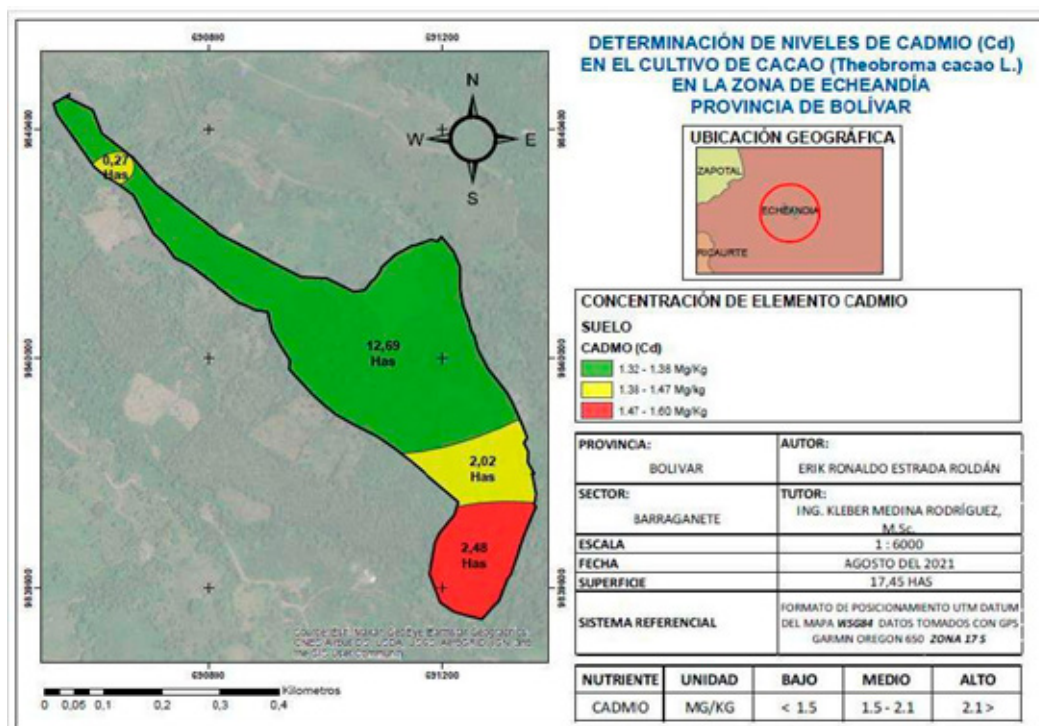


Figura 1. Distribución de Cd de acuerdo a la concentración en suelos de la hacienda Roldán, cantón de Echeandía, provincia de Bolívar, Ecuador.

Tabla 3. Prueba T unilateral izquierda del cadmio en el suelo, para comparar con la Normativa Ambiental Ecuatoriana 2015

Variable	N	Media	T	p valor
Cadmio suelo	10	1,39	15,22	0,99

En la Figura 1 se puede observar la representación gráfica de la concentración de Cd en suelos de la hacienda mediante la herramienta ArcGis, se evidencia que 12,69 hectáreas presentan concentraciones de cadmio en el rango de 1,32 – 1,38 mg kg⁻¹; 2,29 hectáreas se encuentran en el rango de 1,38 – 1,47 mg kg⁻¹ y 2,48 hectáreas muestran niveles de 1,47 – 1,60 mg kg⁻¹, equivalentes a niveles medios de presencia del elemento, en solo uno de los casos por encima del nivel máximo permitido de 2,00 mg kg⁻¹ de Cd, a excepción de la muestra 10 que supera este valor.

Discusión

En la mayoría de las áreas evaluadas dentro de la unidad de producción, las concentraciones de cadmio (Cd) se mantuvieron por debajo de los límites permisibles. Sin embargo, en ciertos sectores se observaron niveles superiores, posiblemente atribuibles a procesos de acumulación asociados a la pendiente del terreno y a zonas bajas donde ocurre deposición de arcillas, lo que favorece la retención del metal

dado que se ha demostrado en diversos estudios una mayor capacidad de adsorción de este elemento en este tipo de suelo (Furcal-Beriguete y Torres-Morales, 2020; Xinxin *et al.*, 2020). No obstante, en el área de estudio, predominan suelos con pendiente, y lluvias intensas, que conducen a la erosión y pérdida de suelo, esto implica la acumulación de Cd en las zonas bajas (Xu *et al.*, 2021; Wei *et al.*, 2023).

Para Blommaert *et al.* (2022), la acumulación de Cd está relacionada a la translocación de este elemento, condicionado por el material genético y el pH del suelo, observándose que la baja concentración de Cd en la semilla se debe a que existe una menor translocación (Carrillo *et al.*, 2024). En diversas regiones agrícolas de Ecuador, la acumulación de cadmio (Cd) en niveles bajos y medios ha sido atribuida al uso frecuente de fertilizantes fosfatados y abonos orgánicos por parte de pequeños productores. Rodríguez-Alfaro *et al.* (2022) señalan que estos insumos, aunque fundamentales para el desarrollo de cultivos como el cacao y el arroz, pueden contener residuos de metales pesados que se incorporan al suelo. Carrillo *et al.* (2023) complementan esta perspectiva al destacar que dicha incorporación genera una interacción compleja entre los componentes edáficos y los insumos agrícolas, lo que influye en la movilidad y retención del cadmio.

Evaluación de los niveles de cadmio de cacao en grano

Los valores de cadmio de las 10 muestras de árboles obtenidas en la Hacienda Roldán (Tabla 4), presentan valores entre 0,19 – 1,11 mg kg⁻¹; que, según la Normativa Alimentaria Europea,

2019 están dentro de los rangos permitidos en los granos de cacao, con el objetivo de que, al ser industrializado y transformado en productos elaborados como bebidas o barras de chocolate, las concentraciones de cadmio no excedan los límites establecidos por el mercado europeo (Tabla 4).

Tabla 4. Concentración de cadmio en almendra en la zona de estudio del Echeandía, provincia de Bolívar, Ecuador

Muestra	Cd (mg kg ⁻¹)
Muestra 1	0,39
Muestra 2	0,56
Muestra 3	0,19
Muestra 4	0,41
Muestra 5	0,20
Muestra 6	0,20
Muestra 7	0,34
Muestra 8	0,21
Muestra 9	0,20
Muestra 10	1,11

Al comparar los valores de Cd obtenidos en semillas de cacao con la Normativa Alimentaria Europea mediante la T de Student, se observa una media de 0,38 mg kg⁻¹ con un valor de P 0,9984 (Tabla 5). Esto indica que ninguna de las muestras obtenidas presenta altos niveles de cadmio en las semillas, considerando el valor máximo establecido en la norma europea que es de 0,90 mg kg⁻¹.

Tabla 5. Prueba T unilateral izquierda del cadmio en las semillas, para comparar con la Normativa Alimentaria Europea, 2019

Variable	n	Media	T	p valor
Cadmio semillas	10	0,38	4,23	0,99

El mapa de concentración del elemento cadmio en semillas Figura 2, se observa que 11,41 hectáreas poseen un rango de concentración de cadmio de 0,19 – 0,42 mg kg⁻¹; 3,05 hectáreas obtuvieron un rango de 0,42 – 0,71 mg kg⁻¹ y 2,99 hectáreas obtuvieron niveles de 0,71 – 1,10 mg kg⁻¹, en todos los casos por debajo del límite máximo permitido en productos elaborados, el cual es de 0,90 mg kg⁻¹, de acuerdo Normativa Alimentaria Europea, 2019.

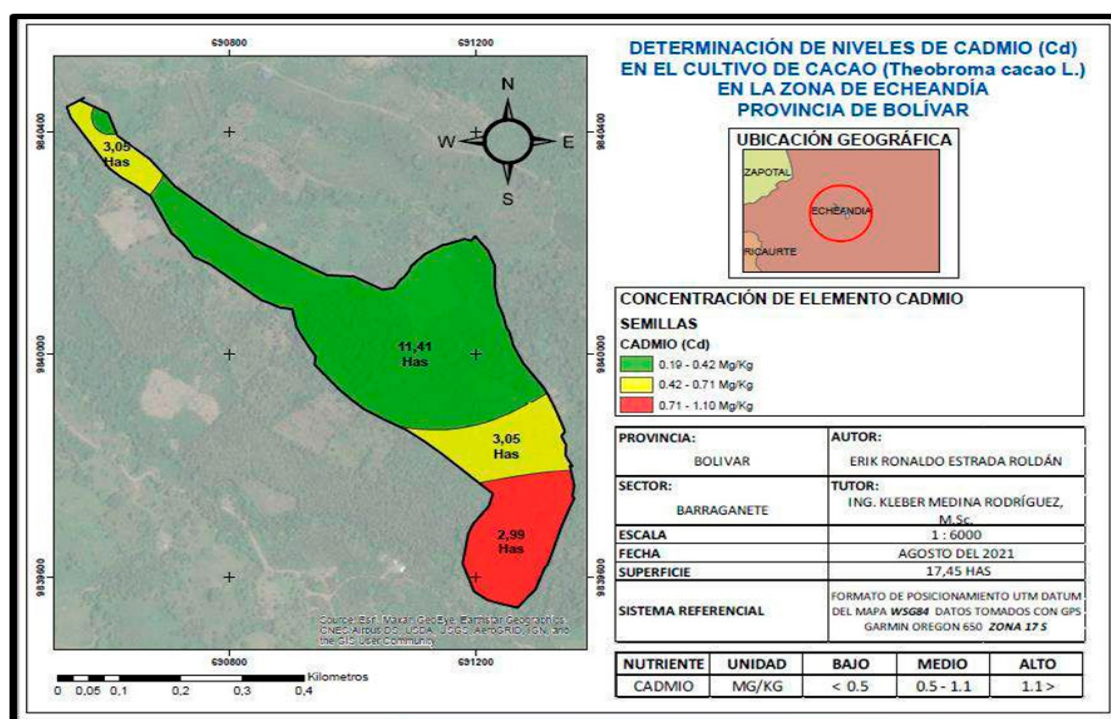


Figura 2. Distribución de cadmio de acuerdo con la concentración en semillas de la hacienda Roldan, cantón de Echeandía, provincia de Bolívar, Ecuador

La acumulación de Cd en la semilla tuvo un comportamiento similar al observado en el suelo, debido a procesos de desorción y adsorción que regulan la translocación de Cd (Chang *et al.*, 2023), se ha documentado. En diversas regiones de Ecuador, se han identificado suelos cultivados con distintos productos agrícolas que presentan contaminación por cadmio (Cd), lo cual en algunos casos puede afectar directamente a los frutos o semillas. Valarezo *et al.* (2022) destacan la necesidad de implementar programas de fitorremediación orientados a la recuperación de estos suelos, como estrategia para mitigar el riesgo de transferencia del metal a los cultivos.

La acumulación de Cd está por debajo de los niveles permitidos, su presencia no garantiza la inocuidad de los derivados, lo cual afecta su calidad por el riesgo potencial de la población consumidora, dado que la exposición a este contaminante causa problemas de salud a largo plazo (Suhani *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021).

Es evidente que la acumulación de cadmio en la semilla se transloca a los productos manufacturado por el sector agroindustrial, lo que atenta contra la comercialización del mismo, dado que de superarse los niveles máximos permitidos se restringirá el acceso a mercado altamente competitivos como el asiático, Estados Unidos y la Unión Europea (Wieck y Grant, 2021; Charry *et al.*, 2023) si bien no se superan los límites, la presencia de este metal impacta de manera negativa la demanda del producto. Se debe migrar a sistemas de producción sostenible de cacao que sustituyan el uso de abonos químicos, es necesario garantizar su valor nutricional, calidad e inocuidad, dado que el mismo es consumido principalmente por la población infantil.

Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian que, si bien los niveles de cadmio (Cd) en el suelo presentaron una media de 1,39 mg kg⁻¹ valor superior al límite establecido por el Código Orgánico del Ambiente (0,5 mg kg⁻¹), ninguna de las muestras analizadas alcanzó concentraciones críticas que comprometan la seguridad del cultivo. Asimismo, los niveles de Cd en almendras de cacao se ubicaron entre 0,19 y 1,11 mg kg⁻¹, rango que se encuentra dentro de los límites permitidos por la Normativa Alimentaria Europea para productos elaborados, lo que garantiza la inocuidad del chocolate y sus derivados agroindustriales.

Estos hallazgos permiten concluir que la producción de cacao en la zona evaluada no representa un riesgo para la salud del consumidor ni para la agroexportación hacia mercados con altos estándares ambientales y sanitarios, como los países de la Unión Europea. No obstante, se recomienda implementar medidas agronómicas preventivas en las áreas donde se registraron las concentraciones más elevadas de Cd, con el fin de preservar la calidad del suelo, asegurar la inocuidad del producto final y fortalecer la competitividad del cacao ecuatoriano en el comercio internacional.

Referencias bibliográficas

- Amponsah-Doku, B., Daymond, A., Robinson, S., Atuah, L. y Sizmur, T. (2022). Improving soil health and closing the yield gap of cocoa production in Ghana—A review. *Scientific African*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01075>
- Barraza, F., Schreck, E., Uzu, G., Lévêque, T., Zouiten, C., Boidot, M. y Maurice, L. (2021). Beyond cadmium accumulation: Distribution of other trace elements in soils and cacao beans in Ecuador. *Environmental Research*, 192, 110241. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110241>
- Blommaert, H., Aucour, A.-M., Wiggerhauser, M., Moens, C., Telouk, P., Campillo, S., Beauchêne, J., Landrot, G., Testemale, D., Pin, S., Lewis, C., Umaharan, P., Smolders, E. y Sarret, G. (2022). From soil to cacao bean: Unravelling the pathways of cadmium translocation in a high Cd accumulating cultivar of Theobroma cacao L. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1055912>
- Borja Abad, K. L., Vite Cevallos, H., Garzón Montealegre, V. J. y Carvajal Romero, H. (2021). Análisis de las exportaciones del cacao ecuatoriano en grano en el periodo 2008 al 2018. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(Suplemento 1), 147–155. <https://doi.org/10.62452/kqjprc07>
- Bravo, D., Santander, M., Rodríguez, J., Escobar, S., Ramtahal, G. y Atkinson, R. (2022). 'From soil to chocolate bar': identifying critical steps in the journey of cadmium in a Colombian cacao plantation. *Food Additives y Contaminants: Part A*, 39(5), 949-963. <https://doi.org/10.1080/19440049.2022.2040747>
- Caiza Alarcón, V. R. (2013). *Plan de Desarrollo Turístico para el cantón Echeandía, provincia de Bolívar*. [Trabajo de Grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Académico Espoch. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2770>
- Carrillo, M. D., Valarezo, J. X., Vera-Benites, L., Rodríguez, D. T. y García-Orellana, Y. (2023). La omisión de nutrientes para la remediación de suelos contaminados con cadmio en cultivos de cacao y arroz. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(21), 109-137. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10390226>
- Carrillo, M. D., Valarezo, J. X., Salazar, K. P., Durango, W. y García-Orellana, Y. (2024). Efecto de omisión de macronutrientes sobre absorción de cadmio en plántulas de arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 55138-55138. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55138>
- Cedeño, E. P. y Dilas-Jiménez, J. O. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Qantu Yachay*, 2(1), 08-15. <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.17>

- Chang, S., Han, L., Chen, R., Liu, Z., Fan, Y., An, X. y Wang, T. (2023). Vulnerability assessment of soil cadmium with adsorption-desorption coupling model. *Ecological Indicators*, 146, 109904. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109904>
- Charry, A., Atkinson, R., Junca, J. J., Perea Ramirez, C., Thomas, E. y Pulleman, M. M. (2023). Effects of the EU food safety regulation on cadmium on the cacao value chains of Colombia, Ecuador, and Peru. Briefing Note No. 4. Cali (Colombia): *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)* 14 p. <https://hdl.handle.net/10568/130296>
- De Oliveira, A. P. F., Milani, R. F., Efraim, P., Morgano, M. A. y Tfouni, S. A. V. (2021). Cd and Pb in cocoa beans: Occurrence and effects of chocolate processing. *Food Control*, 119, 107455. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107455>
- Furcal-Beriguete, P. y Torres-Morales, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(1), 122-137 <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
- Kuhn, M., Tennhardt, L. y Lazzarini, G. A. (2023). Gender Inequality in the Cocoa Supply Chain: Evidence from Smallholder Production in Ecuador and Uganda. *World Development Sustainability*, 2, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2022.100034>
- Maddela, N. R., Kakarla, D., García, L. C., Chakraborty, S., Venkateswarlu, K. y Megharaj, M. (2020). Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *Science of the Total Environment*, 720, 137645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>
- Marincich, L., Protti, M., Mandrioli, R., Mercolini, L. y Woźniak, Ł. (2023). Threat or treat: Exposure assessment and risk characterisation of chemical contaminants in soft drinks and chocolate bars in various Polish population age groups. *EFSA Journal*, 21, e211011. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.e211011>
- Nkouedjo, L. L., Mathe, S., Fon, D. E., Geitzenauer, M. y Manga, A. A. (2020). Cocoa marketing chain in developing countries: How do formal-informal linkages ensure its sustainability in Cameroon?. *Geoforum*, 117, 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.09.005>
- Parada-Gutiérrez, O. y Veloz-Cordero, R. L. (2021). Análisis socioeconómico de productores de cacao, localidad Guabito, provincia Los Ríos, Ecuador. *Ciencias Holguín*, 27(1), 1-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181565709001>
- Rahim, A., Antara, M., Rauf, R. A., Lamusa, A., Safitri, D. y Mulyo, J. H. (2020). Sustainability of cocoa production in Indonesia. *Australian Journal of Crop Science*, 14(6), 997-1003. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.06.p2510>
- Rodríguez-Alfaro, M., Muñoz-Ugarte, O., Araújo-do Nascimento, C. W., Montero-Álvarez, A., Calero-Martín, B. y Martínez-Rodríguez, F. (2022). Rangos permisibles de Cadmio y Plomo en abonos orgánicos utilizados en la producción de alimentos. *Cultivos Tropicales*, 43(1), e01-e01. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1637>
- Rofner, N. F. (2021). Cadmium in soil and cacao beans of Peruvian and South American origin. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(2), 9499-9515. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/91107/79264>
- Sabas, B. Y. S., Danmo, K. G., Madeleine, K. A. T. y Bogaert, J. (2020). Cocoa production and forest dynamics in ivory coast from 1985 to 2019. *Land*, 9(12): 1-12. <https://doi.org/10.3390/land9120524>
- Suh, N. N. y Molua, E. L. (2022). Cocoa production under climate variability and farm management challenges: Some farmers' perspective. *Journal of Agriculture and food Research*, 8, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100282>
- Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V. y Singh, R. P. (2021). Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current opinion in toxicology*, 27, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
- Valarezo, J. X., Carrillo-Zenteno, M. D., Rubio-Zapata, G. A., Peña-Salazar, K. E. y García-Orellana, Y. (2022). Omisión de macronutrientes y biodisponibilidad de cadmio en suelos de Ecuador. *Acta Agronómica*, 71(3), 248-257. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta-agronomica/article/view/105855/95302>
- Vanderschueren, R., Argüello, D., Blommaert, H., Montalvo, D., Barraza, F., Maurice, L., ... y Smolders, E. (2021). Mitigating the level of cadmium in cacao products: Reviewing the transfer of cadmium from soil to chocolate bar. *Science of the Total Environment*, 781, 146779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146779>
- Villacis, A., Alwang, J. y Barrera, V. (2022). Cacao value chains and credence attributes: lessons from Ecuador. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 12(4), 549-566. <https://doi.org/10.1108/JADEE-10-2021-0267>
- Wang, M., Chen, Z., Song, W., Hong, D., Huang, L. y Li, Y. (2021). A review on cadmium exposure in the population and intervention strategies against cadmium toxicity. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 106, 65-74. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03088-1>
- Wei, X., Bai, X., Wen, X., Liu, L., Xiong, J. y Yang, C. (2023). A large and overlooked Cd source in karst areas: The migration and origin of Cd during soil formation and erosion. *Science of The Total Environment*, 895, 165126. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165126>

- Wieck, C. y Grant, J. H. (2021). Codex in motion: food safety standard setting and impacts on developing countries' agricultural exports. *EuroChoices*, 20(1), 37-47. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12293>
- Xinxin, M. O., Siebecker, M. G., Wenxian, G. O. U., Ling, L. I. y Wei, L. I. (2021). A review of cadmium sorption mechanisms on soil mineral surfaces revealed from synchrotron-based X-ray absorption fine structure spectroscopy: Implications for soil remediation. *Pedosphere*, 31(1), 11-27. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60017-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60017-0)
- Xu, L., Xing, X., Cui, H., Zhou, J., Zhou, J., Peng, J., ... y Ji, M. (2021). The combination of lime and plant species effects on trace metals (copper and cadmium) in soil exchangeable fractions and runoff in the red soil region of China. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 638324. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.638324>



Entomofauna dañina presente en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), cantón El Empalme, provincia del Guayas

Damaging entomofauna present in corn crop (*Zea mays* L.), El Empalme canton, Guayas province

Simón Ezequiel Farah Asang , Laura Katherine Mejia Tuárez , Darlyn José Amaya Márquez , Antonio Álava Murillo ,
Pedro José Andrade Alvarado , Javier Ulises Mendoza Thompson

Universidad Agraria del Ecuador

Autor de correspondencia: sfarah@uagraria.edu.ec

Recibido: 16/05/2025. Aceptado: 01/10/2025.

Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

La diversidad de insectos en el cultivo de maíz es variada, el reconocimiento correcto permite diferenciar aquellos que son considerados plagas de los benéficos. Asimismo, la implementación de métodos oportunos de manejo. El objetivo de la presente investigación es detallar la entomofauna dañina presente en el cultivo de maíz definiendo la riqueza y abundancia de los insectos. Nueve especies de insectos de importancia económica fueron identificadas, del orden Lepidoptera: *Agrotis ipsilon*, *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa* sp., orden Coleoptera: *Diabrotica speciosa* y *Sitophilus* sp., orden Hemiptera: *Rhopalosiphum maidis*, *Dalbulus maidis* y *Leptoglossus* sp., y el orden Díptera: *Euxesta* sp. De acuerdo con los índices poblacionales los insectos con mayor ocurrencia en el cultivo fueron *D. maidis*, *R. maidis*, *S. frugiperda* y *D. speciosa*. La riqueza de acuerdo con el índice de diversidad de Menhinick, mostraron un valor de 0,44 en insectos plaga, esto se considera que la diversidad de especies fue baja, por tener los valores están alejado de dos. La abundancia de los insectos plaga en el cultivo de maíz de acuerdo con el índice de dominancia de Simpson fue determinado como baja en el agroecosistema de maíz, es decir, que no existió una especie que predomine sobre las demás. La baja riqueza y diversidad entomológica se relaciona a los sistemas productivos y manejo convencional del cultivo implementados en la zona de estudio.

Abstract

The diversity of insects in corn crops is varied; correct identification allows for differentiating between pests and beneficial insects. Likewise, the implementation of timely management methods is crucial. The objective of this research is to detail the harmful entomofauna present in corn crops, defining the richness and abundance of insects. Nine species of insects of economic importance were identified, from the order Lepidoptera: *Agrotis ypsilon*, *Spodoptera frugiperda*, and *Helicoverpa* sp.; the order Coleoptera: *Diabrotica speciosa* and *Sitophilus* sp.; the order Hemiptera: *Rhopalosiphum maidis*, *Dalbulus maidis*, and *Leptoglossus* sp.; and the order Diptera: *Euxesta* sp. According to population indices, the insects with the highest occurrence in the crop were *D. maidis*, *R. maidis*, *S. frugiperda*, and *D. speciosa*. Richness, according to Menhinick's diversity index, showed a value of 0,44 for insect pests, which is considered low species diversity, as the values are far from two. The abundance of insect pests in corn crops, according to Simpson's dominance index, was determined to be low in the corn agroecosystem, meaning that no single species predominated over the others. The low entomological richness and diversity is related to the production systems and conventional crop management practices implemented in the study area.

Keywords: insect, wealth, abundance, diversity, management.

Palabras clave: insecto, riqueza, abundancia, diversidad, manejo.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo fundamental para la industria alimentaria, este es uno de los cereales de gran importancia mundial por su valor social, cultural y económico (Silva Barrera *et al.*, 2022). La producción de maíz está dirigida en un 80 % de alimento en balanceado, se cultiva la mayor parte en la región litoral provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y Loja, el cual ocupa la mayor superficie sembrada en el Ecuador (Alban *et al.*, 2024; Zambrano y Andrade, 2021).

La producción agrícola está íntimamente relacionado o influenciado por la fauna de artrópodos existente dentro de los agroecosistemas. Este grupo de pequeños animales invertebrados se denomina entomofauna (fauna de insectos) las cuales están incluidos numerosas especies que interactúan entre sí y con el ecosistema en el que se desenvuelven (Hernández-Guanche *et al.*, 2023).

La entomofauna de insectos juega un papel fundamental en aspectos relacionados con el cultivo agrícola, llegando a convertirse en un factor favorable para el agroecosistema como la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo, o llegar a ser una limitante en el desarrollo de los vegetales al convertirse en plagas fitófagas y/o vectores de diferentes fitopatógenos (Fernandez Herrera *et al.*, 2018; Franco Ruiz *et al.*, 2021).

La presencia de insectos plagas y el impacto que causan en los cultivos dependes de múltiples factores, entre ellos condiciones ambientales, la fenología del cultivo y los hábitos del insecto, ya sea alimenticios e inclusive características biológicas. Por otra parte, se reporta que el maíz es afectado por más de 70 especies de insectos plaga estos poseen una gran diversidad en cuanto a coloración, forma, tamaño, modo y sitio de daño (García González *et al.*, 2022). También se pueden diferenciar y ser clasificados como insectos plagas de acuerdo con la parte de la planta que pueden afectar, como las raíces, forraje, mazorca y el grano (Hernández-Trejo *et al.*, 2019).

El principal insecto plaga que afecta al cultivo de maíz en el Ecuador es el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) el cual afecta la parte foliar de la planta y causa daños económicos para la producción, su presencia es recurrente en los cultivares durante todas las etapas de desarrollo de la planta (Munyao Mutyambai *et al.*, 2022). Otra de las plagas importantes es el barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*), muchas veces este insecto pasa por alto por el cual su daño no es tan evidente al producirse dentro del tallo (Caviedes-Cepeda *et al.*, 2022).

A más de las lepidópteras en el cultivo de maíz se presentan insectos plaga del grupo de las hemípteras que a más de alimentarse succionando la sabia de las plantas son transmisores de fitopatógenos y son recurrentes en las diferentes etapas fenológicas del vegetal, entre ellos se encuentra la cigarrita del maíz *Dalbulus maidis* y el áfido *Rhopalosiphum maidis* (Perkovski Machado *et al.*, 2024;

Parmar *et al.*, 2022).

La entomofauna en el cultivo de maíz es de importancia significativa puesto que los insectos presentes del cultivo desempeñan diversos roles en el ecosistema agrícola, debido a sus hábitos pueden tener efectos negativos como positivos en la producción. Reconocer las especies tiene vital importancia para los procesos de manejo de las poblaciones en lo referente a las especies plaga. El objetivo de la presente investigación consiste en detallar la entomofauna dañina presente en el cultivo de maíz mediante el uso de claves taxonómicas definiendo la riqueza y abundancia de los insectos, en el cantón El Empalme provincia de Guayas.

Materiales y métodos

Manejo del experimento

La investigación se realizó en plantación comercial de maíz con un área aproximada de 2,5 hectáreas en la Clemencia cantón el Empalme, provincia de Guayas entre los meses de febrero a julio del 2024. El cultivo se manejó de forma sistema convencional con aplicaciones de insecticidas calendarizadas a los 15, 30 y 45 días posterior a la emergencia de la plántula, entre los grupos químicos utilizados para el cultivo tenemos los fosforados, piretroides, neonicotíneoideos y carbamatos (Cañarte y Navarrete, 2024; Macías, 2019). Las coordenadas de la plantación en la que se realizó el estudio son las siguientes: 1°10'10.0"S 79°45'00.0"W. El presente trabajo fue considerado de tipo descriptivo, el cual se enfocó en utilizar metodologías de colecta de insectos de tipo directa e indirecta, para posterior identificación en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de maíz.

Captura e identificación de especímenes de insectos

La captura o trapeo de los especímenes de insectos se realizaron durante todo el ciclo del cultivo comenzando posterior al décimo día de emergencia de la planta. Se realizaron muestreos en intervalos de 15 días con una totalidad de 8 monitoreos durante las diferentes fases fenológicas del cultivo. Para el muestreo se utilizaron diferentes métodos de colecta como el uso de trampas cromáticas amarillas (25 x 25 cm) mismas que se colocaron a una altura de 1,5 metros con un número de 5 por hectárea debidamente distribuidas, las trampas se colectaron y renovaron en cada inspección o muestreo. En la captura directa de los insectos se utilizó red entomológica realizando pases dobles en 5 sitios diferentes por hectárea (Gutiérrez-Bustamante *et al.*, 2023; Franco Ruiz *et al.*, 2021).



Figura 1. Técnicas de captura de insectos: a) trampas cromáticas; b) red entomológica; c) succionador entomológico y d) captación directa

En el uso succionador entomológico y la captación directa con pinzas, se establecieron 5 puntos de inspección por hectárea abarcando un área de un 1 m² por sitio, se tomaron 4 plantas de forma aleatoria y se evaluó la totalidad de estas (Figura 1) (Gutiérrez-Bustamante *et al.*, 2023; López Gale *et al.*, 2022). Para el transportar de los especímenes se utilizó frascos de vidrio o plástico conteniendo alcohol al 70 % con su correspondiente identificación y para los insectos de los órdenes Lepidóptera y Odonata se utilizaron sobres de papel (Loáisiga Jarquín y Jiménez-Martínez, 2022; Márquez-Luna *et al.*, 2022).

La identificación morfológica de los insectos se realizó en los laboratorios de Entomología de la Universidad Agraria del Ecuador siguiendo el procesamiento correspondiente en la preparación y contabilización de los especímenes utilizando claves taxonómicas, dicotómicas, descripciones originales como guía básica de entomología, colecciones de insectos, artículos científicos y la colaboración de especialistas del área de Entomología pertenecientes a la Universidad Agraria del Ecuador.

Índices poblacionales de especies

Con la finalidad de determinar el comportamiento de los diferentes insectos plagas del cultivo de maíz se efectuó un análisis de los índices poblacionales de las especies, refiriendo a la abundancia, frecuencia relativa, constancia y la dominancia de cada grupo de estos (Ramos-Peña *et al.*, 2019).

Para definir la constancia de cada especie durante el periodo de la investigación, se aplicó el índice de constancia, donde las especies constantes (C) fueron aquellas que se

presentaron en más del 50 % de los monitoreos, comunes (c) especies que se presentaron entre el 25 y 50 % en las semanas de monitoreo y por último se consideró como raras (r) las especies que se presentaron menos del 25 % en las semanas monitoreadas (Nolasco y Iannaccone, 2008; Ramos-Peña *et al.*, 2019).

Para el análisis de la incidencia y poblaciones de los insectos plaga en el cultivo en el presente estudio se usó expresiones matemáticas con el fin de evaluar la riqueza y abundancia de insectos colectado durante el periodo previsto.

Considerando la riqueza al número total de especies presentes en un determinado lugar, se efectuó el índice de diversidad de Menhinick, el cual es una medida utilizada para este tipo de análisis, se calcula dividiendo el número total de especies presentes para el número total de individuos encontrados en el lugar. Cuanto mayor sea el número de especies de insectos, mayor es el cálculo de la riqueza de estas especies (Manzanilla Quijada *et al.*, 2020). (ver Ecuación 1).

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

Donde:

DMH = índice de diversidad de Menhinick

S= número de especies

N= número total de individuos

La abundancia de especies es la cantidad de individuos de una especie específica que se encuentran en un lugar.

Para efectuar este estudio de la abundancia de especies se determinó mediante dos parámetros. El primero es el índice de Dominancia de Simpson que sirve para evaluar cuan dominante o diversa es la especie con mayor valor en ese sitio, si el índice es alto significa que el número de especies son muy comunes en esa área y si es bajo; es decir, que las especies están de forma equitativa distribuidas (Manzanilla Quijada *et al.*, 2020) (ver Ecuación 2).

$$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \quad (2)$$

Donde:

D= índice de Simpson

n= número total de organismos de una especie

N= número total de organismos de todas las especies

Resultados

Los resultados muestran una diversidad de nueve especies considerados como plaga del cultivo de maíz en las diferentes etapas fenológicas en la Clemencia, cantón El Empalme, provincia de Guayas. Entre las especies identificadas pertenecientes al orden Hemiptera como *Dalbulus maidis*, *Rhopalosiphum maidis*, *Leptoglossus* sp., para la lepidópteras se identificaron los noctuides *Agrotis ipsilon*, *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa* sp. Entre los coleópteros se identificaron *Diabrotica speciosa* y *Sitophilus* sp. y en la

díptera la mosca de la espiga *Euxesta* sp. A continuación, se muestra la abundancia de los insectos en los diferentes intervalos de monitoreo (Tabla 1).

En la Figura 2 la fluctuación poblacional muestra que los insectos plaga se presentaron una mayor diversidad e incidencia en la etapa vegetativa del cultivo entre los 25 días y 70 días posterior a la emergencia de la planta, considerando que el mayor número de capturas ocurrieron durante la etapa fenológica de desarrollo del vegetal antes mencionado (Figura 2).

Los datos muestran una clara variación en la incidencia y distribución de los insectos plaga en función de los estados fenológicos del vegetal. Los resultados denotan la etapa vegetativa inicial e intermedia (25 a 70 DDE) como el periodo crítico, mostrando a este intervalo la mayor presión de especies de insectos fitófagos de importancia económica del cultivo.

Índices poblacionales de especies

En la Tabla 2 los datos muestran los índices poblacionales de los insectos plaga, teniendo al grupo de los hemipteros *D. maidis* y *R. maidis* con la mayor cantidad de capturados, así como, una mayor incidencia durante los diferentes intervalos de monitoreo, por lo tanto, se consideran especies constantes (C) dentro del cultivo, al igual que la *S. frugiperda* y *D. speciosa*. Por otra parte, el gusano trozador *A. ipsilon* la especie fue considerada como rara (r) debido al porcentaje de constancia obtenido, las demás especies de insectos plaga se consideraron como especies comunes (c) de acuerdo con la frecuencia en la incidencia durante todo el periodo de desarrollo del cultivo del maíz.

Tabla 1. Abundancia de insectos plaga en el cultivo del maíz

Especie	Monitoreo / Insectos capturados								TOTAL
	10 *DDE	25 DDE	40 DDE	55 DDE	70 DDE	85 DDE	100 DDE	115 DDE	
<i>Agrotis ipsilon</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Dalbulus maidis</i>	2	22	41	47	28	20	15	0	175
<i>Diabrotica speciosa</i>	2	5	13	10	11	5	1	0	47
<i>Spodoptera frugiperda</i>	1	4	7	16	10	0	0	0	38
<i>Rhopalosiphum maidis</i>	0	0	27	39	36	18	0	0	120
<i>Euxesta</i> sp.	0	0	0	10	2	6	1	1	20
<i>Leptoglossus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	4	3	7
<i>Helicoverpa</i> sp.	0	0	0	0	0	5	1	0	6
<i>Sitophilus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	2	7	9

*Días después de la emergencia del maíz

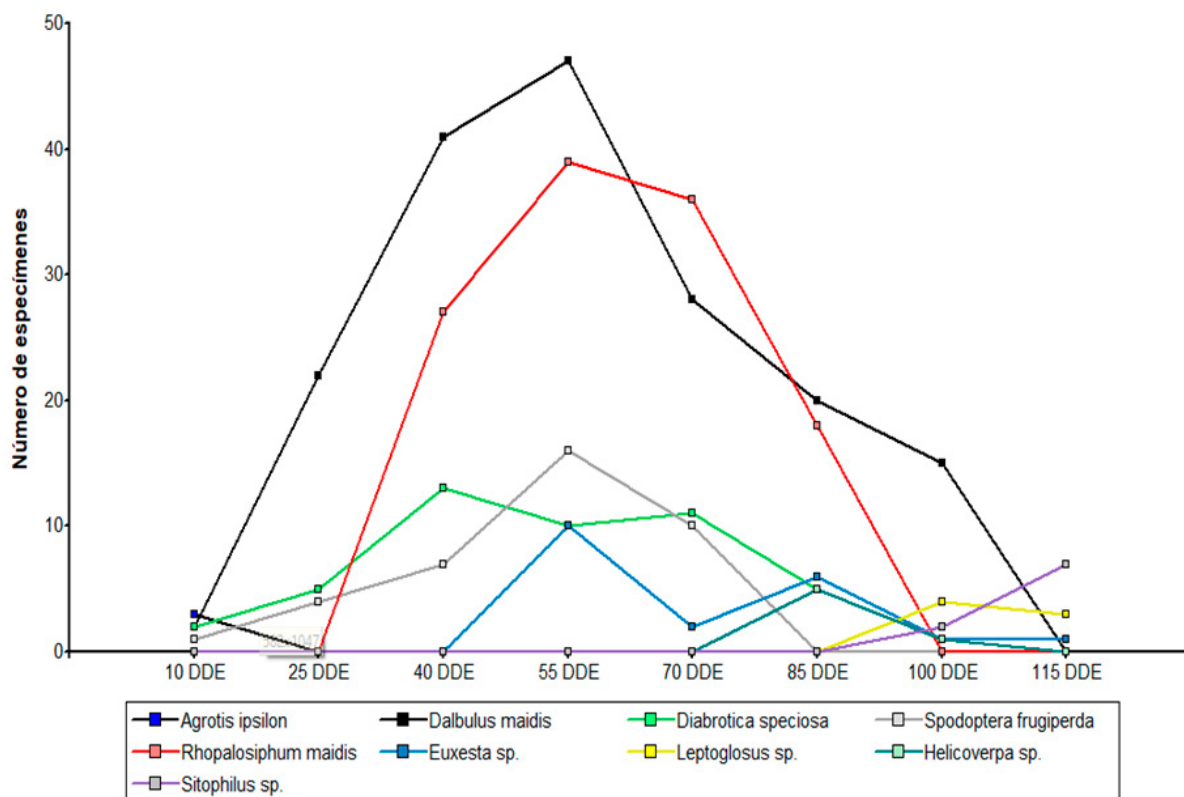


Figura 2. Incidencia de insectos plaga en el cultivo de maíz

Tabla 2. Índice poblacional de insectos plaga en el cultivo de maíz

Especie	Abundancia (n)	Frecuencia relativa (%)	Constancia (%)
<i>Agrotis ipsilon</i>	3	0,71	12,50 (r)
<i>Dalbulus maidis</i>	175	41,18	87,50 (C)
<i>Diabrotica speciosa</i>	47	11,06	87,50 (C)
<i>Spodoptera frugiperda</i>	38	8,94	62,50 (C)
<i>Rhopalosiphum maidis</i>	120	28,24	50,00 (c)
<i>Euxesta</i> sp.	20	4,71	62,50 (C)
<i>Leptoglossus</i> sp.	7	1,65	25,00 (c)
<i>Helicoverpa</i> sp.	6	1,41	25,00 (c)
<i>Sitophilus</i> sp.	9	2,18	25,00 (c)
Total	425	100	-

Riqueza de insectos plaga

El resultado en el índice de diversidad de Menhinick ($S/\sqrt{N}$) para la diversidad de especies muestran un valor de 0,44 definiendo una diversidad baja, esto porque el valor DMH está por debajo de dos, por tanto, la zona de estudio tiene una baja

riqueza respecto a las especies de insectos plaga o dañinas que se presentaron en el cultivo de maíz (Tabla 3).

Tabla 3. Riqueza de insectos plaga en el cultivo de maíz

Especie	Número de especies	Número de especímenes
<i>Agrotis ipsilon</i>	1	3
<i>Dalbulus maidis</i>	1	175
<i>Diabrotica speciosa</i>	1	47
<i>Spodoptera frugiperda</i>	1	38
<i>Rhopalosiphum maidis</i>	1	120
<i>Euxesta</i> sp.	1	20
<i>Leptoglossus</i> sp.	1	7
<i>Helicoverpa</i> sp.	1	6
<i>Sitophilus</i> sp.	1	9
Total	9	425
DMH*		0,44

Índice de diversidad de Menhinick*

Tabla 4. Abundancia de insectos plaga en el cultivo de maíz

Especie	Número de especímenes	Abundancia relativa (pi)	pi²
<i>Agrotis ipsilon</i>	3	0,01	0,00
<i>Dalbulus maidis</i>	175	0,41	0,17
<i>Diabrotica speciosa</i>	47	0,11	0,01
<i>Spodoptera frugiperda</i>	38	0,09	0,01
<i>Rhopalosiphum maidis</i>	120	0,28	0,08
<i>Euxesta</i> sp.	20	0,05	0,00
<i>Leptoglossus</i> sp.	7	0,02	0,00
<i>Helicoverpa</i> sp.	6	0,01	0,00
<i>Sitophilus</i> sp.	9	0,02	0,00
	425	*D	0,27
		**1-D	0,73

*Índice de dominancia de Simpson

**Índice de diversidad de Simpson

Abundancia y dominancia de insectos plaga

Los resultados respecto a la abundancia de acuerdo con el análisis del índice de Dominancia de Simpson muestran que entre las especies de plaga en el cultivo no existe una que predomine sobre las demás. El resultado obtenido fue de 0,27 en el índice de dominancia de Simpson al estar lejano de 1, esto indica que no existe dominancia de especies (Tabla 4). Por otra

parte, existe una diversidad alta de especies de acuerdo con el índice de diversidad de Simpson. Los resultados muestran a las especies *Dalbulus maidis* y *Rhopalosiphum maidis* con mayor número de capturas con 175 y 120 especímenes.

Discusión

En la presente investigación se realizó evaluación entomológica en el cultivo de maíz en la localidad de la Clemencia en el cantón El Empalme - Guayas, donde se capturaron e identificaron nueve especies de insectos dañinos en diferentes etapas fenológicas del cultivo. Las especies del grupo de las lepidópteras fueron *Agrotis ipsilon* (gusano trozador), *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero del maíz) y *Helicoverpa* sp. (gusano de la mazorca). Esto concuerda con trabajo realizado por Guzmán Prada et al. (2016), donde se identifica los diferentes estadios larvales y adultos de lepidópteras de la familia de los noctuideos, de igual manera Cruz-Esteban et al. (2021) mencionan la presencia de *S. frugiperda*, mientras que Rodingpua y Lalthanzara (2021) la presencia de *A. ipsilon* en las etapas iniciales de desarrollo del cultivo.

Para la orden Coleoptera se identifican a *Diabrotica speciosa* y *Sitophilus* sp., para la orden Díptera *Euxesta* sp. Esto concuerda con Cabrera Walsh et al. (2020) y Stuhl y Romero (2021) quienes describe a *D. speciosa* y al gorgojo *Sitophilus zeamais* como plaga del cultivo. Entre los hemípteros tenemos a *Rhopalosiphum maidis*, *Dalbulus maidis* y *Leptoglossus* sp. Tepole-García et al. (2016), menciona que, el chinche *Leptoglossus* sp. afecta a varios cultivos incluyendo el maíz, por otra parte, en trabajo realizado por Guo et al. (2023), se describen mediante análisis genéticos diversas especies *Rhopalosiphum* presentes como plaga en el cultivo de maíz en China y Europa.

Los índices poblacionales mostraron a los insectos *D. maidis*, *R. maidis*, *S. frugiperda* y *D. speciosa* como especies constantes y las demás especies como comunes a excepción del gusano trozador *A. ipsilon* que se mostró como una especie rara al no ser frecuente su presencia en los diferentes intervalos de monitoreo realizados. En concordancia con Chirinos et al. (2024) la presencia de insectos dañinos como *D. maidis*, *R. maidis*, *S. frugiperda* y *D. speciosa* es constante en diferentes etapas de desarrollo del cultivo de maíz.

S. frugiperda es una de las especies de mayor relevancia en el cultivo de maíz, la cual se presentó durante la mayoría de los monitoreos entre los 10 a 70 DDE teniendo una presencia representativa en la fase vegetativa del cultivo. Este concuerda con Omeregíe et al. (2023) y Supartha et al. (2021), donde se estudió la dinámica de *S. frugiperda* y se mostró la ocurrencia del insecto en diferentes estadios de desarrollo durante los monitoreos semanales desde el establecimiento del cultivo hasta la décima semana en el desarrollo del vegetal.

Para el presente trabajo la riqueza de insectos plaga de acuerdo con el índice de diversidad de Menhinick se considera baja, teniendo la mayor incidencia de especies en la fase vegetativa del cultivo, lo que comprende entre los 25 a 70 días después de la emergencia del vegetal. Esta baja diversidad entomológica se relaciona a los sistemas monocultivo de producción que se implementan en la zona de estudio, lo que favorece solo a ciertos grupos de insectos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por García González *et al.* (2022), donde se evaluó la biodiversidad de insectos en sistemas de policultivo de maíz, el análisis de la diversidad con el índice de Shannon – Wiener determinando que existió una baja biodiversidad de insectos, mostrando para el sistema de monocultivo la menor diversidad de especies.

El valor en el índice de dominancia de Simpson no mostró una especie dominante, considerando que los hemípteros mostraron mayor número de capturas sobre las demás especies. Esto se relaciona al manejo convencional de plagas con la aplicación calendarizada de insecticidas que se implementa en la localidad de estudio, lo que implicó una baja población y diversidad de especies de insectos. En contraste, en trabajo realizado por Otieno *et al.*, (2022), donde los sistemas convencionales de producción de maíz tipo monocultivo a gran escala mostraron riqueza y diversidad baja de insectos en relación con sistemas agrícolas tradicionales con menor uso de insumos resultó en una mayor riqueza, uniformidad y abundancia de especies herbívoras y depredadores.

Conclusiones

La variación en la aparición de las especies de insectos plaga en el cultivo de maíz dependió de su etapa fenológica. La incidencia y distribución de las especies mostró una comunidad baja en cuanto a la riqueza y dominancia, teniendo una mayor presión entomológica durante la etapa vegetativa del cultivo, por lo que hace prescindible implementar estrategias de manejo durante esta etapa de desarrollo del vegetal. Los resultados constatan una comunidad de insectos plaga reducida que se ve influenciada por factores agroecológicos, sistema productivo y las prácticas convencionales en el manejo del cultivo de maíz del sector de estudio.

Referencias bibliográficas

- Alban, G., Velásquez, J., Carvajal, F. y Caviedes, M. (2024). Estudio de la eficiencia productiva del maíz amiláceo y duro (*Zea mays* L.) en Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 16(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3401>
- Cabrera Walsh, G., Ávila, C., Cabrera, N., Dori, N., Pinto, A. y Weber, D. (2020). Biology and Management of Pest Diabrotica Species in South America. *Insects*, 11(7), 421. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/insects11070421>
- Cañarte, E. y Navarrete, B. (2024). Insectos-plaga del maíz duro y alternativas para su manejo integrado en el Litoral ecuatoriano. 1era. Ed. Manual N° 137. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/5116644a-33e6-443d-81d2-042a2028e2be>
- Caviedes-Cepeda, M., Carvajal-Larenas, F. y Zambrano-Mendoza, J. (2022). Generación de tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588>
- Chirinos, D. T., Sánchez-Mora, F., Zambrano, F., Castro-Olaya, J., Vasconez, G., Cedeño, G., Pin, K., Zambrano, J., Suarez-Navarrete, V., Proaño, V., Mera-Macías, J. y Vasquez, C. (2024). Entomofauna associated with corn cultivation and damage caused by some pests according to the planting season on the Ecuadorian coast. *Agronomy*, 14(4), 748. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040748>
- Cruz-Esteban, S., Hernández-Ledesma, P., Malo, E. y Rojas, J. (2021). Cebos feromonaes para la captura de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) (Lepidoptera: Noctuidae) en cultivos de maíz adyacentes a cultivos de fresas. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 36(1), 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612255>
- Fernandez Herrera, C. R., Pérez García, K. D. y Bedoya Cano, A. (2018). Diversidad de la entomofauna asociada a vegetación alemana a cultivos de arroz, maíz y algodón. *Temas Agrarios*, 23(2), 107-120. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1295>
- Franco Ruiz, A., Veliz Prado, K., Solís Bowen, L. y Celi Soto, A. (2021). Identificación de la entomofauna presente en el cultivo de pimiento en el sector Lodana del cantón Santa Ana, Ecuador. *Manglar*, 18(4), 397-402. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8181197>
- García González, M. T., Rodríguez Coca, L. I., Fernández Cancio, Y., Rodríguez Jáuregui, M. M. y Gil Unday, Z. (2022). Insect biodiversity in maize polyculture systems (*Zea mays* L.). *Ecosistemas*, 31(3), 2400. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2400>
- Guo, J., Lin, J., Massart, S., He, K., Francis, F. y Wang, Z. (2023). Analysis of the Genetic Diversity of Two *Rhopalosiphum* Species from China and Europe Based on Nuclear and Mitochondrial Genes. *Insects*, 14(1), 57. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/insects14010057>
- Gutiérrez-Bustamante, S., Salazar-Salinas, K., Montes, I. y Dueñas-Davila, A. (2023). Insectos asociados a trampas cromáticas en seis cultivares de lechuga (*Lactuca sativa*) con manejo orgánico en un huerto agrícola de la costa peruana. *BIOTEMPO*, 20(1), 11-19. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v20i1.5605>

- Guzmán Prada, D. A., Rodríguez Chalarca, J. y Valencia Cataño, S. J. (2016). Identificación de estadios larvales de lepidópteros: Plaga de Maíz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/76340>
- Hernández-Trejo, A., Estrada Drouaillet, B., Rodríguez-Herrera, R., García Giron, J. M., Patiño-Arellano, S. A. A. y Osorio-Hernández, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(4), 803-813. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>
- Hernández-Guanche, L., Santana-Baños, Y., Dago-Dueñas, Y., Hernández Carballo, R. y Busto-Concepción, A. D. (2023). Entomofauna benéfica en la diversidad arbórea de la agricultura urbana en Pinar del Río, Cuba. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(5), 120-125. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3404>
- Loáisiga Jarquín, F. L. y Jiménez-Martínez, E. (2022). Abundancia, riqueza y diversidad de insectos asociados al cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) en Matagalpa, Nicaragua. *La Calera*, 22(39), 110-117. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i39.14807>
- López Gale., Y., Carrascal-Pérez, F., Pulgarín Díaz, J. A., Burbano-Figueroa, O. y Arcila Cardona, Á. (2022). Insectos fitófagos asociados a plantaciones de aguacate (*Persea americana* Mill.) en la región Caribe colombiana. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882022000200002
- Macías Ferrín, E. V. (2019). Efectos del control químico para el manejo de insectos plagas en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el Cantón Buena Fe. [Tesis Pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4340>
- Manzanilla Quijada, G. E., Mata Balderas, J. M., Treviño Garza, E. J., Aguirre Calderón, Ó. A., Alanís Rodríguez, E., y Yarena Yamallel, J. I. (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(61), 103-105. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322020000500094
- Márquez-Luna, J., Manríquez-Morán, N. L., Castillo-Cerón, J. M., y Goyenechea, I. (2022). Colecciones entomológicas: importancia y problemática. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 30(86). <https://doi.org/10.33064/iycuaa2022863624>
- Mutyambai, D. M., Niassy, S., Calatayud, P.-A. y Subramanian, S. (2022). Agronomic factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestation and damage and its co-occurrence with stemborers in maize cropping systems in Kenya. *Insects*, 13(3), 266. <https://doi.org/10.3390/insects13030266>
- Nolasco, N. y Iannacone, J. (2008). Fluctuación estacional de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) en trampas McPhail en Piura y en Ica, Perú. *Acta zoológica mexicana*, 24(3), 33-44. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372008000300003&script=sci_abstract
- Omoregie, M. E., Enobakhare, D. A. y Omoregie, A. O. (2023). Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae) on early and late season maize. *Animal Research International*, 20(1), 4734-4740. <https://www.ajol.info/index.php/ari/article/view/246971>
- Otieno, N. E., Jacobs, S. M. y Pryke, J. S. (2022). Small-scale traditional maize farming fosters greater arthropod diversity value than conventional maize farming. *Journal of Insect Conservation*, 20(1), 477-489. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12345788>
- Parmar, R. H., Dabhi, M. R. y Patel, N. B. (2022). Biology of corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) infesting maize. *Food and Nutrition Science-An International Journal*, 6. 11-15. <https://www.iasos.org/home/cafnsij/biology-of-corn-leaf-aphid-rhopalosiphum-maidis-fitch-infesting-maize>
- Perkovski Machado, E., Vieira Souza, E., Silva Dias, G., Gerage Sacilotto, M. y Omoto, C. (2024). Is insecticide resistance a factor contributing to the increasing problems with *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) in Brazil?. *Pest Management Science*, 80(10), 5120-5130. <https://doi.org/10.1002/ps.8237>
- Ramos-Peña, Á. M., Yábar-Landa, E. y Ramos-Peña, J. C. (2019). Diversidad, fluctuación poblacional y hospedantes de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) en el valle de Abancay, Apurímac, Perú. *Acta zoológica mexicana*, 35. <https://doi.org/10.21829/azm.2019.3501208>
- Rodinguipa, C. y Lalthanzara, H. (2021). An insight into black cutworm (*Agrotis ipsilon*): A glimpse on globally important crop pest. *Science Vision*, 21(2), 36-42. <https://doi.org/https://doi.org/10.33493/scivis.21.02.02>
- Silva Barrera, C. L., Cote Daza, S. P. y Barón Chivara, J. A. (2022). Importancia del maíz en el turismo gastronómico en cuatro municipios de Cundinamarca, Colombia. *Equidad Y Desarrollo*, 40, e1510. <https://doi.org/10.19052/eq.voll.iss40.8>
- Stuhl, C. J., y Romero, M. (2021). Attraction of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) to four host plants. *Florida Entomologist*, 104(3), 158-161. <https://journals.flvc.org/flaent/article/view/124517>

- Supartha, I. W., Sunari, A. A. A. S., Krisna, I. G. P. B., Yudha, I. K. W., Mahaputra, I. G. F. y Wiradana, P. A. (2021). Invasion, population development, and attack intensity of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on two varieties corn in Serongga village, Gianyar Regency, Bali-Indonesia. *Technology Report of Kansai University*, 63(1), 645-654. <https://www.researchgate.net/profile/I-Wayan-Supartha/publication/348945653>
- Tepole-García, R. E., Ramírez-Rojas, S., Bartolo-Reyes, J. C. y Castrejón-Gómez, V. R. (2016). Ciclo de vida y análisis de riesgo climático de *Leptoglossus zonatus* dallAa (Hemiptera: Coreidae) para las zonas productoras de sorgo en el estado Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 32(3), 300-309. <https://doi.org/10.21829/azm.2016.323965>
- Zambrano, C. E., y Andrade Arias, M. S. (2021). Productividad y precios de maíz duro pre y post Covid-19 en el Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 143-150. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202021000400143&script=sci_arttext



Efecto de la enzima transglutaminasa microbiana (*Streptomyces mobaraensis*) en la reestructuración de fragmentos de atún (*Thunnus albacares*) cocido

Effect of microbial transglutaminase (*Streptomyces mobaraensis*) on the restructuring of cooked tuna (*Thunnus albacares*) fragments

Josselyn Nicole Miele Quiñónez, José Luis Coloma Hurel

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

Autor de correspondencia: josselyn.miele@pg.uleam.edu.ec

Recibido: 22/07/2025. Aceptado: 14/10/2025.
Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

El proceso industrial de pescado, especialmente de atún, genera grandes volúmenes de subproductos como fragmentos de carne que, pese a su alto valor nutricional, presentan limitaciones tecnológicas para su aprovechamiento óptimo. Este estudio evaluó el uso de la enzima transglutaminasa microbiana como agente reestructurante para mejorar las propiedades funcionales de los fragmentos de atún cocido. Se analizó el efecto de diferentes concentraciones de transglutaminasa (0,5 % y 1,0 %) sobre las propiedades fisicoquímicas de fragmentos de atún reestructurado durante 7 días de almacenamiento refrigerado. El diseño experimental incluyó cuatro tratamientos (Control sin fragmentación, fragmentos sin enzima, y fragmentos tratados con 0,5 % y 1,0 % de TG). Los análisis incluyeron perfil de textura, estabilidad cromática y capacidad de retención de líquidos, presentándose resultados que demostraron mejoras sustanciales en múltiples propiedades funcionales. En términos de textura, la enzima incrementó significativamente la dureza, cohesividad y gomosidad, comparado con fragmentos no tratados. Paralelamente, la capacidad de retención de agua y aceite mostró incrementos progresivos con la concentración enzimática, alcanzando valores máximos con el tratamiento al 1,0 % ($88,87 \pm 0,01$ % para agua y $87,13 \pm 0,01$ % para aceite). Adicionalmente, la transglutaminasa mitigó las alteraciones cromáticas asociadas con la fragmentación del tejido muscular, preservando la estabilidad visual durante el almacenamiento. La concentración de 0,5 % se identificó como óptima desde el punto de vista funcional, mientras que concentraciones superiores ofrecieron beneficios marginales. Estos hallazgos establecen una base tecnológica para el desarrollo de productos reestructurados confirmando la efectividad de la transglutaminasa microbiana.

Palabras clave: enzimas alimentarias, aprovechamiento proteico, subproductos marinos, propiedades fisicoquímicas, sostenibilidad alimentaria.

Abstract

Industrial fish processing, especially tuna, generates large volumes of by-products such as meat fragments which, despite their high nutritional value, present technological limitations for optimal utilization. This study evaluated the use of microbial transglutaminase as a restructuring agent to improve the functional properties of the cooked tuna fragments. The effect of different enzyme concentrations (0.5 % and 1.0 %) on the physicochemical properties of restructured tuna fragments was analyzed over a 7-day period of refrigerated storage. The experimental design included four treatments (Control without fragmentation, fragments without enzyme, and fragments treated with 0.5 % and 1.0 % TG). Analyses included texture profile, instrumental color stability, and liquid retention capacity. The results demonstrated substantial improvements in multiple functional properties. In textural terms, the enzyme significantly increased hardness, cohesiveness, and gumminess compared to untreated fragments. Simultaneously, water and oil retention capacity showed progressive increases with enzyme concentration, reaching maximum values with the 1.0 % treatment (88.87 ± 0.01 % for water and 87.13 ± 0.01 % for oil). Additionally, transglutaminase reduced chromatic alterations associated with muscle tissue fragmentation, preserving visual stability during storage. The 0.5 % concentration was identified as the most optimal, providing significant improvements in all evaluated properties, while higher concentrations offered marginal benefits. These findings establish a solid technological basis for development of restructured products, confirming the effectiveness of microbial transglutaminase.

Keywords: food enzymes, protein utilization, marine by-products, physicochemical properties, food sustainability.

Introducción

El procesamiento industrial de pescado, especialmente del atún, genera considerables volúmenes de subproductos como fragmentos de carne que, si bien poseen un alto valor nutricional, son comúnmente subutilizados o destinados a productos de bajo valor agregado (Añorve *et al.*, 2019).

Esta problemática se intensifica cuando se considera que la fragmentación del tejido muscular compromete inherentemente las propiedades funcionales de las proteínas, limitando las opciones de procesamiento posterior y reduciendo significativamente el potencial de revalorización de estos materiales.

Tradicionalmente, los enfoques de aprovechamiento, como la elaboración de harinas proteicas o alimentos para acuicultura, si bien son útiles, no maximizan el valor intrínseco de estas proteínas estructurales (Arteaga *et al.*, 2022). Dentro de este contexto, la reestructuración proteica mediante el uso de enzimas se plantea como una alternativa prometedora para transformar estos subproductos fragmentados en productos con propiedades funcionales optimizadas (Valencia *et al.*, 2015).

Entre las alternativas tecnológicas más estudiadas en los últimos años se encuentra el uso de transglutaminasa microbiana (TG), la cual ha demostrado ser eficaz en la revalorización de productos reestructurados debido a su capacidad específica para catalizar la formación de enlaces covalentes γ -glutamil-lisina entre residuos de glutamina y lisina de las proteínas musculares, generando una matriz proteica más cohesiva y estable (Panuncio *et al.*, 2013; Rodríguez Castillejos *et al.*, 2013; Erdem *et al.*, 2020).

La aplicación de la enzima transglutaminasa en productos reestructurados ha sido ampliamente documentada en diversas matrices proteicas, mostrando resultados prometedores en la mejora de propiedades tecnológicas. Por ejemplo, Le *et al.* (2023) evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de transglutaminasa (0,25 – 1,0 U/g de proteína) en pasta enriquecida con fibra, observando que la concentración óptima de 0,75 U/g de proteína redujo pérdidas por cocción en un 19 % y mejoró la resistencia de tracción y tasa de elongación en un 15 % y 49 %, respectivamente.

De manera similar, Kaić *et al.* (2021) reportaron que la adición de transglutaminasa (0,2 – 1,0 %) en carne de pollo reestructurada redujo significativamente las pérdidas por cocción en hasta un 15 % y disminuyó la fuerza de corte, mejorando considerablemente la textura del producto.

Adicionalmente, Ardiansyah *et al.* (2020) al trabajar con fragmentos de atún amarillo, determinaron que la concentración de 0,5 % de transglutaminasa en presencia de 1,5 % de sal produjo productos reestructurados con propiedades fisicoquímicas superiores y aceptabilidad sensorial comparable al atún comercial.

Por su parte, Pietrazik *et al.* (2007) demostraron que la transglutaminasa interactúa sinérgicamente con proteínas

no cárnicas como caseinato de sodio y plasma sanguíneo, mejorando significativamente las propiedades de retención de agua y firmeza de geles de cerdo, con incrementos hasta un 80 % en la fuerza del gel cuando se utilizó caseinato de sodio como sustrato.

Sin embargo, la aplicación específica de transglutaminasa en fragmentos de atún cocido, especialmente aquellos provenientes de procesamiento industriales tipo conserva, ha sido escasamente abordada en la literatura científica. A diferencia de los estudios existentes centrados principalmente en matrices crudas o parcialmente cocidas, no se dispone de información suficiente que describa cómo esta enzima actúa sobre subproductos sometidos a desnaturalización térmica avanzada, ni cómo esta interacción afecta simultáneamente las propiedades texturales, cromáticas y funcionales del producto final. Esta carencia representa un vacío de conocimiento significativo que limita el desarrollo de estrategias tecnológicas orientadas a la revalorización de este tipo de materia prima.

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes concentraciones de transglutaminasa sobre las propiedades fisicoquímicas de fragmentos de atún cocido reestructurados, con especial énfasis en la caracterización del perfil de textura, estabilidad cromática y capacidad funcional durante el almacenamiento refrigerado, contribuyendo así al conocimiento sobre la revalorización de subproductos marinos y a la generación de nuevas alternativas tecnológicas para su aprovechamiento integral.

Materiales y métodos

Materia prima

Se emplearon fragmentos de carne de atún (*Thunnus albacares*) cocido, obtenidos como subproducto del procesamiento industrial de una pequeña empresa procesadora de conservas de atún en Manta (Ecuador). Los fragmentos correspondían al material excedente del proceso de envasado.

La materia prima había sido previamente cocida mediante tratamiento térmico en agua con sal con concentración del 2,5 % en peso de agua a temperaturas entre 80° – 85 °C durante 45 – 50 minutos, siguiendo los procedimientos estándar de la empresa antes de la adición del líquido de gobierno (Del Mar, 2021). Este procesamiento térmico garantizó la inocuidad microbiológica y desnaturalización parcial de las proteínas musculares, características deseables para este estudio.

Los fragmentos iniciales presentaron dimensiones de 2 – 4 cm de grosor y 6 – 8 cm de largo aproximadamente, con consistencia firme y estructura muscular característica del atún procesado térmicamente. Una porción de estos fragmentos se reservó intacta para utilizarse como muestra control (T0), mientras que el resto fue desmenuzado mecánicamente para obtener fragmentos de menor tamaño destinados a los tratamientos de reestructuración (T1, T2 y T3).

La selección de este tipo de materia prima se fundamentó en su disponibilidad, homogeneidad de procesamiento y representatividad como modelo de subproducto industrial con potencial de revalorización. Las muestras fueron transportadas en condiciones refrigeradas y almacenadas a 4 ± 1 °C hasta su procesamiento dentro de un máximo de 24 horas posteriores a su obtención.

Insumos y reactivos

La enzima utilizada fue transglutaminasa microbiana obtenida de *Streptomyces mobaraensis* bajo la marca Activa RM (Ajinomoto Food Ingredients), un preparado comercial compuesto por la enzima, caseinato de sodio y maltodextrina como estabilizantes, con actividad enzimática de 100 U/g.

Para la disolución de la enzima se empleó agua destilada a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) siguiendo las recomendaciones del proveedor.

Diseño experimental

Se implementó un diseño completamente aleatorizado con estructura factorial mixta 4x2, donde los factores principales fueron la concentración de transglutaminasa y el tiempo de almacenamiento. Para ello, se establecieron cuatro tratamientos: un control (T0) constituido por fragmentos de atún cocido en su forma original sin proceso de desmenuzamiento ni reestructurado, así como tres tratamientos experimentales con fragmentos desmenuzados: sin transglutaminasa (T1), con 0,5 % de transglutaminasa (T2) y con 1,0 % de transglutaminasa (T3). Cabe señalar que las concentraciones enzimáticas se calcularon con base al peso total de la muestra.

Subsecuentemente, cada tratamiento fue analizado en dos tiempos distintos (día 1 y día 7 post-elaboración) con tres repeticiones por combinación, resultando en un total de 24 unidades experimentales.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat versión 2020.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, mientras que las comparaciones múltiples entre medias de tratamientos se realizaron mediante la prueba de Tukey. Por otra parte, los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$) y las diferencias estadísticamente significativas se identificaron mediante letras superíndices, donde medias con letras diferentes indicaron diferencias significativas ($p < 0,05$).

Preparación de las muestras

Los fragmentos intactos de atún (2 – 4 cm de grosor x 6 – 8 cm de largo) se cortaron en porciones de 100 g, se envolvieron individualmente en película de plástico de grado alimentario y se almacenaron a 4 ± 1 °C sin ningún tratamiento adicional.

Para cada tratamiento experimental se prepararon lotes de 600 g de fragmentos de atún, que fueron previamente

desmenuzados manualmente hasta obtener fragmentos de aproximadamente de 0,5 – 1,0 cm de grosor y 1,0 – 1,5 cm de largo. El material desmenuzado se dividió en dos sublotes de 300 g correspondientes a los días de evaluación (día 1 y día 7).

La enzima transglutaminasa fue previamente diluida en agua destilada a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) en una proporción de 1:4 p/v, conforme con las recomendaciones del fabricante. La solución enzimática se preparó inmediatamente antes de su uso para mantener la actividad catalítica óptima.

La incorporación de la solución enzimática se realizó siguiendo el procedimiento adaptado de Panuncio *et al.* (2013) con modificaciones propias para optimizar la distribución en fragmentos de atún mediante aspersión uniforme sobre el material desmenuzado, seguida de homogenización manual durante 5 minutos hasta obtener una distribución homogénea de la enzima. Las concentraciones aplicadas fueron 0 % (T1), 0,5 % (T2) y 1,0 % (T3) con base al peso total de la muestra. La selección de estos niveles se fundamentó en estudios previos que han demostrado que concentraciones en rangos de 0,2 % a 1,0 % son eficaces para inducir la formación de enlaces covalentes sin comprometer las características sensoriales ni generar efectos indeseables en la textura (Kaić *et al.*, 2021 y Ardiansyah *et al.*, 2020).

Posteriormente, se pesaron porciones de 100 g de mezcla por réplica. Cada porción fue moldeada utilizando film plástico alimentario, aplicando compresión manual uniforme para eliminar bolsas de aire y asegurar contacto íntimo entre las partículas. Las muestras moldeadas fueron rotuladas según el tratamiento y día de evaluación correspondiente.

Por último, las muestras fueron almacenadas en refrigeración (4 ± 1 °C) durante 12 horas para favorecer la actividad enzimática y la formación de enlaces covalentes. Transcurrido este período de activación, una parte de las muestras fue analizada en el día 1, mientras que el resto se mantuvo bajo refrigeración hasta su evaluación en el día 7.

Perfil de textura

Se empleó el método de Análisis de Perfil de Textura (TPA) estandarizado por Bourne (2002) adaptado específicamente para productos pesqueros de acuerdo con la metodología de Ardiansyah *et al.* (2020), a fin de garantizar la reproducibilidad en los parámetros evaluados.

El equipo texturómetro Shimadzu EZ-LX se configuró con los siguientes parámetros operacionales: velocidad de compresión de 10 mm/s, con sonda cilíndrica de compresión. Las muestras fueron sometidas a dos ciclos de compresión consecutiva hasta el 50 % de deformación de su altura original con un tiempo de relajación entre ciclos.

Se registraron los parámetros de dureza (N), cohesividad (adimensional), gomosidad (N), elasticidad (mm) y masticabilidad (N×mm) utilizando el software Mastication. xml del equipo. Las muestras fueron equilibradas a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) durante 30 minutos antes del análisis para garantizar condiciones uniformes de medición.

Color instrumental

La evaluación de color se realizó con un colorímetro Konica Minolta CR-400 calibrado con placa de calibración blanca estándar y configurado con iluminante estándar D65 a un ángulo de observación de 10°. Las mediciones se realizaron con un ángulo de observación perpendicular a la superficie de la muestra.

Previo al análisis, las muestras fueron sometidas a un corte transversal uniforme para exponer una superficie fresca y homogénea. Se registraron los parámetros L* (luminosidad), a* (coordenadas rojo-verde) y b* (coordenadas amarillo-azul) del sistema CIE Lab* (Valdés *et al.*, 2023). Las lecturas se realizaron en tres puntos diferentes de la superficie expuesta de cada réplica, tanto en el día 1 como en el día 7.

La diferencia total de color (ΔE) se calculó utilizando la Ecuación 1, donde el tratamiento control (T0) se utilizó como referencia para las comparaciones.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

Donde:

ΔL^* : Diferencia en luminosidad entre la muestra y el control.

Δa^* : Diferencia en la coordenada a* entre la muestra y el control

Δb^* : Diferencia en la coordenada b* entre la muestra y el control

Capacidad de retención de agua

Se utilizó el método descrito por Barbut (2024) con ligeras modificaciones. Se pesaron porciones de $5,0 \pm 0,1$ g por réplica y se sumergieron en 10 ml de agua destilada durante 10 minutos a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) para alcanzar el equilibrio de absorción.

Posteriormente, las muestras fueron escurridas superficialmente con papel absorbente durante 15 segundos, colocadas en tubos Falcon de 15 ml y refrigeradas a 4 ± 1 °C durante 5 minutos. La centrifugación se llevó a cabo con una centrifuga Sigma 2-16P a 3000 rpm (1389xg) durante 12 minutos. La temperatura inicial de las muestras fue de 4 °C, aumentando ligeramente durante el proceso de centrifugación debido a la naturaleza no refrigerada del equipo. Finalmente, se retiró el remanente de líquido del tubo, se pesó el pellet y se calculó la retención de agua mediante la Ecuación 2:

$$\text{Retención de Agua (\%)} = \left(\frac{P_{\text{pellet}}}{P_{\text{inicial}}} \right) * 100 \quad (2)$$

Donde:

Ppellet: Peso del pellet después de la centrifugación (g)

Pinicial: Peso inicial de la muestra (g)

Capacidad de retención de aceite

Se siguió el mismo procedimiento descrito para el análisis de retención de agua, reemplazando el medio de inmersión por 10 ml de aceite vegetal comestible (girasol, densidad 0,92 g/ml a 20 °C). Tras la centrifugación bajo las mismas condiciones, se escurrió el remanente de aceite para posteriormente pesar el pellet y calcular la retención de aceite mediante la Ecuación 3:

$$\text{Retención de Aceite (\%)} = \left(\frac{P_{\text{pellet}}}{P_{\text{inicial}}} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

Ppellet: Peso del pellet después de la centrifugación (g)

Pinicial: Peso inicial de la muestra (g)

Resultados

Análisis de perfil de textura

En primer lugar, es importante señalar que el tratamiento T0 corresponde a la materia prima original sin desmenuzar, mientras que T1 hace referencia a la materia prima desmenuzada sin adición de la enzima; por tanto, ambos tratamientos se consideraron como grupos de referencia frente a los tratamientos con transglutaminasa. Con base en ello, la incorporación de transglutaminasa microbiana indujo modificaciones sustanciales en las propiedades mecánicas de los fragmentos de atún reestructurado (Tabla 1).

En términos de dureza, los tratamientos T2 y T3 exhibieron incrementos notables durante el primer día de evaluación, alcanzando valores de $54,15 \pm 2,88$ N y $55,14 \pm 2,87$ N respectivamente, contrastando marcadamente con el tratamiento T1 que registró apenas $26,24 \pm 7,05$ N, denotando una clara diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$).

Esta tendencia se intensificó progresivamente durante el almacenamiento, donde la actividad enzimática residual se manifestó en un fortalecimiento adicional de la matriz proteica, destacando diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Particularmente, el comportamiento del tratamiento T3 fue notable, el cual alcanzó $69,43 \pm 4,48$ N en el día 7, evidenciando una actividad enzimática sostenida en la formación de enlaces covalentes entre las proteínas.

En cuanto a la cohesividad, el primer día de evaluación mostró un patrón concordante con la dureza, donde los tratamientos con transglutaminasa (T2 y T3) presentaron valores significativamente superiores ($0,46 \pm 0,02$ y $0,49 \pm 0,02$ respectivamente, $p < 0,05$) comparados con el control ($0,24 \pm 0,04$) y T1 ($0,28 \pm 0,06$). Sin embargo, estas diferencias se atenuaron en el día 7, donde no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), sugiriendo procesos de reorganización estructural de la red proteica durante la refrigeración.

Tabla 1. Perfil de textura de fragmentos de atún reestructurados con transglutaminasa microbiana durante el almacenamiento

Almacenamiento	Parámetro	Tratamientos			
		T0	T1	T2	T3
Día 1	Dureza (N)	35,15 ± 12,60 ^{ab}	26,24 ± 7,05 ^a	54,15 ± 2,88 ^{bc}	55,14 ± 2,87 ^c
	Cohesión	0,24 ± 0,04 ^a	0,28 ± 0,06 ^a	0,46 ± 0,02 ^b	0,49 ± 0,02 ^b
	Gomosidad (N)	8,80 ± 4,25 ^a	7,50 ± 3,52 ^a	24,78 ± 2,39 ^b	27,17 ± 0,60 ^b
	Elasticidad (mm)	0,96 ± 0,06 ^b	0,80 ± 0,07 ^a	0,71 ± 0,03 ^a	0,71 ± 0,02 ^a
	Masticabilidad (N×mm)	6,63 ± 5,02 ^a	6,14 ± 3,38 ^a	17,59 ± 2,40 ^a	19,25 ± 0,84 ^a
Día 7	Dureza (N)	46,69 ± 3,30 ^b	23,41 ± 5,02 ^a	58,16 ± 5,31 ^{bc}	69,43 ± 4,48 ^c
	Cohesión	0,38 ± 0,04 ^a	0,31 ± 0,09 ^a	0,40 ± 0,09 ^a	0,47 ± 0,02 ^a
	Gomosidad (N)	17,42 ± 3,13 ^{ab}	7,59 ± 3,40 ^a	23,61 ± 7,34 ^{bc}	32,41 ± 3,16 ^c
	Elasticidad (mm)	0,56 ± 0,03 ^a	0,57 ± 0,01 ^a	0,67 ± 0,14 ^a	0,65 ± 0,14 ^a
	Masticabilidad (N×mm)	9,82 ± 2,19 ^{ab}	4,33 ± 2,01 ^a	15,21 ± 3,54 ^{bc}	21,19 ± 6,08 ^c

Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar (n = 3). Medias con letras diferentes dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 = control; T1 = sin enzima; T2 = 0,5 % TG ; T3 = 1 % TG.

Siguiendo la misma línea de comportamiento, los parámetros de gomosidad y masticabilidad reflejaron las tendencias observadas en la dureza.

Durante la evaluación inicial, T2 y T3 manifestaron valores de gomosidad significativamente superiores (24,78 ± 2,39 y 27,17 ± 0,60 N; $p < 0,05$) en comparación con T0 (8,80 ± 4,35 N) y T1 (7,50 ± 3,52 N). Al cabo de una semana de almacenamiento, T3 registró los valores máximos de gomosidad (32,41 ± 3,16 N) y masticabilidad (21,19 ± 6,08 N×mm), confirmando el fortalecimiento progresivo de la matriz proteica reestructurada.

En contraste con estos parámetros de resistencia, la elasticidad exhibió un comportamiento inverso; mientras el control T0 mantuvo la mayor capacidad de deformación elástica (0,96 ± 0,06 mm), los tratamientos con enzima presentaron valores significativamente menores e idénticos (0,71 ± 0,03 mm para T2 y 0,71 ± 0,02 para T3; $p < 0,05$), confirmando el efecto homogéneo de la transglutaminasa en la elasticidad independientemente de la concentración aplicada dentro del rango estudiado.

Este comportamiento aparentemente contradictorio refleja la naturaleza específica de los enlaces covalentes formados por la transglutaminasa que, si bien confieren mayor resistencia mecánica, simultáneamente reducen la capacidad de recuperación elástica del gel proteico como ha sido ampliamente documentado por Kuraishi *et al.* (2001) y más recientemente confirmado por Benjakul *et al.* (2007) y Kaić *et al.* (2021) en diversas matrices proteicas; sin embargo, es importante mencionar que después de 7 días de almacenamiento, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$).

Análisis de color instrumental

El análisis instrumental de color proporcionó información importante sobre el impacto visual de los tratamientos enzimáticos (Tabla 2). En términos de luminosidad (L^*), los resultados demostraron una notable estabilidad entre todos los tratamientos evaluados, con valores oscilando entre 59,03 y 61,95 unidades, indicando que la transglutaminasa no influye en el brillo del producto final.

No obstante, un análisis más detallado de las coordenadas cromáticas reveló matices relevantes. Las coordenadas a^* mostraron una reducción sistemática en los tratamientos con enzima, donde el control mantuvo valores de 9,68 ± 1,25 unidades en el día 1, mientras que T1, T2 y T3 registraron valores considerablemente menores (entre 6,41 y 7,17 unidades). Esta tendencia se acentuó durante el almacenamiento, particularmente en T1 que experimentó una disminución pronunciada hasta 3,28 ± 0,53 unidades en el día 7, sugiriendo que la fragmentación del tejido muscular sin entrecruzamiento enzimático puede acelerar las alteraciones en los pigmentos.

Paralelamente, las coordenadas b^* evidenciaron un desplazamiento hacia tonalidades más amarillas en todos los tratamientos con transglutaminasa, con valores superiores a 14,80 unidades comparados con las 12,21 ± 1,57 unidades del control en el día 1. Notablemente, este cambio se mantuvo estable durante todo el periodo de almacenamiento, sugiriendo modificaciones permanentes relacionados con las interacciones específicas entre la enzima y las proteínas musculares.

Para cuantificar objetivamente estas observaciones, el análisis de la diferencia total de color mediante el cálculo del ΔE proporcionó una evaluación integral de los cambios

cromáticos (Valdés *et al.*, 2023). En la evaluación inicial, T1 presentó el mayor valor de ΔE ($5,38 \pm 1,05$), seguido por T3 ($4,43 \pm 0,51$) y T2 ($4,11 \pm 0,57$), clasificados como cambios “perceptibles” (ΔE entre 3,0 – 6,0).

El seguimiento temporal reveló un comportamiento diferencial relevante: mientras T1 incrementó sustancialmente hasta $8,07 \pm 0,56$ unidades en el día 7, alcanzando diferencias “muy evidentes” ($\Delta E = 6,0 - 12,0$), los tratamientos con transglutaminasas se mantuvieron relativamente estables ($3,94 \pm 0,46$ para T2 y $4,40 \pm 1,09$ para T3). De igual manera, el análisis estadístico reveló diferencias significativas entre los tratamientos sin enzima (T1) y aquellos con transglutaminasa (T2 y T3); mientras que entre T2 y T3 no se registraron diferencias estadísticamente significativas al cabo de una semana.

Este comportamiento confirma que la transglutaminasa mitiga las alteraciones cromáticas asociadas con la

fragmentación del tejido muscular, siendo T2 la concentración que mejor demostró preservar el color original.

Capacidad de retención de agua y aceite

Complementando los análisis anteriores, la evaluación de la capacidad funcional demostró mejoras progresivas directamente proporcional a la concentración de transglutaminasa aplicada (Tabla 3). Los tratamientos enzimáticos (T2 y T3) demostraron rendimientos significativamente superiores en comparación con el tratamiento sin enzima (T1), manteniéndose este orden de manera consistente durante ambos períodos de evaluación.

Esta mejora puede atribuirse directamente a la formación de una red tridimensional más eficiente mediante enlaces covalentes que crean espacios intermedios más efectivos para la inmovilización de moléculas tanto hidrofílicas como lipofílicas.

Tabla 2. Parámetro de color (L^* , a^* , b^* y ΔE) de fragmentos de atún reestructurados con transglutaminasa durante el almacenamiento

Almacenamiento	Parámetro	Tratamientos			
		T0	T1	T2	T3
Día 1	L^*	$59,44 \pm 4,04^a$	$61,95 \pm 2,68^a$	$60,98 \pm 1,26^a$	$60,91 \pm 1,28^a$
	a^*	$9,68 \pm 1,25^b$	$6,41 \pm 0,75^a$	$7,17 \pm 0,08^a$	$6,94 \pm 0,40^a$
	b^*	$12,21 \pm 1,57^a$	$14,81 \pm 1,10^b$	$14,92 \pm 0,17^b$	$15,18 \pm 0,34^b$
	ΔE		$5,38 \pm 1,06^a$	$4,11 \pm 0,57^a$	$4,43 \pm 0,51^a$
Día 7	L^*	$59,91 \pm 1,52^a$	$59,03 \pm 3,49^a$	$61,06 \pm 0,66^a$	$61,64 \pm 0,92^a$
	a^*	$9,96 \pm 0,17^c$	$3,28 \pm 0,53^a$	$7,41 \pm 0,14^b$	$7,04 \pm 0,63^b$
	b^*	$12,27 \pm 0,45^a$	$15,64 \pm 0,63^b$	$14,98 \pm 0,49^b$	$14,97 \pm 0,80^b$
	ΔE		$8,07 \pm 0,55^b$	$3,94 \pm 0,46^a$	$4,40 \pm 1,09^a$

Nota. Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$). Medias con letras diferentes dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 = control; T1 = sin enzima; T2 = 0,5 % TG ; T3 = 1 % TG.

Tabla 3. Retención de agua y aceite de fragmentos de atún reestructurados con transglutaminasa durante el almacenamiento

Almacenamiento	Parámetro	Tratamientos			
		T0	T1	T2	T3
Día 1	Agua (%)	$87,20 \pm 0,01^{bc}$	$76,40 \pm 0,02^a$	$84,80 \pm 0,01^b$	$88,87 \pm 0,01^c$
	Aceite (%)	$84,93 \pm 0,004^b$	$72,40 \pm 0,01^a$	$85,67 \pm 0,003^{bc}$	$87,13 \pm 0,01^c$
Día 7	Agua (%)	$86,93 \pm 0,01^{bc}$	$76,27 \pm 0,02^a$	$84,80 \pm 0,01^b$	$88,40 \pm 0,01^c$
	Aceite (%)	$85,33 \pm 0,01^b$	$73,47 \pm 0,01^a$	$85,27 \pm 0,01^b$	$87,07 \pm 0,003^c$

Nota. Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$). Medias con letras diferentes dentro de la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). T0 = control; T1 = sin enzima; T2 = 0,5 % TG ; T3 = 1 % TG.

Discusión

Los hallazgos de este estudio confirman el potencial transformador de la enzima transglutaminasa microbiana como agente reestructurante para fragmentos de atún cocido, estableciendo una base sólida para la revalorización tecnológica de subproductos de la industria atunera. La coherencia entre los resultados del presente estudio e investigaciones previas realizadas en diferentes matrices proteicas marinas valida la aplicabilidad de esta tecnología enzimática, mientras que las mejoras específicas observadas en propiedades texturales y funcional abren perspectivas prometedoras para aplicaciones industriales inmediatas.

Aunado a ello, esta contribución particular radica en haber demostrado la efectividad de la transglutaminasa en fragmentos de atún cocidos provenientes del proceso industrial, un material con características fisicoquímicas particulares debido a la desnaturalización proteica parcial experimentada durante el tratamiento térmico previo. A diferencia de estudios anteriores que se enfocan principalmente en materia prima cruda o precocida, el presente trabajo aporta información sobre la valorización de subproductos provenientes de la industria de conservas, lo que incrementa significativamente su relevancia práctica y potencial industrial.

Análisis de perfil de textura

El incremento progresivo en la dureza observada con las concentraciones crecientes de transglutaminasa refleja directamente la eficiencia del mecanismo catalítico específico de esta enzima, la cual facilita la formación de enlaces covalentes γ -glutamil-lisina entre residuos de glutamina y lisina de las proteínas miofibrilares (Aguilar-Zárete *et al.*, 2012; Kolotylo *et al.*, 2023; Vasić *et al.*, 2023).

Los valores de dureza obtenidos en este estudio ($54,15 \pm 2,88$ N para T2 y $55,14 \pm 2,87$ N para T3 en día 1) son consistentes con los reportados por Ardiansyah *et al.* (2020) en atún amarillo reestructurado, quienes documentaron incrementos similares en la firmeza del producto final utilizando concentraciones enzimáticas comparables, pasando de 26,4 N (Control) a 54,2 N (Tratamiento con 0,5 % de transglutaminasa).

De manera similar, los hallazgos de Kaić *et al.* (2021) en pollo reestructurado confirman el efecto fortalecedor de la enzima al aplicar transglutaminasa en concentraciones de 0,2 – 1,0 % en diferentes matrices proteicas, con incrementos de dureza de 65,5 N con 0,2 % de transglutaminasa y hasta 78,5 N con 1,0 % de transglutaminasa en comparación con sus muestras control (37,4 N).

En contraste, Pietrasik *et al.* (2007) documentaron incrementos superiores en la fuerza del gel en productos cárnicos (de 45,6 N a 82,0 N), diferencias que pueden atribuirse a variaciones en la matriz proteica y la presencia de proteínas adicionales como caseinato de sodio en sus formulaciones.

En cuanto a la cohesividad, esta experimentó mejoras sustanciales con la aplicación de transglutaminasa, donde los tratamientos T2 y T3 alcanzaron valores de $0,46 \pm 0,02$ y $0,49 \pm 0,02$ respectivamente en el día 1, contrastando significativamente con los valores de T0 ($0,24 \pm 0,04$) y T1 ($0,28 \pm 0,06$).

Estos resultados confirman la capacidad de la enzima para mejorar la cohesión interna de la matriz proteica, hallazgo consistente con las observaciones de Erdem *et al.* (2020) en albóndigas de carne, quienes reportaron incrementos de 0,32 a 0,45 – 0,50 con concentraciones de transglutaminasa entre 0,5 – 1,5 %, demostrando un efecto similar en matrices cárnicas distintas. No obstante, la normalización de los valores de cohesividad al día 7, donde no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, sugiere procesos de reorganización estructural durante el almacenamiento que homogenizan las propiedades de cohesión de la red proteica (Erdem *et al.*, 2020).

Paralelamente, los parámetros de gomosidad y masticabilidad reflejaron las tendencias observadas en dureza y cohesividad. La gomosidad mostró incrementos significativos, evolucionando desde $7,50 \pm 3,52$ N en T1 hasta $27,17 \pm 0,60$ N en T3 durante el día 1; esta mejora se intensificó durante el almacenamiento, alcanzando valores máximos de $32,41 \pm 3,16$ N en T3 al día 7. Estos valores son comparables con los reportados por Le *et al.* (2023) en pasta enriquecida con fibra tratada con transglutaminasa, donde también se observaron mejoras significativas en las propiedades de resistencia mecánica.

De manera similar, la masticabilidad siguió un patrón progresivo, culminando en $21,19 \pm 6,08$ N×mm para T3 al día 7. Este comportamiento confirma el fortalecimiento continuo de la matriz proteica reestructurada mediante la actividad enzimática residual (Setiadi *et al.*, 2018).

Por el contrario, la elasticidad exhibió un comportamiento inverso. Mientras el control T0 mantuvo la mayor capacidad de deformación elástica ($0,96 \pm 0,06$ mm), los tratamientos con enzima presentaron valores significativamente menores ($0,71 \pm 0,03$ mm para T2 y $0,71 \pm 0,02$ para T3). Esta reducción simultánea en la elasticidad observada en los tratamientos enzimáticos representa un comportamiento inherente en el entrecruzamiento proteico, donde la formación de enlaces covalentes irreversible reduce la capacidad de deformación elástica del gel (Kaić *et al.*, 2021).

Sin embargo, este comportamiento, lejos de constituir un limitante, refleja la naturaleza irreversible de los enlaces γ -glutamil-lisina, los cuales priorizan la resistencia mecánica sobre la deformación elástica (Benjakul *et al.*, 2007).

Finalmente, la cinética temporal observada durante el almacenamiento refrigerado reveló patrones diferenciados entre los parámetros texturales. Mientras que la dureza y gomosidad mostraron tendencias de incremento progresivo, particularmente evidentes en T3, la elasticidad experimentó

una homogenización gradual entre los tratamientos hacia el día 7. Este fenómeno sugiere que la transglutaminasa no solo actúa como agente reestructurante, sino que establece un proceso de consolidación progresiva que maximiza las propiedades mecánicas del producto final durante las primeras etapas de almacenamiento (Setiadi *et al.*, 2018).

Análisis de color instrumental

Los cambios observados en las coordenadas a^* y b^* del espacio cromático proporcionan evidencia consistente sobre las interacciones complejas entre la transglutaminasa y los complejos pigmento-proteína en el músculo del atún. En este sentido, la reducción sistemática en tonalidades rojas y el incremento en amarillas, reportadas previamente por Valencia *et al.* (2015) en productos reestructurados de pescado, puede explicarse debido a las modificaciones de disposición espacial de las proteínas portadoras de pigmentos y su accesibilidad a procesos oxidativos.

Por otro lado, el análisis cuantitativo mediante ΔE reveló un hallazgo de particular importancia tecnológica y comercial: la transglutaminasa ejerce un efecto protector sobre los pigmentos musculares durante el almacenamiento refrigerado.

Específicamente, mientras que la fragmentación sin tratamiento enzimático (T1) resultó en alteraciones cromáticas progresivas que alcanzaron niveles “muy evidentes” ($\Delta E = 8,07 \pm 0,55$ al día 7), los tratamientos con transglutaminasa mantuvieron diferencias de color en rangos “perceptibles”, pero comercialmente aceptables ($3,94 \pm 0,46$ para T2 y $4,40 \pm 1,09$ para T3). De manera particular, esta estabilización cromática, especialmente notable en el tratamiento T2, sugiere que la enzima ejerce un efecto protector indirecto al minimizar la exposición de grupos cromóforos a condiciones oxidativas, posiblemente mediante el encapsulamiento de estos complejos dentro de la matriz proteica reestructurada (Kolotylo *et al.*, 2023; Valdés *et al.*, 2023).

Adicionalmente, la preservación de la luminosidad (L^*) en todos los tratamientos confirma que las modificaciones enzimáticas no comprometen la percepción visual general del producto, manteniendo así la apariencia característica del atún procesado que resulta crucial para la aceptación del consumidor. Esta observación, concordante con los hallazgos de Le *et al.* (2023) en productos reestructurados de pasta enriquecida con fibra, valida la viabilidad comercial de la tecnología propuesta desde la perspectiva sensorial.

Capacidad de retención de agua y aceite

Los incrementos significativos en la retención tanto de agua ($88,87 \pm 0,01$ %) como de aceite ($87,13 \pm 0,01$ %) observados en T3 representan una mejora tecnológica de particular relevancia industrial. Estos resultados equiparan y en algunos casos superan los reportados por Le *et al.* (2023) en pasta enriquecida con fibra, donde se observaron mejoras del 10 % en la capacidad de retención de agua con concentraciones similares de enzima. La eficiencia superior observada en

el presente estudio puede atribuirse a las características específicas de las proteínas del atún, que presentan una concentración elevada de residuos de glutamina y lisina disponibles para el entrecruzamiento enzimático.

De igual manera, la capacidad dual de retención mejorada para componentes hidrofílicos y lipofílicos constituye un hallazgo de especial interés tecnológico, respaldado por las observaciones de Pietrasik *et al.* (2007) sobre la formación de redes tridimensionales que encapsulan eficientemente moléculas de diferente polaridad. En el contexto de productos pesqueros, donde la pérdida de líquidos durante el procesamiento puede afectar tanto el rendimiento como las características sensoriales, esta mejora funcional representa una ventaja competitiva para la implementación industrial, donde la correlación directa entre concentración enzimática y capacidad de retención establece un gradiente de funcionalidad que permite optimizar las formulaciones según los requerimientos específicos de cada aplicación.

Conclusiones

La presente investigación muestra la efectividad de la transglutaminasa microbiana como herramienta para la revalorización de fragmentos de atún cocido, demostrando su capacidad para transformar subproductos industriales de bajo valor en productos reestructurados con propiedades funcionales superiores. Los resultados confirmaron que esta enzima no solo resuelve limitaciones técnicas inherentes al material fragmentado, sino que además optimiza características funcionales clave para aplicaciones industriales.

La caracterización instrumental reveló que la transglutaminasa induce mejoras multidimensionales en las propiedades del producto final. En términos de propiedades mecánicas, la enzima incrementó significativamente la dureza, cohesividad y gomosidad comparada con fragmentos no tratados, generando una matriz proteica más resistente y estable. Asimismo, la capacidad de retención de líquidos experimentó mejoras sustanciales, con incrementos progresivos tanto para agua como para aceite que se correlacionaron directamente con la concentración enzimática aplicada.

Desde la perspectiva de calidad sensorial evaluada instrumentalmente, los análisis de color demostraron que la transglutaminasa ejerce un efecto estabilizador sobre los pigmentos musculares, mitigando efectivamente las alteraciones cromáticas asociadas con la fragmentación del tejido. Esta preservación de la apariencia visual, combinada con las mejoras funcionales, valida la viabilidad comercial de la tecnología propuesta.

El general, la aplicación de transglutaminasa al 0,5 % proporcionó mejoras significativas en todas las propiedades evaluadas, mientras que concentraciones superiores ofrecieron beneficios marginales que no justifican el incremento de su implementación.

Del mismo modo, el comportamiento temporal durante el almacenamiento refrigerado confirmó la estabilidad de las propiedades funcionales y la consolidación progresiva de la matriz proteica, indicando que el producto reestructurado mantiene sus características mejoradas durante periodos relevantes. Finalmente, cabe señalar que, aunque los cambios en elasticidad y coordenadas de color representan comportamientos esperables, estos no comprometen la calidad general del producto.

Estos resultados contribuyen significativamente al desarrollo de tecnologías sostenibles para el aprovechamiento integral de subproductos de la industria atunera, proporcionando una alternativa viable para la transformación de fragmentos tradicionalmente destinados a usos de bajo valor agregado en productos con propiedades funcionales optimizadas y de mayor potencial comercial.

Referencias bibliográficas

- Aguilar-Zárete, P., Aguilar-Zárete, M., Carrillo Inungaray, M. L. y Portilla Rivera, O. M. (2012). Importancia de la producción de transglutaminasa microbiana para su aplicación en alimentos. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 4(8), 1-17. <https://bit.ly/4pDMjXJ>
- Añorve, A. A., Escalona-Buendía, H. B., Luna-Rodríguez, L., Pérez-Chabela, M. L., Ponce-Alquicira, E., Soriano-Santos, J. y Vargas-Romero, J. M. (2019). Reestructurados de pescado: una buena alternativa de proteína utilizando especies de bajo valor comercial o recortes. *Nacameh*, 13(1), 12-24. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7103351>
- Ardiansyah, A., Sahubawa, L. y Ustadi. (2020). Restructuring steak from flakes of yellowfin tuna meat using low salt microbial transglutaminase (MTGase). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 404, 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/404/1/012073>
- Arteaga, M., Merchán, D., Mendoza, L. y Ochoa, M. (2022). Residuos de pescado: impacto ambiental y utilización. *Pro Sciences: Revista de Producción. Ciencias E Investigación*, 6(42), 445-452. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss42.2022pp445-452>
- Barbut, S. (2024). Measuring water holding capacity in poultry meat. *Poultry Science*, 103(5)1-8. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103577>
- Benjakul, S., Visessangua, W., Phatchrat, S. y Tanaka, M. (2007). Chitosan affects transglutaminase-induced surimi gelation. *Journal of Food Biochemistry*, 27(1), 53-66. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2003.tb00266.x>
- Bourne, M. C. (2002). Chapter 1 - Texture, Viscosity, and Food. En Elsevier eBooks (pp. 1-32). <https://doi.org/10.1016/b978-012119062-0/50001-2>
- Del Mar. (2021). Manual de procesos para la elaboración de conservas de atún. Documento interno. Manta, Ecuador.
- Erdem, N., Babaoğlu, A. S., Poçan, H. B. y Karakaya, M. (2020). The effect of transglutaminase on some quality properties of beef, chicken, and turkey meatballs. *Journal Of Food Processing and Preservation*, 44(3), 1-8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14815>
- Kaić, A., Janjčić, Z., Žgur, S., Šikić, M. y Potočnik, K. (2021). Physicochemical and sensory attributes of intact and restructured chicken breast meat supplemented with transglutaminase. *Animals*, 11(9), 1-8. <https://doi.org/10.3390/ani11092641>
- Kolotylo, V., Piwowarek, K. y Kieliszek, M. (2023). Microbiological transglutaminase: biotechnological application in the food industry. *Open Life Science*, 18(1), 1-22. <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0737>
- Kuraishi, C., Yamazaki, K. y Susa, Y. (2001). Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 17(2), 221-246. <https://doi.org/10.1081/fri-100001258>
- Le, N. P., Tran, T. T. T., Ton, N. M. N., & Le, V. V. M. (2023). Effects of transglutaminase treatment on cooking quality, textural properties, and overall acceptability of high fibre pasta incorporated with pennywort residue. *International Food Research Journal*, 30(6), 1572-1581. <https://doi.org/10.47836/ifrj.30.6.19>
- Panuncio, A., Cardeza, L., Quintero, M., Solé, M. L., Barrios, S. y Gámbaro, A. (2013). Efecto de la incorporación de transglutaminasa microbiana en las propiedades sensoriales de hamburguesas de desmenuzado de merluza (*Merluccius hubbsi*). *INNOTEC*, 8, 39-43. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=606166713005>
- Pietrasik, Z., Jarmoluka, A. y Shand, P. J. (2007). Effect of non-meat proteins on hydration and textural properties of pork meat gels enhanced with microbial transglutaminase. *LWT - Food Science and Technology*, 40 (5). 915-920. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.003>
- Rodríguez Castillejos, G. C., Téllez, S. J., Vázquez Vázquez, M., Lois, J. y Ramírez de León, J. A. (2013). Producción de transglutaminasa microbiana y sus aplicaciones potenciales en México. En Plaza y Valdés (Eds.), *Avances de ciencia y tecnología alimentaria en México* (pp. 557-577). Plaza y Valdés, S. A. de C. V. <https://bit.ly/4nesTad>
- Setiadi, Sah, W. I. y Alisha, N. (2018). The Influences of transglutaminase enzyme dosage on the meat characteristic from restructuring the animal and vegetable protein sources. *EDP Sciences*, 67, 1-6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186703043>

- Valdés Restrepo, M., Delgado Ospina, J., Londoño-Hernández, L. y Rodríguez Restrepo, R. A. (2023). Sistema de medición del color como parámetro de calidad en la industria de alimentos. *Temas Agrarios*, 28(1), 69-81. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3200>
- Valencia, E., González, S., Quevedo, R. y Leal, M. (2015). Aplicación de la enzima transglutaminasa en salmón, reineta y pulpo. *Información Tecnológica*, 26(3), 3-8. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000300002>
- Vasić, K., Knez, Ž. y Leitgeb, M. (2023). Transglutaminase in foods and biotechnology. *Internacional Journal of Molecular Sciences*, 24(15), 1-23. <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/15/12402>



Huella de carbono del turismo en las Cascadas del Zapanal, provincia de Cotopaxi

Carbon footprint of tourism in the Zapanal Waterfalls, Cotopaxi province

Lisbeth Johanna Zambrano Fernández^a, Ana Noemi Moreno Vera^b

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

Autor de correspondencia: lzambranof@uteq.edu.ec

Recibido: 08/07/2024. Aceptado: 22/07/2025.

Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

La huella de carbono midió la cantidad de gases de efecto invernadero que emitieron los turistas en las Cascadas del Zapanal. La investigación tuvo como objetivo determinar las fuentes de emisión de actividades provenientes del turismo, se utilizó una ficha de identificación que es una hoja de observación para evidenciar 5 fuentes: comedor, energía eléctrica, transporte, alimentos/bebidas y desechos comunes. Se aplicó como instrumento cuantitativo la encuesta a los turistas de forma aleatoria, los fines de semana desde el 21 de octubre hasta el 11 de noviembre del 2023, obteniendo en total 440 encuestados. Las 3 categorías de emisiones identificadas en kilogramos de dióxido de carbono equivalente: alcance 1 de forma directa con una emisión de 112,2 kgCO_{2-eq} por consumo de gas en el área del comedor; alcance 2 de manera indirecta obtuvo 0,0022 kgCO_{2-eq} por uso del cargador de celular conectado; alcance 3 en forma indirecta con el uso del automóvil por los turistas 346,5 kgCO_{2-eq}; consumo de carne de cerdo y agua embotellada emitió 142,88 kgCO_{2-eq}; desechos comunes como plásticos, papel, cartón y restos de comida 333,58 kgCO_{2-eq}. Los resultados mostraron una huella de carbono total en las Cascadas del Zapanal de 935,16 kgCO_{2-eq} y de los turistas 3,10 kgCO_{2-eq}. El plan de gestión ambiental, se basó en la Norma ISO 14001 con la evaluación de aspectos ambientales y el diseño de 5 programas: contingencia ambiental, uso eficiente y ahorro de la energía, mitigación y adaptación de emisiones, manejo integral en desechos comunes y protección del recurso hídrico.

Palabras clave: turista, cambio climático, gases de efecto invernadero, factor de emisión y plan de gestión ambiental.

Abstract

The carbon footprint measured the amount of greenhouse gases emitted by tourists at the Zapanal Waterfalls. The research aimed to determine the sources of emissions from tourism-related activities. An identification form, an observation sheet, was used to identify five sources: dining, electricity, transportation, food/beverages, and common waste. A quantitative survey was randomly administered to tourists on weekends from October 21 to November 11, 2023, yielding a total of 440 respondents. The three emission categories identified in kilograms of carbon dioxide equivalent were: Scope 1, directly, with an emission of 112.2 kgCO_{2-eq} from gas consumption in the dining area; Scope 2, indirectly, with 0.0022 kgCO_{2-eq} from the use of a connected cell phone charger; Scope 3, indirectly, with car use by tourists, 346.5 kgCO_{2-eq}; consumption of pork and bottled water emitted 142.88 kgCO_{2-eq}; and common waste such as plastics, paper, cardboard, and food scraps, 333.58 kgCO_{2-eq}. The results showed a total carbon footprint of 935.16 kgCO_{2-eq} for the Zapanal Waterfalls, and 3.10 kgCO_{2-eq} for tourists. The environmental management plan was based on ISO 14001, assessing environmental aspects and designing five programs: environmental contingency, efficient energy use and conservation, emissions mitigation and adaptation, comprehensive management of common waste, and water resource protection.

Keywords: tourist, climate change, greenhouse gases, emission factor and environmental management plan..

Introducción

El turismo es una de las industrias que tiene incidencia en la producción de impactos a nivel ambiental por el flujo de personas y bienes que se involucran para ofrecer la comodidad a los turistas (Olivera y Cristóbal, 2014). Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2025), los tres problemas ambientales que surgen como consecuencia del turismo son: agotamiento de los recursos naturales, contaminación y degradación física (Greentumble, 2024).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) estableció: “El calentamiento global es un hecho inequívoco, causado por las actividades humanas que emiten gases de efecto invernadero y hace que la temperatura de la Tierra suba entre 1,8 °C y 4 °C” (Organización Mundial del Turismo [OMT], 2007, p. 1).

El efecto invernadero ocasiona que la energía que llega del sol este formada por ondas de frecuencias altas que se transfieren hacia la atmósfera, la energía enviada hacia el exterior está formada por ondas de frecuencias bajas (Espíndola y Valderrama, 2012). Absorbida por los gases que producen el efecto del cambio climático representan una amenaza como la escasez de agua, la pérdida de biodiversidad, la degradación de atractivo es un factor que afecta el desarrollo del destino turístico (Revilla Calderón, 2022).

El Ecuador, ha firmado y ratificado varios acuerdos internacionales destinados a la protección ambiental: El Protocolo de Kioto de 1997 es uno de los más relevantes, solicita la disminución de 6 gases que contribuyen a la intensificación del calentamiento global (Vilches *et al.*, 2014). Además, se menciona el Acuerdo de París aprobado en 2015 que aspira a reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo la temperatura por debajo de 2 °C (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1998, p. 18).

La huella de carbono es considerada un indicador ambiental para cuantificar las emisiones y representar los gases de efecto invernadero derivados de las actividades de producción o consumo (Sandoval y Gutiérrez, 2021). El transporte utilizado por los turistas para llegar al destino genera una huella de carbono elevada, al igual que la duración de su estancia y los productos que se consumen (Torres Hechavarría y Delgado Castro, 2021).

Una mala gestión de los residuos ocasiona que sean depositados en vertederos a cielo abierto, ríos o fuentes de agua, lo que genera contaminación ambiental y complicaciones en la salud (Reinoso Intriago y Cadenas Martínez, 2022). Las Cascadas del Zapanal, no poseen una técnica de recolección de residuos adecuada, la comunidad en ocasiones tira los desechos en el río, quema o los entierra (Zambrano Fernández, 2024).

Se desconoce el grado de contaminación que dejan los turistas, por tal motivo se estimó la huella de carbono e implementó el plan de gestión para la reducción de los gases de efecto invernadero y así evitar la afectación de los ecosistemas junto con el recurso hídrico. Ante la problemática actual del cambio climático por el aumento de la temperatura hacia la atmósfera.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el recinto La Envidia vía La Maná – La Playita – Estero Hondo, km 10,4 pasando la planta eléctrica río Calope, 050304 (Figura 1). Los límites parroquiales: norte y este Pujilí y La Maná al sur cantón Guaranda, al oeste Quinsaloma (GAD Municipal del cantón Pangua, 2018, p. 12). Las Cascadas del Zapanal tiene una extensión de 125 hectáreas en un sistema de siete caídas consecutivas de diferente altura, que oscilan entre los 10 y 90 metros de caída (Velastegui López y Chaluisa, 2017). Se describen cada una de las cascadas (Tabla 1).



Figura 1. Localización de las Cascadas del Zapanal

Tabla 1. Descripción de las Cascadas del Zapanal

Cascada San Martín
Es una caída de agua de 30 m sobre la roca (Figura 2)



Figura 2. Vista de la Cascada San Martín

Cascada Escondida
Es visible cuando se coloca frente a ella, tiene una altura de 28 m (Figura 3).



Figura 3. Vista de la Cascada Escondida

Cascada de la Muerte
Tiene una altura semi diagonal de 90 m, donde se desprende abundante vapor de agua (Figura 4).



Figura 4. Vista de la Cascada de la Muerte

Cascada Amor y Amistad
Tiene una primera caída de 8 m, sus aguas caen en una pequeña laguna que posee una cueva formada por la acción erosiva del agua (Figura 5).



Figura 5. Vista de la Cascada Amor y Amistad

Cascada Tobogán de Piedra

El atractivo consiste en deslizarse sobre esta gran roca, tiene una singular morfología con una extensión de 30 m de largo y 11 m de ancho (Figura 6).



Figura 6. Vista de la Cascada Tobogán de Piedra

Cascada Tina de Piedra

Tiene 8 m de altura, se forma sobre la roca durante la época lluviosa. Se deslizan fuertes corrientes de agua hasta una pequeña laguna (Figura 7).



Figura 7. Vista de la Cascada Tina de Piedra

Cascada Piedra de los Arrepentidos

Tiene 4 m de altura, se forma sobre la roca y el agua se desliza por el centro. A media altura, se encuentra un pequeño obstáculo que hace que el agua salte hasta caer a una pequeña laguna (Figura 8).



Figura 8. Vista de la Cascada Piedra de los Arrepentidos

Nota. Tomado de GAD Municipal del cantón Pangua (2018)

Recursos naturales

Según GAD Municipal del cantón Pangua (2018), el atractivo de las cascadas es de carácter natural, en medio de un bosque húmedo tropical. Consta de las siguientes especies (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Flora representativa de las Cascadas del Zapanal

Nombre común	Nombre científico	Familia
Laurel	<i>Laurus nobilis</i>	Lauraceae
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae
Pachaco	<i>Schizolobium parahybum</i>	Caesalpinaceae
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	Ochroma
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>	Cecropiaceae
Paja toquilla	<i>Carludovica palmata</i>	Cyclanthaceae
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Poaceae
Croton	<i>Codiaeum variegatum</i>	Euphorbiaceae
Trompeta de ángel	<i>Brugmansia arborea</i>	Solanaceae
Guaba	<i>Inga edulis</i>	Fabaceae
Plátano	<i>Musa acuminata</i>	Musáceas
Limón	<i>Citrus limon</i>	Rutáceas
Café	<i>Coffea</i>	Rubiaceae
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Malvaceae
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae
Caña guadúa	<i>Guadua angustifolia</i>	Poaceae
Palmito	<i>Chamaerops humilis</i>	Arecaceae
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae
Maíz	<i>Zea mays</i>	Poaceae

Determinación del tamaño de la muestra

Se tomó la cantidad total de turistas que llegaron entre los meses de octubre y noviembre del 2023, debido a que no se cuenta con un registro de ingresos en las Cascadas del Zapanal se aplicó el método de muestreo aleatorio simple (Otzen y Manterola, 2017).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de fiabilidad a la encuesta en el Software SPSS aplicada a 440 turistas, se obtuvo un alfa de Cronbach de 0,963; siendo un instrumento es aceptable para las 13 preguntas. Además, se realizó la prueba de chi-cuadrado con una significación asintótica de 0,000 siendo <0,05; por tal motivo se aceptó la hipótesis.

Clasificación de las fuentes de emisiones de carbono por alcance

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2024), se identificó 3 alcances mediante la metodología del protocolo de gases de efecto invernadero:

Alcance 1: Área del comedor por consumo de gas como combustible en la preparación de los alimentos es una fuente de emisión directa.

Sangre de drago	<i>Croton lechleri</i>	Euphorbiaceae
Guayacán	<i>Guaiacum officinale</i>	Zygophyllaceae
Roble	<i>Quercus robur</i>	Fagaceae

Nota. Tomado de GAD Municipal del cantón Pangua (2018)

Tabla 3. Fauna representativa de las Cascadas del Zapanal

Nombre común	Nombre científico	Familia
Colibríes	<i>Colibri coruscans</i>	Trochilidae
Papagayos	<i>Ara ararauna</i>	Psittacidae
Tucanes	<i>Ramphastos tucanus</i>	Ramphastidae
Pájaro carpintero	<i>Colaptes melanochloros</i>	Picidae
Mono aullador	<i>Alouatta palliata</i>	Atelidae
Guatusa	<i>Dasyprocta punctata</i>	Dasyproctidae
Conejo	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Leporidae
Perdiz	<i>Alectoris rufa</i>	Phasianidae
Gavilán	<i>Chordeiles acutipennis</i>	Caprimulgidae
Gorrion	<i>Passer domesticus</i>	Passeridae
Paloma	<i>Columba livia</i>	Columbidae
Ardilla	<i>Sciurus vulgaris</i>	Sciuridae

Nota. Tomado de GAD Municipal del cantón Pangua (2018)

Alcance 2: Consumo de energía eléctrica por el cargador de celular utilizado por parte de los turistas es una fuente de emisión indirecta.

Alcance 3: Se estableció el consumo de los turistas en el transporte, alimentos/bebidas y producción en desechos comunes como fuente de emisión indirecta.

Cálculo de la huella de carbono

Para el cálculo se utilizó el factor de emisión del Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2023), se estimó una tasa de error media del 30 % al 40 %, debido a la falta en la determinación de las categorías en los alcances. La fórmula utilizada (Ecuación 1), obtuvo como resultado una cantidad en kg de dióxido de carbono equivalente ($\text{kgCO}_{2\text{-eq}}$).

$$\text{Emisión}[\text{kgCO}_{2\text{-eq}}] = \text{Dato de actividad} \times \text{Factor de emisión} \quad (1)$$

Donde:

Dato de actividad: Es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Factor de emisión: Supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro, varían en función de la actividad que se trate.

Cálculo huella de carbono por turista

Según Gutiérrez (2022), la emisión por turista se calculó dividiendo las emisiones totales entre el número de turistas que realizó cada actividad. Se aplicó la fórmula (Ecuación 2), obteniendo como resultado una cantidad en kg determinada de dióxido de carbono equivalente ($\text{kgCO}_{2\text{-eq}}$).

$$\text{Emisión}[\text{kgCO}_{2\text{-eq}}] = \frac{\text{Emisión total}}{\text{Número de turistas}} \quad (2)$$

Plan de gestión ambiental

El diagnóstico ambiental se realizó en base a las fuentes de emisión: comedor, energía eléctrica, transporte, alimentos/bebidas y desechos comunes. En la evaluación de aspectos ambientales se utilizó la ponderación: 3 - 9 baja, del 10 - 17 media y del 18 - 21 alta. Se diseñó 5 subprogramas para cada fuente identificada como emisión y adicional para la protección del recurso hídrico de las cascadas (Ramírez y Devia, 2017).

Resultados

Fuentes de emisiones de carbono

Se identificaron 5 fuentes de emisiones por actividades turísticas (Tabla 4).

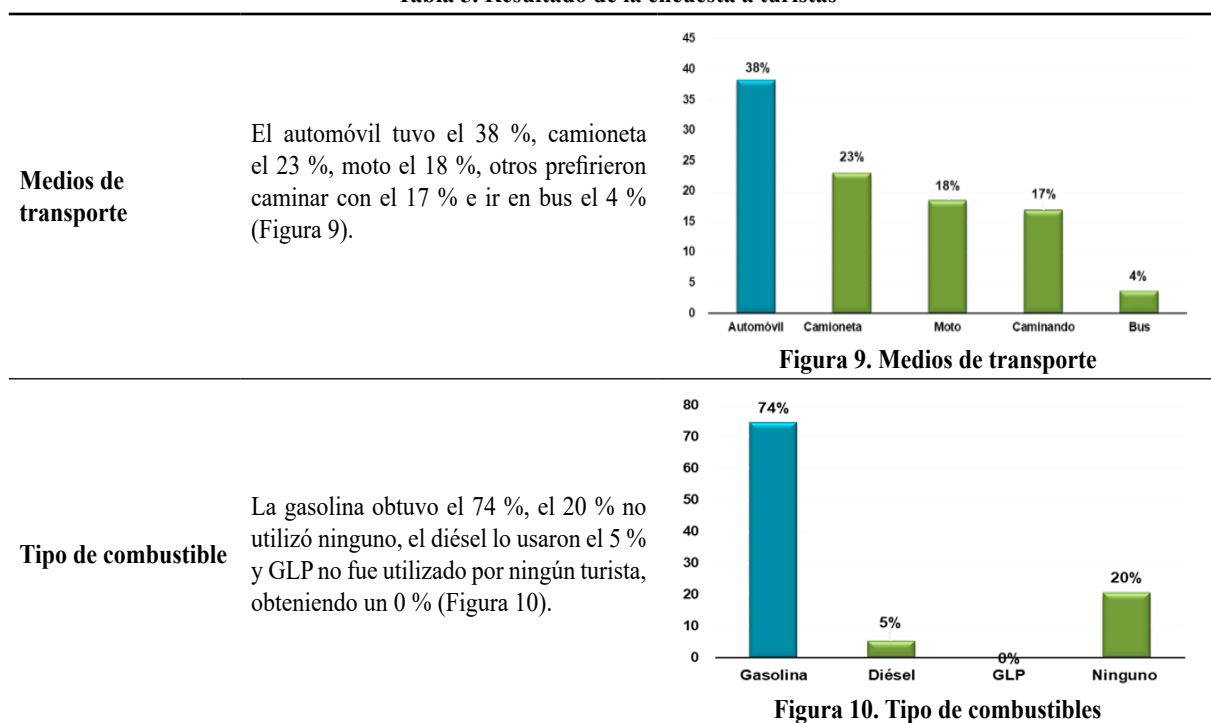
Tabla 4. Fuentes de emisión de carbono

N.º	Fuentes de emisión	Descripción
1	Comedor	Consumo de gas
2	Energía eléctrica	Equipos electrónicos
3	Transporte	Movilización de turistas
4	Alimentos y bebidas	Consumo de alimentos y bebidas
5	Desechos comunes	Generación de turistas

Encuesta a turistas

Se realizó la encuesta a una muestra de 440 para conocer el consumo de los turistas, se obtuvo (Tabla 5).

Tabla 5. Resultado de la encuesta a turistas



Cantidad de combustible

5 litros fueron utilizados por el 30 % de los encuestados, el 23 %, 10 litros, el 20 % no utilizó ningún combustible, el 17% de turistas utilizó 3 litros de combustible y el 9 % usó más de 10 litros (Figura 11).

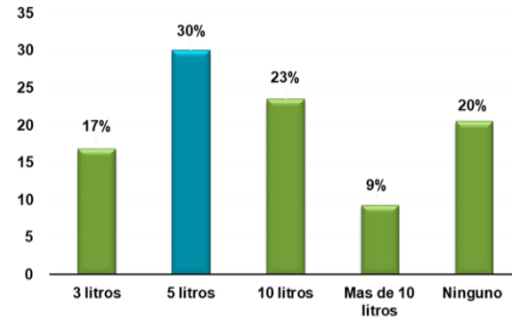


Figura 11. Cantidad de combustible

Equipos electrónicos

El 70 % de turistas no utilizó ningún equipo electrónico, el 23 % utilizó el cargador de celular conectado, el 7 % usó y cargó la laptop, el ventilador al igual que el televisor obtuvo el 0 % (Figura 12).

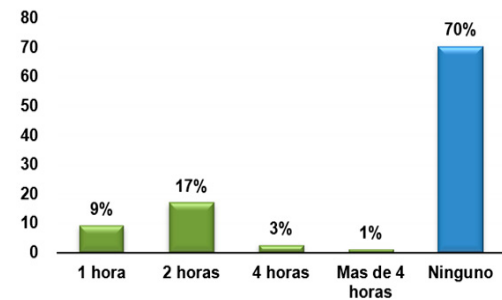


Figura 12. Equipos electrónicos

Alimentos

La carne de cerdo con el 31 %, pescado el 20 %, el 16 % plátano, el 13 % consumió carne de res, el 10 % arroz, el 6 % consumió pollo y el 4 % ensalada (Figura 13).

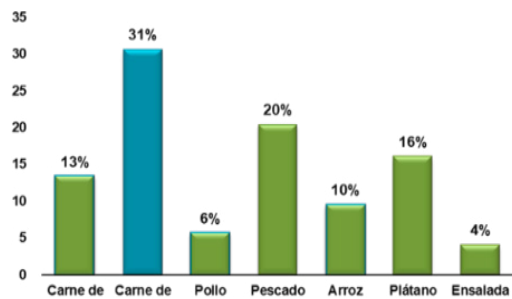


Figura 13. Alimentos

Bebidas

El agua embotellada con el 34 %, el 31 % prefieren la gaseosa, el 23 % tomó jugo y el 13 % cerveza (Figura 14).

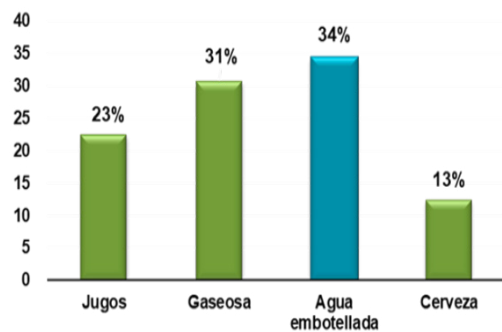


Figura 14. Bebidas

Fuentes de emisiones de carbono por alcance

Las 5 fuentes de emisiones identificadas se clasificaron por alcances (Tabla 6).

Tabla 6. Fuentes de emisiones de carbono por alcance

Alcance	Tipo de emisión	Fuentes emisión	Consumo
1	Directa	Comedor	Gas
2	Indirecta	Energía eléctrica	Cargador de celular conectado
		Transporte	Automóvil
3	Indirecta	Alimentos y bebidas	Carne de cerdo y agua embotellada
		Desechos comunes	Plásticos, papel, cartón y restos de comida

Huella de carbono por alcances en kilogramos de dióxido de carbono equivalente

Alcance 1. Comedor

-Emisión del comedor: 112,2 kgCO_{2-eq}

-Emisión por turista: 0,26 kgCO_{2-eq}

Alcance 2. Energía eléctrica

-Emisión de energía eléctrica: 0,0022 kgCO_{2-eq}

-Emisión por turista: 0,000022 kgCO_{2-eq}

Alcance 3. Transporte, alimentos/bebidas y desechos comunes

-Emisión de transporte: 346,5 kgCO_{2-eq}

-Emisión por turista: 1,06 kgCO_{2-eq}

-Emisión de alimento: 96,07 kgCO_{2-eq}

-Emisión por turista: 0,71 kgCO_{2-eq}

-Emisión de bebida: 46,81 kgCO_{2-eq}

-Emisión por turista: 0,31 kgCO_{2-eq}

-Emisión desechos comunes: 333,58 kgCO_{2-eq}

-Emisión por turista: 0,76 kgCO_{2-eq}

Emisiones totales de la huella de carbono por alcance

La huella de carbono de las Cascadas del Zapanal para el año 2023 es 935,16 kgCO_{2-eq}, las emisiones totales representan para el alcance 1 el 11,10 %, alcance 2 el 0,00024 % y el alcance 3 representa el 88,00 % (Figura 15). Las emisiones por turista es 3,10 kgCO_{2-eq} representan para el alcance 1 el 8,39 %, alcance 2 el 0,00071 % y el alcance 3 representa el 91,61 % (Figura 16).

Evaluación de aspectos ambientales

Se obtuvo una valoración media por consumo de combustible fósil de forma directa y baja por consumo de energía eléctrica de manera indirecta (Tabla 7).

Programas del plan de manejo ambiental

Se diseñó 5 programas con medidas para reducir los niveles de contaminación con buenas prácticas dirigido a los administradores y a la comunidad del recinto La Envidia para garantizar el manejo adecuado de los recursos naturales (Tabla 8).



Figura 15. Emisiones totales de la huella de carbono



Figura 16. Emisiones de carbono por turista

Tabla 7. Evaluación de aspectos ambientales

Aspecto ambiental	Calificación	Valoración del problema
Consumo de combustibles fósiles	15	Media
Consumo de energía eléctrica	9	Baja
Emisiones por fuentes móviles	13	Media
Generación desechos	11	Media

Tabla 8. Programas del plan de manejo ambiental

Programa	Objetivo	Indicador	Actividad	Estimaciones de reducción
Contingencia ambiental.	Controlar el consumo y contaminación por gas.	Consumo de gas.	Capacitar a la comunidad y administradores sobre las medidas de seguridad para una manipulación segura de cilindros de gas. Realizar informes anuales de las emisiones que se obtengan del comedor. Señalización de áreas de cocina y comedor. Revisar periódicamente las fugas de gas. Establecer rutas para evacuación en caso de accidentes. Capacitar a los administradores en el uso e implementación de extintores.	50 %
Uso eficiente y ahorro de energía.	Controlar el uso eficiente del consumo de energía.	Consumo de electricidad.	Capacitar a la comunidad y administradores sobre el mantenimiento adecuado de las instalaciones eléctricas al igual que el ahorro de energía. Implementar 2 letreros informativos sobre ahorro de energía al ingreso de las cabañas. Realizar charlas de ingreso a turistas sobre el ahorro de energía. Apagar los electrodomésticos cuando no se estén usando. Involucrar proyectos sobre energías renovables.	50 %
Mitigación y adaptación de emisiones.	Disminuir las emisiones producidas por la circulación de vehículos.	Presencia de vehículos.	Realizar informes anuales de emisiones que causan los vehículos. Especificar un área adecuada para el estacionamiento de vehículos. Controlar la circulación de vehículos. Revisar los vehículos al momento de ingresar para evitar derrame de combustible y aceite. Fomentar el uso de bicicletas en los senderos.	60 %
Manejo integral de desechos comunes.	Manejar de forma adecuada los desechos.	Presencia de turistas.	Capacitar a los administradores y a la comunidad sobre el manejo adecuado de los desechos que generan. Establecer normas de ingreso para los turistas. Implementar tachos rotulados por colores según el desecho. Implementar señaléticas informativas de educación ambiental. Diseñar rutas internas de recolección de los desechos. Controlar que los desechos generados no sean arrojados en senderos ni en zonas cercanas a las cascadas. Impulsar el reciclaje y aprovechamiento de los desechos.	60 %
Manejo y protección del recurso hídrico.	Mejorar la calidad de agua en las Cascadas del Zapanal.	Afluencia de turistas.	Realizar limpieza de áreas cercana a las cascadas. Charlas de ingreso a turistas sobre concientización de la importancia del recurso hídrico de las cascadas. Evitar que los turistas ingresen comida a las cascadas. Controlar que no se arroje desechos a los alrededores de las cascadas. Evitar el uso de químicos cerca de las cascadas que puedan contaminar el agua. Colaborar con organizaciones ambientales locales que trabajen en la conservación de los recursos naturales. Caminar por los senderos establecidos para evitar erosión del suelo.	50 %

Discusión

En el estudio realizado en las Cascadas del Zapanal, se identificó 5 fuentes de emisiones por actividades turísticas: área del comedor, energía eléctrica, transporte, alimentos/bebidas y desechos comunes; se utilizó la metodología del protocolo de gases de efecto invernadero, con el cual se determinaron 3 alcances. Esta investigación se relacionó con el estudio elaborado por Aranguren y Buenaventura (2019) donde se calculó la huella de carbono que genera una persona al realizar turismo de naturaleza, utilizando la metodología del protocolo gases de efecto invernadero (GHG), en la cual se reportaron emisiones asociadas a 3 alcances. De igual manera, la investigación realizada por Gutiérrez-Fernández y Campos Bonilla (2015) estableció 3 alcances por consumo de combustible en el transporte terrestre, fluvial, aéreo y generación de residuos sólidos. Estudios similares que abordan las afectaciones por emisiones del turismo, identificadas mediante salidas de campo, aplicación de encuestas y entrevistas.

La huella de carbono en las Cascadas del Zapanal para el año 2023 es 935,16 kgCO_{2-eq} y por turista es 3,10 kgCO_{2-eq}; el sector que mayor cantidad de carbono emitió es el transporte representado por el 346,5 kgCO_{2-eq}; donde se propuso medidas como controlar la circulación de vehículos y el uso de bicicletas. Se obtuvo un resultado similar en la investigación que indica, al sector del transporte con altas emisiones de 269.940,42 kgCO_{2-eq}; planteó medidas como la contribución de la conservación del bosque seco tropical y una tarifa de ingreso a Playa Grande a todos los turistas para compensar las emisiones generadas por los medios de transporte (Nieto, 2020). Por lo contrario, el estudio realizado por Molina (2014) sobre el sector hotelero en playa.

Blanca de Colombia generó emisiones por energía, gasolina y gas de 39.860,25 tCO_{2-eq}; se optó por desarrollar un plan de acción para reducir emisiones con procesos ecoeficientes. Investigaciones donde se aprecian que las emisiones por fuentes móviles son altas, produciendo contaminación atmosférica y afectación en áreas naturales.

En el plan de gestión ambiental se efectuó bajo la norma internacional ISO 14001, se definieron como impactos ambientales la contaminación del aire, suelo, alteración del paisaje y agotamiento de recursos naturales. Coincide con Guevara y Proaño (2018) en la investigación realizada en base a parámetros de la norma ISO 14001, donde los impactos identificados fueron la contaminación del aire, suelo y disminución de recursos naturales. A diferencia de Rodríguez Buitrago y Gutiérrez-Fernández (2017) que implementaron un sistema fotovoltaico para disminuir el consumo y dependencia de electricidad generada por combustibles fósiles con un panel de Solar Green Energy Latin America que tiene una potencia de 320 W. La relación con estos estudios contribuye con la identificación de impactos para mitigar la afectación en el sector turístico.

Conclusiones

Las emisiones por carbono en las Cascadas del Zapanal se establecieron por los consumos en las actividades realizadas por turistas, mediante la aplicación de la encuesta se obtuvo datos de las fuentes de emisión: alcance 1 como emisión directa para el área del comedor, como emisiones indirectas tenemos el alcance 2 con suministro de energía eléctrica y el alcance 3 con medios de transporte, alimentos/bebidas y desechos comunes.

La huella de carbono entre los meses de octubre y noviembre del año 2023 fue de 935,16 kgCO_{2-eq} y la emisión por turista es de 3,10 kgCO_{2-eq}. El alcance 3 fue el que más emisiones registró con 822,96 kgCO_{2-eq} de tal manera que es el transporte con 346,5 kgCO_{2-eq}, el que contribuye a la obtención de este valor, a pesar de ser una emisión indirecta debido a que no es fija por el incremento o disminución de visitantes.

El plan de gestión ambiental constó de la evaluación de aspectos ambientales, que obtuvo una valoración media por consumo de combustibles fósiles siendo una emisión directa y baja por consumo de energía siendo una emisión indirecta; además de 5 programas: contingencia ambiental, uso eficiente y ahorro de la energía, mitigación y adaptación de emisiones, manejo integral de residuos sólidos y protección del recurso hídrico; formado por medidas de manejo ambiental que permitieron controlar los impactos negativos que causó el turismo en las Cascadas del Zapanal.

Agradecimientos

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación por la oportunidad de brindarme una beca que contribuye con mi perfil profesional. También a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por los conocimientos brindados en mi etapa profesional. Por último, quiero agradecer a la revista Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado en la publicación de la investigación.

Referencias bibliográficas

- Aranguren, D. y Buenaventura, L. (2019). *Análisis de la huella de carbono por turista para proponer estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en el área de influencia del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, sector de Playa Blanca, Bolívar* [Tesis de Grado, Universidad El Bosque]. <https://lc.cx/eyaCSt>
- Espíndola, C. y Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163-176. <https://goo.su/CIQk5I>

- GAD Municipal del cantón Pangua. (2018). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Pangua, Cotopaxi* [Archivo PDF]. <https://lc.cx/9IgS-X>
- Greentumble. (2024). *Negative Impacts of Tourism on the Environment*. <https://greentumble.com/environmental-impacts-of-tourism>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). *Cambio Climático 2007 Informe de síntesis*. https://lc.cx/fr_wsK
- Guevara, C. y Proaño, A. (2018). *Plan de gestión ambiental para la reducción de huella de carbono, mediante la consideración de la norma ISO 14064 y la metodología IPCC en el terminal terrestre de la ciudad de Latacunga* [Trabajo de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28369/1/BQ%20153.pdf>
- Gutiérrez, J. (2022). *Huella de carbono de las actividades turísticas en las Cataratas de Paccha del distrito de Jepelacio, provincia de Moyobamba* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://lc.cx/WfXqUm>
- Gutiérrez-Fernández, F. y Campos Bonilla, D. (2015). Estimación de la huella de carbono del municipio de Leticia –Amazonas (Colombia) y diseño de una propuesta de manejo de las principales emisiones de gases efecto invernadero. *Revista ambiental agua, aire y suelo*, 6(2), 1-23. https://lc.cx/_vGeRq
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2024). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. <https://lc.cx/jAIqt8>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador Informe 2022*. <https://lc.cx/3fSXZG>
- Molina, A. (2014). *La huella de carbono del sector hotelero de playa Blanca, San Antero, Córdoba*. Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe. Hacia un contexto de las ciencias ambientales: Iberoamérica. <https://lc.cx/Ke6-Tm>
- Nieto, C. (2020). *Medición de la huella de carbono de las actividades realizadas por los turistas que visitan Playa Grande - Taganga - Magdalena para proponer alternativas de mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero* [Tesis de Grado, Universidad El Bosque]. <https://lc.cx/ICAVeJ>
- Olivera, A. y Cristóbal, S. (2014). Gestión de la huella de carbono en turismo. *Innotec Gestión*, 6, 63-67. <https://goo.su/joNCh>
- Organización de las Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Organización Mundial del Turismo. (2007). *Turismo y cambio climático: Hacer frente a los retos comunes. Consideraciones preliminares de la OMT*. https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGTS/2015/MGTS_02/Unidad3/003.pdf
- Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://goo.su/1NVrm69>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2025). *Early Warning and Data Analytics*. <https://www.unep.org/topics/environment-under-review/early-warning-and-data-analytics>
- Ramírez, R. y Devia, A. (2017). *Diseño del Plan de Gestión Ambiental en la empresa de Confecciones Quiromar S.A.S. Bogotá Cundinamarca*. [Trabajo de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://lc.cx/6L7Qbl>
- Revilla Calderón, V. (2022). *Huella de Carbono del Turismo en Bolivia. Documento de Trabajo #02/2022. La Paz, Bolivia: UPB-SDSN Bolivia*. <https://lc.cx/PQPb4R>
- Reinoso Intriago, C. y Cadenas Martínez, R. (2022). Huella de carbono de los residuos sólidos en el mercado del cantón Yaguachi. *Producción, Ciencias e Investigación*, 6(43), 139-145. <https://journalprosciencences.com/index.php/ps/article/view/528/577>
- Rodríguez Buitrago, A. y Gutiérrez-Fernández, F. (2017). Reducción de la huella de carbono por medio de la implementación de un sistema fotovoltaico en el sector hotelero. Caso de estudio anaira hostel (Leticia-Amazonas – Colombia). *Revista de Tecnología*, 16(1), 69-182. <https://lc.cx/GOigxJ>
- Sandoval Gaviria, D. y Gutiérrez-Fernández, F. (2021). Cálculo de las huellas de carbono y ecológica del destino turístico de Puerto Nariño. *Turismo y Sociedad*, 29, 79-94. <https://lc.cx/bvCPWy>
- Torres Hechavarría, L. y Delgado Castro, A. (2021). Claves para la disminución de la huella de carbono en el turismo: Caso Cuba. *Explorador Digital*, 5(1), 6-24. <https://lc.cx/2TyKTR>
- Velastegui López, E. y Chaluiza, A. (2017). Sistema de información turística y desarrollo del recinto la Envidia en las Siete Cascadas del Zapanal cantón la Maná, Provincia de Cotopaxi. *Ciencia Digital*, 1(3), 15-27. <https://lc.cx/SkoEdF>

- Vilches, R., Dávila, F. y Varela, S. (2014). Determinación de la huella de carbono en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, campus Sur año base 2012. *La granja*, 21(1), 34-45. <https://lc.cx/gwIRwk>
- Zambrano Fernández, L. (2024). Impacto ambiental del manejo de los residuos sólidos en las Cascadas del Zapanal del cantón Pangua, provincia de Cotopaxi. *Veritas De Difusão Científica*, 5(2), 1057-1077. <https://goo.su/CfKmus>



Resiliencia comunitaria ante el cambio climático en asentamientos urbanos vulnerables: caso Monte Sinaí, Ecuador

Community resilience to climate change in vulnerable urban settlements: the case of Monte Sinai, Ecuador

Romina Gema Morán Parrales

Profesional Independiente, Ecuador

Autor de correspondencia: romimp_25@outlook.com

Recibido: 08/05/2025. Aceptado: 25/09/2025.

Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

Monte Sinaí, un sector urbano popular ubicado en Guayaquil, presenta una alta exposición a riesgos ambientales agravados por el crecimiento desordenado, la falta de servicios básicos y la débil respuesta institucional. Frente a este escenario, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el nivel de resiliencia comunitaria frente al cambio climático, con énfasis en las capacidades locales de adaptación, participación social y las condiciones de gobernanza ambiental. El estudio se desarrolló en 2025 mediante un enfoque cualitativo-descriptivo, utilizando análisis documental de fuentes oficiales, informes técnicos, datos estadísticos y literatura científica, complementado con una matriz de análisis territorial. Los resultados muestran que la comunidad carece de mecanismos efectivos para enfrentar de forma sostenida los impactos del cambio climático. Solo existen iniciativas aisladas en el sector, principalmente, debido a la baja articulación entre actores locales, escaso conocimiento ambiental y limitaciones estructurales en los servicios públicos. Se identificaron factores clave que afectan la capacidad de respuesta de la población, como la informalidad del asentamiento, la inseguridad jurídica de la tierra y la ausencia de planificación participativa. Se requiere fortalecer la resiliencia climática en sectores vulnerables como Monte Sinaí mediante intervenciones técnicas y una transformación en la forma en que las comunidades participan en la toma de decisiones ambientales. Se recomienda priorizar estrategias de gobernanza ambiental local que integren educación, mejora de infraestructura básica y coordinación interinstitucional.

Palabras clave: gobernanza ambiental, desarrollo urbano, asentamientos informales, participación ciudadana.

Abstract

Monte Sinaí, a low-income urban area located in Guayaquil, is highly exposed to environmental risks exacerbated by disorderly growth, lack of basic services, and weak institutional response. Given this scenario, the present research aims to assess the level of community resilience to climate change, with an emphasis on local adaptation capacities, social participation, and environmental governance conditions. The study was conducted in 2025 using a qualitative-descriptive approach, employing documentary analysis of official sources, technical reports, statistical data, and scientific literature, complemented by a territorial analysis matrix. The results show that the community lacks effective mechanisms to sustainably address the impacts of climate change. There are only isolated initiatives in the sector, mainly due to poor coordination between local actors, limited environmental knowledge, and structural limitations in public services. Key factors affecting the population's response capacity were identified, such as the informality of the settlement, legal uncertainty regarding land ownership, and the absence of participatory planning. Climate resilience in vulnerable sectors such as Monte Sinai needs to be strengthened through technical interventions and a transformation in the way communities participate in environmental decision-making. It is recommended that priority be given to local environmental governance strategies that integrate education, basic infrastructure improvements, and inter-institutional coordination.

Keywords: environmental governance, urban development, informal settlements, citizen participation.

Introducción

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos globales del siglo XXI, afectando de manera desproporcionada a las poblaciones en situación de vulnerabilidad (Emmerling *et al.*, 2024). En América Latina, y particularmente en Ecuador, los asentamientos urbanos informales como Monte Sinaí, ubicado al noroeste de Guayaquil, evidencian una alta exposición a eventos climáticos extremos como inundaciones, deslizamientos y olas de calor (Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC], 2022; Alatorre *et al.*, 2020). Estos impactos se ven agravados por deficiencias en la planificación urbana, acceso limitado a servicios básicos y una débil capacidad institucional para gestionar riesgos ambientales.

Portalanza *et al.* (2024), señalan que Monte Sinaí es una de las zonas con mayor vulnerabilidad al cambio climático, debido a su crecimiento desordenado y la falta de infraestructura adecuada. Además, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2019) destaca que Monte Sinaí alberga aproximadamente 550.000 personas en condiciones de precariedad, con limitada cobertura de servicios básicos, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático.

Este artículo busca evaluar la resiliencia comunitaria de Monte Sinaí frente al cambio climático, considerando aspectos sociales, ambientales y de gobernanza local. A través de un análisis documental basado en fuentes oficiales y literatura científica, se busca identificar las barreras más significativas que limitan la capacidad adaptativa de esta comunidad y plantear estrategias que fortalezcan su resiliencia desde una perspectiva de gobernanza ambiental participativa e inclusiva.

La investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas (ONU, 2023), especialmente el ODS 13, que promueve la acción por el clima, y el ODS 11, enfocado en ciudades y comunidades sostenibles. Ambos objetivos orientan la planificación urbana hacia modelos más resilientes, inclusivos y sostenibles, con énfasis en contextos de alta vulnerabilidad.

Materiales y métodos

La presente investigación fue desarrollada entre los meses de enero y abril de 2025 en el sector urbano de Monte Sinaí (Guayaquil, Ecuador), se aplicó un enfoque cualitativo de tipo descriptivo. Se empleó una estrategia de análisis documental, combinando el estudio de fuentes secundarias oficiales con una revisión comparativa de experiencias de intervención comunitaria vinculadas a la resiliencia climática.

La recolección de datos se basó exclusivamente en información pública, incluyendo informes técnicos y bases estadísticas accesibles proveniente de fuentes secundarias oficiales. A nivel nacional, se consultaron documentos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022).

A nivel internacional, se revisaron informes de organismos como el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022), y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, 2021).

Asimismo, se analizaron artículos científicos disponibles en plataformas académicas indexadas como SciELO, Redalyc y Google Scholar. Se aplicaron filtros como: publicaciones entre 2018 y 2025, y términos clave como “resiliencia comunitaria”, “gobernanza ambiental” y “asentamientos informales”. Se seleccionaron 38 documentos, priorizando aquellos que abordaban experiencias comparables en contextos urbanos vulnerables de América Latina (Figura 1).



Figura 1. Levantamiento de información de documentos

Análisis de impactos sociales y estudio comparativo

Para evaluar los efectos sociales relacionados con la exposición al cambio climático en Monte Sinaí, se aplicó el método de los cinco pasos basado en la teoría del cambio. Este permitió mapear relaciones causa-efecto entre las condiciones del entorno, las respuestas comunitarias y los impactos potenciales, estructurando así una visión integrada de las capacidades de resiliencia local.

Se definieron indicadores clave en salud, educación, medio ambiente y organización comunitaria. Además, como parte del análisis de contexto, se incorporó un estudio de mercado social mediante la revisión de tres experiencias de intervención comunitaria desarrolladas por las fundaciones Unidos por la Educación, AMOR 7.8 y SER.GI. Estas organizaciones sirvieron como referentes para identificar enfoques exitosos en la promoción de la educación ambiental, la participación ciudadana y la sostenibilidad territorial.

Resultados

Monte Sinaí presenta una alta exposición a riesgos ambientales como inundaciones, deslizamientos y contaminación por residuos sólidos, agravados por la falta de servicios básicos y planificación urbana. Aproximadamente 300.000 habitantes no tienen acceso al agua potable y dependen de camiones cisterna, lo que compromete su capacidad de adaptación frente a eventos extremos como sequías o emergencias sanitarias, según el Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF, 2024).

La cobertura de alcantarillado y drenaje es prácticamente nula, lo que incrementa significativamente el riesgo sanitario y ambiental durante la temporada de lluvias. Estudios locales identifican que gran parte del sector se encuentra sobre microcuencas sin infraestructura de evacuación pluvial, lo cual favorece la acumulación de aguas servidas, anegamientos y proliferación de enfermedades infecciosas en contextos de hacinamiento (Matamoras *et al.*, 2020).

Tabla 1. Indicadores clave sobre condiciones de resiliencia comunitaria en Monte Sinaí

Dimensión evaluada	Indicador	Valor (%)
Acceso a servicios básicos	Tasa de abastecimiento de agua (red pública)	16,2 %
	Tasa de conexión del alcantarillado	8,5 %
	Viviendas construidas con materiales precarios	63,0 %
Amenazas climáticas	Riesgos de inundación	86,0 %
	Tasa de deforestación	88,0 %
Gestión de residuos	Acceso a recolección de basura	23,0 %

Además, diversos levantamientos territoriales reportan decenas de miles de construcciones informales y una población significativa en viviendas precarias sin planificación urbana. Esto dificulta la aplicación de infraestructura resiliente ante inundaciones u olas de calor. Estas condiciones evidencian una resiliencia comunitaria limitada, resultado entre la alta exposición, vulnerabilidad estructural y limitada capacidad institucional para implementar estrategias sostenidas de adaptación (Hugo, 2023). Estas condiciones se reflejan en indicadores clave sobre acceso a servicios básicos, amenazas climáticas y gestión de residuos (véase Tabla 1).

Nivel de resiliencia comunitaria

Si bien existen redes comunitarias activas y liderazgo local en algunas cooperativas del sector, no se identifican mecanismos estructurados de gestión del riesgo ni una cultura ambiental consolidada. La mayoría de las acciones comunitarias son reactivas (por ejemplo, limpieza de canales durante la temporada de lluvias), y no responden a planes sostenibles o coordinados con las autoridades (Sutley y Lyles, 2023). Esto evidencia una resiliencia baja y fragmentada, más asociada a la supervivencia que a la adaptación planificada y sostenida.

Aplicación de la teoría del cambio en la evaluación de resiliencia climática comunitaria

Más que una herramienta para planificar intervenciones futuras, su aplicación se enfocó en identificar las relaciones causa-efecto que permiten comprender las condiciones actuales del territorio, así como los factores que inciden en la capacidad de respuesta y adaptación de la comunidad.

A diferencia de enfoques tradicionales que esperan hasta el final del proyecto para difundir resultados, aquí se reconoce la importancia de incorporar a la comunidad desde el inicio como parte activa del proceso (Hügel y Davies, 2020). Esta participación temprana facilita la comprensión del contexto local, fortalece la legitimidad de los hallazgos y promueve la adopción inmediata de soluciones prácticas.

En este sentido, se supera la lógica lineal de investigación académica desconectada del territorio, integrando el conocimiento científico con el conocimiento comunitario a través del diálogo. De esta manera, la resiliencia no se concibe

como un resultado estático, sino como un proceso dinámico de aprendizaje, organización y adaptación colectiva, en el que la comunidad se convierte en agente clave de transformación (Sutley y Lyles, 2023). Para ello, se aplicaron cinco pasos metodológicos que guiaron la interpretación de los hallazgos obtenidos en cada dimensión evaluada.

1. Ciclo de análisis

El ciclo de análisis abarcó el periodo comprendido entre 2018 y 2025, seleccionado por el aumento sostenido de eventos climáticos extremos y su impacto sobre las condiciones sociales y ambientales del sector de Monte Sinaí. Durante estos años, se registraron temporadas lluviosas con precipitaciones superiores al promedio histórico, provocando inundaciones frecuentes, anegamientos en zonas bajas y afectaciones sanitarias.

Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2023), en marzo de 2023 se alcanzó una precipitación normal de lluvia 444,5 mm presentando una anomalía de +172,0 mm, lo que superó en más de un 38,7 % los promedios habituales para la ciudad de Guayaquil. En paralelo, el Ministerio de Salud Pública reportó un incremento del 28 % en enfermedades transmitidas por vectores en el distrito correspondiente, asociado a condiciones ambientales precarias (Ministerio de Salud Pública del Ecuador [MSP], 2023).

Estudios sobre asentamientos informales en América Latina muestran que inundaciones y deficiencias de infraestructura aumentan significativamente el riesgo de enfermedades infecciosas como dengue, leptospirosis y diarreas (AcostaEspaña *et al.*, 2024). Se detectó que solo el 16,2 % de los hogares accede a agua potable mediante red pública, mientras que apenas el 8,5 % está conectado al sistema de alcantarillado (CAF, 2024).

Además, el 63 % de las viviendas están construidas con materiales precarios (INEC, 2022), lo que agrava su vulnerabilidad estructural ante amenazas climáticas. En términos de exposición, el sector presenta un 86 % de riesgo de inundación y una tasa de deforestación del 88 %, factores que limitan severamente la capacidad ecológica de mitigación (CAF, 2024). A esto se suma que solo el 23 % de la población cuenta con recolección formal de basura, lo que contribuye

a condiciones ambientales insalubres. Durante este periodo, no se identificaron estrategias de planificación climática local ni mecanismos efectivos de gobernanza ambiental en la zona.

La ausencia de coordinación interinstitucional y de programas de educación ambiental sostenidos contribuyó a mantener altos niveles de exposición y baja capacidad adaptativa. Así, el ciclo analizado permitió evidenciar una tendencia continua de vulnerabilidad estructural, agravada por condiciones sociales, ambientales e institucionales no resueltas.

2. Reto identificado y situación actual

La situación actual de Monte Sinaí evidencia un bajo nivel de adaptación frente al cambio climático, marcado por deficiencias estructurales y sociales (Delgado-Bohórquez, 2020). El principal reto detectado en Monte Sinaí es la construcción de una resiliencia comunitaria efectiva frente al cambio climático en un contexto caracterizado por la exclusión urbana, la precariedad habitacional y la falta de cobertura de servicios básicos.

La combinación de vulnerabilidades sociales, infraestructurales y ambientales, junto con la ausencia de planificación territorial y políticas públicas focalizadas, ha incrementado la exposición de la población a fenómenos climáticos extremos, especialmente inundaciones y enfermedades vectoriales (Hussainzad *et al.*, 2024). La baja articulación institucional y la carencia de estrategias de adaptación participativas agravan este escenario, dificultando una respuesta efectiva ante eventos cada vez más frecuentes e intensos.

Al 2025, Monte Sinaí sigue enfrentando una condición estructural de alta vulnerabilidad climática. Aunque se han realizado intervenciones aisladas en saneamiento y urbanización, los datos evidencian un rezago persistente reflejado en indicadores críticos: solo el 16,2 % de la población accede a agua potable mediante red pública, y solo el 8,5 % dispone de conexión al sistema de alcantarillado (CAF, 2024).

Las viviendas precarias alcanzan el 63 % (INEC, 2022), mientras que más del 75 % del territorio presenta riesgo severo de inundación (CAF, 2024). Las lluvias de 2023 superaron el promedio histórico, intensificando los daños sanitarios y físicos. El Ministerio de Salud Pública reportó un aumento del 28 % en enfermedades transmitidas por vectores (MSP, 2023), asociado a condiciones ambientales degradadas, como la limitada recolección de residuos (23 %).

A nivel institucional, persiste la ausencia de políticas de gestión de riesgos y educación ambiental permanentes. Esta situación evidencia que, sin una intervención coordinada entre Estado, comunidad y actores locales, la resiliencia del sector continuará siendo limitada frente a los efectos acelerados del cambio climático.

3. Actores relevantes y su nivel de involucramiento

En Monte Sinaí, los actores clave para la gestión de riesgos

climáticos presentan niveles de involucramiento desiguales y escasa articulación (McEvoy *et al.*, 2019). Los resultados permiten observar que el impacto del cambio climático no es uniforme dentro de la comunidad.

Las mujeres, especialmente aquellas que son jefas de hogar, enfrentan una doble carga al asumir responsabilidades domésticas y comunitarias en contextos de riesgo ambiental. La niñez también se ve afectada de forma significativa, ya que la exposición a enfermedades por contaminación, la falta de espacios seguros y la escasa cobertura educativa ambiental limitan sus oportunidades de desarrollo (UNICEF, 2021).

En tanto, los adultos mayores y personas con discapacidad presentan mayores barreras de movilidad y acceso a servicios, lo que los convierte en grupos altamente vulnerables durante emergencias. Esta dimensión interseccional de la vulnerabilidad climática debe incorporarse en futuras estrategias de resiliencia, priorizando un enfoque de inclusión social y justicia ambiental (Phraknoi *et al.*, 2023).

Aunque existen liderazgos barriales y redes vecinales con potencial organizativo en Monte Sinaí, estos carecen de respaldo técnico e institucional sostenido. Diversos estudios muestran que, en asentamientos populares de países en desarrollo, la exclusión de las comunidades de los procesos de gobernanza institucional contribuye a intervenciones fragmentadas y sin continuidad, lo cual dificulta el fortalecimiento de la resiliencia urbana (Rivero-Villar y Vieyra Medrano, 2022).

En el caso local, documentos del 5 de Guayaquil subrayan la necesidad de articular coordinación multinivel en gestión de riesgos —entre actores como el Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Municipal de Guayaquil, la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil [EMAPAG-EP] y el Ministerio de Salud Pública del Ecuador [MSP]— y reportan limitaciones operativas (p. ej., manejo de aguas lluvias muy limitado en la cuenca noroeste), lo que evidencia la ausencia de mecanismos sostenidos para el fortalecimiento de capacidades locales de adaptación climática (Municipio de Guayaquil, 2014; Municipio de Guayaquil, 2019).

Las intervenciones llevadas a cabo por organizaciones sociales, fundaciones y universidades han sido mayoritariamente puntuales, sin continuidad ni una coordinación intersectorial clara, lo que limita el alcance de sus impactos. Esta falta de articulación limita la consolidación de una gobernanza ambiental participativa y sostenida, esencial para fortalecer la resiliencia comunitaria frente a eventos climáticos extremos.

4. Relación entre capacidades, barreras y efectos observables

El análisis evidenció que las capacidades comunitarias en Monte Sinaí para hacer frente al cambio climático están severamente limitadas por barreras estructurales y sociales. La falta de educación ambiental, la informalidad en la tenencia

de la tierra y la precariedad en servicios básicos dificultan la implementación de acciones sostenidas (Deshpande *et al.*, 2019). Estas condiciones generan efectos concretos: acumulación de basura, colapso de canales pluviales, deterioro del entorno y proliferación de enfermedades respiratorias y transmitidas por vectores.

La ausencia de infraestructura adecuada, sumada al desconocimiento de derechos ambientales y la escasa cultura de prevención, perpetúan un ciclo de vulnerabilidad estructural (Minuchin, 2021). Aunque existen esfuerzos puntuales liderados por vecinos o fundaciones, estos no logran incidir estructuralmente debido a la falta de respaldo técnico, coordinación interinstitucional y financiamiento sostenido.

5. Valor social observado y posibles escenarios

Si bien Monte Sinaí no cuenta actualmente con un sistema estructurado de resiliencia comunitaria, se identificaron expresiones de valor social en forma de iniciativas locales aisladas. Mingas barriales, actividades de reciclaje informal, liderazgo vecinal frente a emergencias y la participación de voluntarios en jornadas ambientales organizadas por fundaciones o universidades reflejan un capital social activo pero disperso (Hidalgo-Crespo *et al.*, 2023).

Estas acciones, aunque limitadas en escala y continuidad, evidencian la disposición de la comunidad a involucrarse cuando existen convocatorias claras y acompañamiento. No obstante, la falta de formación técnica, el escaso acceso a recursos y la ausencia de articulación institucional impiden que estas iniciativas se conviertan en procesos sostenibles de adaptación climática. En este escenario, el potencial transformador de la comunidad permanece subutilizado por falta de mecanismos que permitan sistematizar, escalar o replicar buenas prácticas.

Comparación con experiencias exitosas

El análisis las intervenciones de las fundaciones Unidos por la Educación, AMOR 7.8 y SER.GI, como se muestra

en la Tabla 2 permitió identificar no solo elementos clave en sus intervenciones, sino también resultados concretos en términos de mejoras ambientales y fortalecimiento de la resiliencia local. Todas las organizaciones comparten tres factores fundamentales: participación comunitaria sostenida, educación ambiental adaptada al contexto, y articulación efectiva con actores públicos y privados. Estos factores se han traducido en impactos tangibles que pueden servir de referencia para contextos como el de Monte Sinaí.

En el caso de Unidos por la educación, la implementación de huertos escolares, sistemas de reciclaje y formación ambiental en más de 230 instituciones ha contribuido a reducir la generación de residuos en al menos un 30 % en las unidades educativas intervenidas, según reportes institucionales (Moran Parrales, 2023). La introducción de infraestructura ecoeficiente (sistemas de recolección de agua lluvia, baños secos, etc.) también mejoró el uso de recursos hídricos en entornos escolares vulnerables.

Fundación AMOR 7.8 ha logrado reducir la quema de residuos en comunidades rurales costeras, promoviendo prácticas de compostaje y reutilización de materiales agrícolas. En sus intervenciones, se registró una disminución del 40 % en acumulación de desechos a cielo abierto y un mejor manejo del agua de riego, según testimonios de los participantes y reportes técnicos. Además, la integración de saberes ancestrales ha fortalecido la conexión cultural con el territorio, impulsando la regeneración del paisaje local (González García y Ortiz Granados, 2025).

Fundación SER.GI, en su trabajo en barrios urbanos de alta vulnerabilidad en Cataluña, ha implementado proyectos de regeneración ambiental participativa, como limpieza de riberas, reforestación urbana y educación ambiental. En los barrios intervenidos se registró una disminución entre el 20 y el 35 % en residuos mal dispuestos en espacios públicos, y mejoras en el uso compartido del espacio verde, lo cual fue acompañado por un aumento en la participación vecinal en actividades ambientales (Moran Parrales, 2023).

Tabla 2. Comparación de elementos clave en intervenciones comunitarias

Fundación	Participación comunitaria	Educación ambiental	Enlace con actores externos	Impacto ambiental observado
Unidos por la Educación	Alta (230 instituciones)	Formal e institucional	Alta (Ministerio de Educación, UNICEF)	Reducción del 30 % de residuos escolares; uso eficiente del agua
AMOR 7.8	Alta (12 comunidades rurales)	Basada en saberes locales	Media (ONGs, turismo comunitario)	Reducción del 40 % de quema de residuos; mejora en gestión hídrica
SER.GI	Moderada (40 proyectos comunitarios)	Inclusiva y adaptada a población vulnerable	Alta (municipios, redes europeas)	Disminución de 20–35 % de residuos en espacios públicos urbano
Monte Sinaí	Parcial (acciones puntuales)	Esporádica y sin enfoque territorial	Baja (intervenciones aisladas)	Sin medición clara; entorno degradado, residuos acumulados

En contraste, Monte Sinaí carece de procesos estructurados que promuevan estos resultados. La comunidad de Monte Sinaí continúa dependiendo de acciones reactivas sin continuidad, como mingas esporádicas o campañas puntuales que no se integran en un proceso estructurado. La falta de articulación institucional, de espacios de formación permanente y de reconocimiento del saber comunitario impide que se generen impactos ambientales sostenibles en el tiempo.

Discusión

La evaluación de la resiliencia comunitaria en Monte Sinaí frente al cambio climático revela un panorama crítico de vulnerabilidad estructural que abarca dimensiones ambientales, sociales e institucionales. Las condiciones de informalidad urbana, la falta de servicios básicos y la baja apropiación ciudadana de la problemática ambiental configuran un escenario en el que los impactos climáticos no solo son más severos, sino también más difíciles de gestionar.

Este hallazgo coincide con estudios realizados en otros asentamientos informales de América Latina, como los presentados por Alatorre *et al.* (2020), que destacan que la pobreza estructural y la debilidad institucional son factores multiplicadores del riesgo climático en contextos urbanos periféricos.

En Monte Sinaí, los datos muestran que la población carece de acceso regular a agua potable y en su mayoría no dispone de alcantarillado, lo que agudiza la exposición a enfermedades durante eventos de lluvias intensas. A esto se suma la baja participación comunitaria en procesos formativos y una marcada desconfianza institucional, lo que limita el desarrollo de gobernanza ambiental participativa, clave para construir resiliencia (Benites-Lazaro y Mello-Théry, 2019).

Una de las principales limitaciones del estudio radica en la naturaleza documental de la investigación, basada exclusivamente en fuentes secundarias. Si bien se utilizaron informes oficiales, literatura científica y datos de organizaciones reconocidas, no se incluyeron entrevistas, encuestas ni observación directa en el territorio, lo que limita la posibilidad de recoger percepciones comunitarias actualizadas o dinámicas informales que no están registradas oficialmente. Como señala Bowen (2009), el análisis documental no logra alcanzar la profundidad interpretativa que aportan los métodos cualitativos con participación directa de los actores.

Asimismo, muchas de las estadísticas disponibles provienen de estudios generales del distrito y no específicamente del polígono urbano de Monte Sinaí, lo que puede generar cierta imprecisión en la caracterización del área. La incorporación de metodologías participativas, como mapeo comunitario, talleres o entrevistas semiestructuradas, habría permitido complementar el enfoque documental con una visión vivencial más cercana a la realidad social y ambiental del territorio.

En contextos latinoamericanos como los asentamientos informales, se ha demostrado que el uso de herramientas participativas no solo facilita la construcción de conocimiento situado, sino que fortalece el protagonismo de la comunidad como agente de cambio local (Vergara-Perucich y AriasLoyola, 2020).

En este sentido, la mejora de la resiliencia comunitaria en sectores como Monte Sinaí requiere un abordaje integral que articule intervenciones físicas, sociales e institucionales.

El mejoramiento de estos asentamientos no debe limitarse a soluciones de infraestructura aisladas, sino que debe integrar estrategias que aseguren la tenencia de la tierra, mejoren la arquitectura y eficiencia energética, promuevan espacios públicos, conectividad urbana y planificación territorial participativa.

Según Núñez Collado y Wang (2020), estas seis áreas clave —tenencia segura, espacios públicos, arquitectura energéticamente eficiente, conectividad, manejo del suelo y estrategias integradas de adaptación y mitigación— configuran una ruta eficaz para fortalecer la resiliencia urbana, especialmente en contextos altamente vulnerables expuestos a múltiples riesgos climáticos.

A pesar de estas limitaciones, la aplicación de la teoría del cambio como marco evaluativo permitió organizar los hallazgos de manera lógica, revelando tanto las barreras como los posibles puntos de partida para futuros procesos de fortalecimiento comunitario.

La experiencia de Monte Sinaí refuerza la necesidad de políticas públicas diferenciadas para sectores urbanos vulnerables, con enfoque participativo y territorial, y evidencia que sin planificación, coordinación interinstitucional y formación ciudadana, la resiliencia climática seguirá siendo una meta distante para miles de familias expuestas a riesgos evitables de forma cotidiana (Satterthwaite *et al.*, 2020).

Esta visión se alinea también con hallazgos recientes de la literatura científica: Parsons *et al.* (2025) resaltan que, aunque muchas iniciativas participativas en adaptación climática tienden a reproducir desigualdades estructurales, existen casos transformadores que promueven empoderamiento comunitario y toma de decisiones inclusiva. Cabe destacar que, si bien la mayoría de las fuentes utilizadas corresponden a informes técnicos e institucionales, el análisis se sustentó también en artículos científicos indexados en revistas académicas reconocidas, lo que fortalece la validez del enfoque aplicado.

El análisis visual comparativo revela diferencias estructurales importantes entre las experiencias exitosas de las fundaciones analizadas y el caso de Monte Sinaí. Las fundaciones Unidos por la Educación, AMOR 7.8 y SER.GI presentan intervenciones robustas en términos de participación comunitaria, formación ambiental continua y articulación institucional, lo cual se refleja directamente en su impacto ambiental medible.

Estas intervenciones no solo están mejor organizadas, sino que han logrado consolidarse gracias a una planificación estratégica, el involucramiento de actores múltiples y la continuidad en el tiempo.

Un ejemplo complementario es el estudio realizado en barrios periféricos de Machala, donde la implementación de metodologías participativas —como el mapeo comunitario y talleres colaborativos— permitió identificar con mayor precisión las zonas vulnerables a inundaciones. Esta estrategia facilitó la integración del conocimiento local con herramientas técnicas, fortaleciendo tanto el diagnóstico territorial como la apropiación comunitaria de las soluciones propuestas (Tauzer *et al.*, 2019). Casos como este evidencian que los procesos participativos sostenidos en el tiempo generan resultados más sostenibles y alineados con las necesidades reales del territorio.

En contraste, Monte Sinaí presenta un desempeño limitado en las cuatro dimensiones clave de resiliencia: social, ambiental, institucional y participativa, donde la participación comunitaria se limita a acciones reactivas y sin estructura sostenida, el estudio participativo llevado a cabo en zonas periurbanas de Machala (provincia de El Oro) ofrece un marco útil de comparación (Tauzer *et al.*, 2019).

En este caso, se organizaron once grupos focales con 65 personas y se realizaron mapeos comunitarios validados en terreno, lo que permitió identificar áreas vulnerables a inundaciones desde la perspectiva de los propios habitantes. Además, combinaron esta información con datos históricos, registros oficiales y sistemas de alerta temprana comunitaria, lo que facilitó análisis más precisos y situados.

Los resultados mostraron que niños, ancianos, migrantes recientes y familias de bajos ingresos eran los grupos más expuestos, y también revelaron barreras estructurales como falta de organización social, escasa participación política y baja capacidad financiera.

Todo esto permitió articular acciones adaptativas junto a actores institucionales de forma más contextualizada y efectiva. Estas experiencias evidencian que, a diferencia del caso de Monte Sinaí, donde existe una desconexión estructural y ausencia de continuidad, intervenciones participativas bien articuladas tienden a generar diagnósticos más precisos, apropiación comunitaria y sostenibilidad en el tiempo.

Esta sinergia crea condiciones para un impacto ambiental medible y sostenible. En Monte Sinaí, la ruptura de esta cadena interdependiente revela que no basta con replicar acciones aisladas de éxito, sino que es necesario construir un ecosistema local de resiliencia, donde cada componente refuerce a los demás.

Como señala Sharifi (2023), los sistemas urbanos deben ser abordados desde una perspectiva integrada que considere la interacción dinámica entre los componentes sociales, ecológicos y tecnológicos, entendidos como un sistema socio-ecológico-tecnológico (SETS). Esta visión destaca que la resiliencia no puede construirse mediante intervenciones

fragmentadas o soluciones genéricas, ya que los contextos urbanos complejos requieren respuestas adaptadas a sus condiciones específicas.

Por ello, más que importar fórmulas, el reto en Monte Sinaí radica en adaptar buenas prácticas al entramado local, reconociendo los saberes comunitarios y promoviendo procesos de apropiación colectiva que fortalezcan la capacidad de respuesta y transformación ante los riesgos.

En este sentido, el contraste más revelador no está únicamente en los niveles alcanzados por las experiencias exitosas de otras fundaciones, sino en cómo sus dimensiones estratégicas se articulan entre sí. Por ejemplo, estudios como el de Santamaría y Madariaga (2019) demuestran que una participación comunitaria sólida permite diseñar procesos de transformación social y ambiental contextualizados, los cuales, a su vez, fortalecen las alianzas interinstitucionales y facilitan la movilización de recursos técnicos y financieros.

Estas experiencias han logrado resultados sostenibles y medibles gracias a su enfoque integral, basado en la coproducción de conocimiento y la apropiación social del cambio. De este modo, se refuerza la idea de que, sin planificación, articulación institucional y empoderamiento local, la resiliencia climática no puede consolidarse como una realidad operativa, sino que permanece como un ideal lejano para comunidades en situación de vulnerabilidad estructural, como Monte Sinaí.

Conclusiones

La comunidad de Monte Sinaí enfrenta condiciones críticas de vulnerabilidad frente al cambio climático, determinadas por una combinación de factores sociales, ambientales y de gobernanza. A pesar de algunos esfuerzos espontáneos de la población, las capacidades locales de adaptación siguen siendo limitadas por la falta de planificación urbana, la precariedad en servicios básicos y la débil articulación institucional.

A través de la aplicación de la teoría del cambio y el análisis comparativo con experiencias exitosas, se constató que la resiliencia comunitaria depende no solo de la voluntad local, sino de la interacción sinérgica entre participación ciudadana, educación ambiental continua y acompañamiento técnico por parte de actores externos. Las intervenciones más efectivas son aquellas que logran consolidar estos elementos como procesos integrales y sostenibles, no como acciones aisladas.

La comunidad de Monte Sinaí presenta una estructura territorial altamente vulnerable frente al cambio climático, con capacidades de respuesta limitadas en sus dimensiones social, ambiental e institucional. Aunque existen algunas fortalezas a nivel comunitario, estas se presentan de forma dispersa y sin articulación efectiva.

Monte Sinaí se caracteriza por la precariedad de servicios básicos, con bajo nivel de conocimiento sobre temas ambientales y escasa participación organizada en procesos

de prevención o mitigación. Las redes de vecinos y ciertas acciones solidarias evidencian un capital humano valioso, aunque desorganizado y sin apoyo técnico que permita estructurar respuestas sostenibles.

Las condiciones del territorio son críticas: existe una deficiente gestión de residuos, baja cobertura de agua potable y alcantarillado, y un entorno urbano degradado. Estas carencias incrementan los riesgos sanitarios y dificultan cualquier proceso de adaptación frente a los efectos del cambio climático.

La gobernanza local carece de estrategias claras de adaptación y una débil coordinación entre instituciones públicas, organizaciones sociales y ciudadanía. La falta de canales efectivos de participación y la desconfianza hacia las autoridades locales constituyen barreras importantes para construir resiliencia desde la base.

Monte Sinai no cuenta actualmente con un ecosistema de resiliencia consolidado. Sin embargo, el estudio permite afirmar que existe un capital social latente que, con la orientación adecuada, podría ser la base para desarrollar procesos comunitarios sostenibles de adaptación climática. Las soluciones deberán ser contextualizadas, inclusivas y construidas desde el reconocimiento de la diversidad del territorio y de los actores que lo habitan.

Se requieren varias líneas de acción que podrían fortalecer la resiliencia comunitaria en Monte Sinai. Primero, es fundamental implementar programas permanentes de educación ambiental dirigidos a niños, jóvenes y líderes barriales, adaptados al contexto local.

Segundo, se recomienda establecer mecanismos de articulación entre el GAD municipal, organizaciones sociales y la comunidad para coordinar acciones en torno a la gestión de riesgos. Tercero, se sugiere impulsar procesos de regularización del suelo que permitan mejorar la infraestructura básica y reducir la exposición física a amenazas climáticas.

Existe la necesidad de incorporar un enfoque inclusivo en las políticas públicas del sector, que considere especialmente a mujeres, niños, niñas y personas con discapacidad como grupos prioritarios dentro de las estrategias de adaptación.

Referencias bibliográficas

- Acosta-España, J. D., Romero-Álvarez, D., Luna, C. y Rodríguez-Morales, A. J. (2024). Infectious disease outbreaks in the wake of natural flood disasters: Global patterns and local implications. *Le Infezioni in Medicina*, 32(4), 451–462. https://www.infezmed.it/media/journal/Vol_32_4_2024_4.pdf
- Alatorre, J. E., Peres Núñez, W., Bárcena Ibarra, A. y Samaniego, J. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?*. CEPAL. <https://url-shortener.me/6N8Q>
- Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe [CAF]. (2024). *EXPOST Informe de evaluación 2024: programa integral de obras viales y de agua potable en zonas densamente pobladas de guayaquil, fase V*. <https://www.caf.com/media/4672711/eval-expost-ecuador-obras-viales-y-de-agua-potable.pdf>
- Benites-Lazaro, L. L. y Mello-Théry, N. A. (2019). Empowering communities? Local stakeholders' participation in the Clean Development Mechanism in Latin America. *World Development*, 114, 254–266. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.10.005>
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://www.emerald.com/qrj/article-abstract/9/2/27/360733/Document-Analysis-as-a-Qualitative-Research-Method?redirectedFrom=fulltext>
- Deshpande, T., Michael, K. y Bhaskara, K. (2019). *Barriers and enablers of local adaptive measures: a case study of Bengaluru's informal settlement dwellers*. *Local Environment*, 24(3), 167–179. <https://doi.org/10.1080/13549839.2018.1555578>
- Delgado-Bohórquez, A. (2020). Hábitat accesible. Desarrollo de modelos conceptuales urbano-habitacionales. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(7), 24–36. https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/3143/3215?utm_source=
- Emmerling, J., Andreoni, P., Charalampidis, I., Dasgupta, S., Dennig, F., Feindt, S., Fragkiadakis, D., Fragkos, P., Fujimori, S., Gilli, M., Grottera, C., Guivarch, C., Kornek, U., Kriegler, E., Malerba, D., Marangoni, G., Méjean, A., Nijssse, F., Piontek, F., ... Tavoni, M. (2024). A multi-model assessment of inequality and climate change. *Nature Climate Change*, 14(12), 1254–1260. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02151-7>
- Phraknoi, N., Sutanto, J., Hu, Y., Goh, Y. S. y Lee, C. E. C. (2023). Older people's needs in urban disaster response: A systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, 103809. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103809>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF]. (2021). *Adolescentes y jóvenes contra el cambio climático*. <https://www.unicef.org/ecuador/adolescentes-y-j%C3%B3venes-contr-el-cambio-clim%C3%A1tico>
- Hidalgo-Crespo, J., Amaya-Rivas, J. L., Ribeiro, I., Soto, M., Riel, A. y Zwolinski, P. (2023). Informal waste pickers in Guayaquil: Recycling rates, environmental benefits, main barriers, and troubles. *Heliyon*, 9(9), e19775. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19775>
- Hugo, J. M. (2023). Heat stress: Adaptation measures in South African informal settlements. *Buildings and Cities*, 4(1), 55–73. <https://doi.org/10.5334/bc.269>

- Hussainzad, E.A. y Gou, Z., (2024). Climate risk and vulnerability assessment in informal settlements of the Global South: A critical review. *Land*, 13(9), 1357. <https://doi.org/10.3390/land13091357>
- Hügel, S. y Davies, A. R. (2020). Public participation, engagement, and climate change adaptation: A review of the research literature. *WIREs Climate Change*, 11(4), e645. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.645>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2022). *Información ambiental en hogares 2022*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-ambiental-en-hogares-2022/>
- Gonzalez García, O. y Ortiz Granados, V. (2025). *Integración de saberes ancestrales y conocimientos previos para el uso de la restauración ecológica como herramienta de educación ambiental en la comunidad indígena de Coemani en el municipio de Solano, departamento de Caquetá*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 10508–10539. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15764
- Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC]. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (WGII AR6)*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Parsons, M., Godden, N. J., Henrique, K. P., Tschakert, P., Gonda, N., Atkins, E., Steen, K. y Crease, R. P. (2025). Participatory approaches to climate adaptation, resilience, and mitigation: A systematic review. *Ambio*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-025-02202-z>
- Portalanza, D., Torres, M., Rosso, F., Zuluaga, C. F., Durigon, A., Horgan, F. G., Álava, E. y Ferraz, S. (2024). Climate variability and change in Ecuador: dynamic downscaling of regional projections with RegCM4 and HadGEM2-ES for informed adaptation strategies. *Frontiers in Climate*, 6. <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1344868>
- Santamaría Ramos, J. A. y Madariaga Orozco, C. A. (2019). La participación ciudadana en los procesos de innovación social de las fundaciones de cuarta generación en la ciudad de Barranquilla. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (56), 126–140. <https://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/1041>
- Sharifi, A. (2023). Resilience of urban social-ecological-technological systems (SETS): A review. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104910. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670723005218?via%3Dihub>
- Sutley, E. J. y Lyles, L. W. (2023). Theory of change: Community engagement as an intervention to create disaster resilience. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1172659. <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2023.1172659/full>
- Matamoras, D., Arias-Hidalgo, M., Cornejo-Rodríguez, M. d. P. y Borbor-Cordova, M. J. (2020). Hydrodynamic analysis of a stormwater system, under data scarcity, for decision-making process: The Durán case study (Ecuador). *Sustainability*, 12(24), 10541. <https://doi.org/10.3390/su122410541>
- McEvoy, S., van de Ven, F. H. M., Garcés Santander, A. y Slinger, J. H. (2019). The influence of context on the use and added value of Planning Support Systems in workshops: An exploratory case study of climate adaptation planning in Guayaquil, Ecuador. *Computers, Environment and Urban Systems*, 77, 101353. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101353>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2023). *Boletín de precipitación y temperatura: Marzo 2023*. https://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/nacionales/precipitacion/2023/boletin_agroclima_marzo_2023.pdf
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador [MSP]. (2023). *Enfermedades transmitidas por vectores*. https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2023/02/Gaceta-SE-3_2023.pdf
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP]. (2019). *Rehabilitación de la vía de acceso al hospital de Monte Sinai*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/02/LOTAIP_2_Monte-Sinai.pdf
- Minuchin, L. (2021). Prefigurative urbanization: Politics through infrastructural repertoires in Guayaquil. *Political Geography*, 85, 102316. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2020.102316>
- Moran Pinales, R. G. (2023). *Diseño de proyecto de fortalecimiento de capacidades con relación a buenas prácticas ambientales para la mitigación y adaptación al cambio climático en Monte Sinai, provincia del Guayas* [Tesis de maestría, ESPAE-ESPOL]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/62582>
- Municipio de Guayaquil. (2014). *Guía de organización multinivel para la reducción de riesgos a desastres en contextos urbanos, con enfoque basado en derechos*. <https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/guia-multinivel-diagramado.pdf>
- Municipio de Guayaquil. (2019). *Sistematización de la experiencia de Guayaquil dentro de la campaña mundial “Desarrollando ciudades resilientes: ¡mi ciudad se está preparando!”*. <https://documentos.guayaquil.gob.ec/GER-Documentos%20Varios/Ciudad%20Resiliente.pdf>
- Naciones Unidas. (2023). *Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://sdgs.un.org/es/goals>
- Núñez Collado, J. R. y Wang, H. H. (2020). Slum upgrading and climate change adaptation and mitigation: Lessons from Latin America. *Cities*, 104, 102791. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275119301040?via%3Dihub>

- Rivero-Villar, A. y Vieyra Medrano, A. (2022). Governance for urban resilience in popular settlements in developing countries: A case-study review. *Climate and Development*, 14(3), 208–221. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17565529.2021.1906203>
- Satterthwaite, D., Archer, D., Colenbrander, S., Dodman, D., Hardoy, J., Mitlin, D. y Patel, S. (2020). Building resilience to climate change in informal settlements. *One Earth*, 2(2), 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.002>
- Tauzer, E., Borbor-Cordova, M. J., Mendoza, J., De La Cuadra, T., Cunalata, J. y Stewart-Ibarra, A. M. (2019). A participatory community case study of periurban coastal flood vulnerability in southern Ecuador. *PLOS ONE*, 14(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224171>
- Vergara-Perucich, F. y Arias-Loyola, M. (2020). Community mapping with a public participation geographic information system in informal settlements. *Geographical Research*, 59(2), 268–284. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1745-5871.12458>



Diversidad florística en plantaciones de *Tectona grandis* L. f. de diferentes edades

Floristic Diversity in Plantations of *Tectona grandis* L.f. of Different Ages

José Antonio Burgos Cevallos¹, Leontes Leónidas Zambrano Barcos², Henry Paúl Villón Leoro², Ciro Ludovico Zambrano Barcos³, Marcos Paul Chila Zambrano⁴, Luis Fernando Vera Benites⁴

¹Ministerio de Agricultura y Ganadería / Analista Agropecuario Provincial, Ecuador

²Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador

³Unidad Educativa El Empalame, Ecuador

⁴Investigador Independiente

Autor de correspondencia: luisverabenites.ec@gmail.com

Recibido: 11/08/2024. Aceptado: -18/09/2025.

Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

La agroforestería se consolida como un sistema de producción sostenible que promueve el secuestro de carbono y el ciclaje eficiente de nutrientes, destacándose entre sus beneficios ecológicos el incremento de la diversidad vegetal, factor clave para el mantenimiento de la salud de los ecosistemas. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la diversidad florística en plantaciones de *Tectona grandis* (teca) con edades comprendidas entre 2 y 18 años, durante la época lluviosa, en los cantones de Pichincha, Palenque y Balzar (Ecuador). Para ello, se aplicaron los índices de similitud de Jaccard, así como los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson. Los resultados del índice de Shannon-Wiener revelaron una alta diversidad en las localidades de La Colina, La Párraga, Cerro Verde, La Reserva y San Agustín, mientras que el índice de Simpson indicó una diversidad moderada en La Reserva, Cerro Verde, La Párraga, La Colina, San Agustín y Río Grande-Pichincha. El incremento progresivo de la diversidad vegetal observado en las plantaciones sugiere una mejora significativa en la funcionalidad y resiliencia del ecosistema, reforzando el potencial de los sistemas agroforestales como estrategia de manejo sostenible.

Palabras clave: carbono, conservación, especies, nutrientes, sostenibilidad.

Abstract

Agroforestry is recognized as a sustainable production system that enhances carbon sequestration and efficient nutrient cycling, with its ecological benefits including increased plant diversity, a key factor in maintaining ecosystem health. This study aimed to assess floristic diversity in *Tectona grandis* plantations aged 2 to 18 years during the rainy season in the cantons of Pichincha, Palenque, and Balzar (Ecuador). The Jaccard similarity index, as well as the Shannon-Wiener and Simpson diversity indices, were applied for analysis. Results from the Shannon-Wiener index revealed high diversity in the localities of La Colina, La Párraga, Cerro Verde, La Reserva, and San Agustín, while the Simpson index indicated moderate diversity in La Reserva, Cerro Verde, La Párraga, La Colina, San Agustín, and Río Grande-Pichincha. The progressive increase in plant diversity observed in the plantations suggests a significant improvement in ecosystem functionality and resilience, reinforcing the potential of agroforestry systems as a sustainable management strategy.

Keywords: carbon, conservation, species, nutrients, sustainability.

Introducción

La biodiversidad abarca tres niveles fundamentales: diversidad genética, de especies y de ecosistemas (García *et al.*, 2024). Para entender este concepto hay que reconocer las complejas interacciones entre organismos de distintas especies dentro de un ecosistema lo que refleja tanto la abundancia como la variedad de organismos vivos. Un aspecto clave de la biodiversidad es su variabilidad espacial y temporal, es decir, cómo cambia a través de los paisajes y a lo largo del tiempo (Ampoorter *et al.*, 2020).

Para cuantificar y monitorear la biodiversidad, los investigadores emplean índices como la riqueza de especies, definida como el número de individuos presentes en un área determinada. Estas métricas constituyen la base de numerosas estrategias agroecológicas y permiten evaluar los desafíos asociados con la producción y la sostenibilidad de los sistemas agrarios. Asimismo, funcionan como indicadores claves de la degradación de los ecosistemas, ya que proporcionan información relevante sobre la salud ambiental y respaldan los esfuerzos de restauración (Soubry *et al.*, 2021).

Los bosques desempeñan un papel fundamental en la conservación de la diversidad biológica a escala global (Corona *et al.*, 2011). Se estima que albergan aproximadamente el 50 % de la biodiversidad mundial, concentrándose particularmente en los bosques tropicales, donde se localiza al menos el 80 % de las especies de plantas y animales (Winkel *et al.*, 2022). Esta relevancia ecológica ha motivado numerosos estudios científicos sobre la estructura y diversidad florística de estos ecosistemas, los cuales aportan información clave para entender su funcionamiento, conservación y manejo sostenible (Winkel *et al.*, 2022). La caracterización de estos atributos resulta esencial para desarrollar estrategias efectivas de preservación y restauración ecológica (Li *et al.*, 2022).

Dada la relevancia ecológica de la biodiversidad, se han desarrollado diversos índices para su cuantificación, entre los cuales destacan el índice de Simpson por su capacidad para evaluar la dominancia de especies en una comunidad (Kitikidou *et al.*, 2024). Este parámetro ecológico resulta particularmente útil al identificar si una comunidad está dominada por una o pocas especies (Willis y Martin, 2022). El índice de Simpson permite cuantificar la diversidad considerando tanto el número de especies presentes como su abundancia relativa en un ecosistema determinado (Roswell *et al.*, 2021).

El índice de Shannon-Weaver permite estimar el grado de incertidumbre y pronostica que especie corresponderá un individuo dentro de un conjunto de especies (Mofokeng *et al.*, 2024). La incertidumbre se incrementa en función del número de especies y la distribución irregular del número de individuos entre las mismas (Pigot *et al.*, 2023). Por otra parte, el índice de Shannon tiene dos características: Es igual a cero

si sólo hay una especie en la muestra, y tiene un valor máximo cuando todas las especies están representadas por un mismo tipo de individuos (Herrera *et al.*, 2023).

El índice de Jacquard es uno de los más utilizados para el estudio de comunidades permitiendo la comparación entre estas a través de la presencia o no de especies en cada una de ellas (Wang *et al.*, 2023). Este índice utiliza datos de tipo cuantitativo (Hnykin y Ivantsova, 2021). La comparación permite relacionar los cambios en la diversidad vegetal entre comunidades, con variaciones entre los parámetros climáticos o de la calidad del suelo, que, en el caso de las plantaciones forestales, tienden a mejorar con los años (Hou *et al.*, 2021).

Las sembradíos forestales de tipo comercial generan productos importantes en la industria como: madera para diferentes fines y productos no maderables como la miel, diversos forrajes, además de beneficios paisajísticos y conservación de suelos, captura de carbono y de agua atmosférica, entre otros, cuyo proceso de recuperación es a mediano y largo plazo, donde además de la biodiversidad es un indicador clave, para medir la salud del ecosistema (Panwar *et al.*, 2022; Gupta, 2020; Kaushal *et al.*, 2021).

Dentro de los sistemas agroforestales, las plantaciones de teca se desarrollan por lo general en zonas tropicales de América Latina, África y Asia, teniendo aproximadamente una superficie de 5 millones de hectáreas (Kuyah *et al.*, 2020).

La especie ha experimentado una expansión significativa en su área de cultivo debido a su reconocido valor maderable a nivel nacional. Su establecimiento en extensas plantaciones se justifica por las excepcionales propiedades tecnológicas de su madera, destacando: alta densidad y durabilidad natural, estabilidad dimensional (Shin *et al.*, 2020). Se ha encontrado la salud de los ecosistemas en las plantaciones con teca, aumenta la biodiversidad, la captura de carbono, disponibilidad de nutrientes y actividad biológica el suelo (Visscher *et al.*, 2024).

Considerando los beneficios ecosistémicos a largo plazo de los sistemas agroforestales y su potencial como estrategia de recuperación de la salud edáfica, este estudio evaluó la diversidad florística en plantaciones de *Tectona grandis* (teca) con edades comprendidas entre 2 y 18 años, durante el período lluvioso en los cantones Pichincha, Palenque y Balzar (Ecuador).

Materiales y métodos

Establecimiento de las unidades de muestreo

El estudio se desarrolló en plantaciones de *T. grandis* L.f. con edades comprendidas entre 2 y 18 años, ubicadas en los cantones de Pichincha, Palenque y Balzar (Ecuador). Los muestreos se realizaron durante la época lluviosa para garantizar la representatividad de la diversidad florística y la vegetación asociada.

El diseño muestral consistió en la implementación de cuatro unidades de muestreo por sitio de estudio, determinadas mediante el método de área-mínima para establecer la superficie óptima que captura la composición florística representativa. Cada unidad de muestreo comprendió un cuadrante de 16×16 m (256 m^2), totalizando 24 unidades muestrales (6.144 m^2 de área muestreada colectivamente). La distribución espacial de estas unidades se presenta en la Figura 1.

Evaluación de las especies arvenses

Para la determinación de las especies arvenses de las plantas dentro de las plantaciones de teca se realizó un inventario diagnóstico, empleando los conceptos de abundancia absoluta (Aa) y Frecuencia Absoluta (Fa). Su cálculo se menciona a continuación:

Abundancia absoluta (Aa)

La abundancia absoluta expresa mediante el número total de individuos de cada especie presentes en la zona de estudio. Para el cálculo se utilizó la fórmula siguiente (Mora-Donjuán *et al.*, 2014): $Aa = \text{N}^\circ \text{ de individuos de una especie/superficie muestreada}$.

Frecuencia absoluta (Fa)

La frecuencia absoluta (Fa), se estableció por el número de sub-parcelas que presente una especie. Para su cálculo se empleó la siguiente fórmula (Acosta *et al.*, 2006): $Fa = \text{Número de sub-parcelas en que se presenta una especie}$.

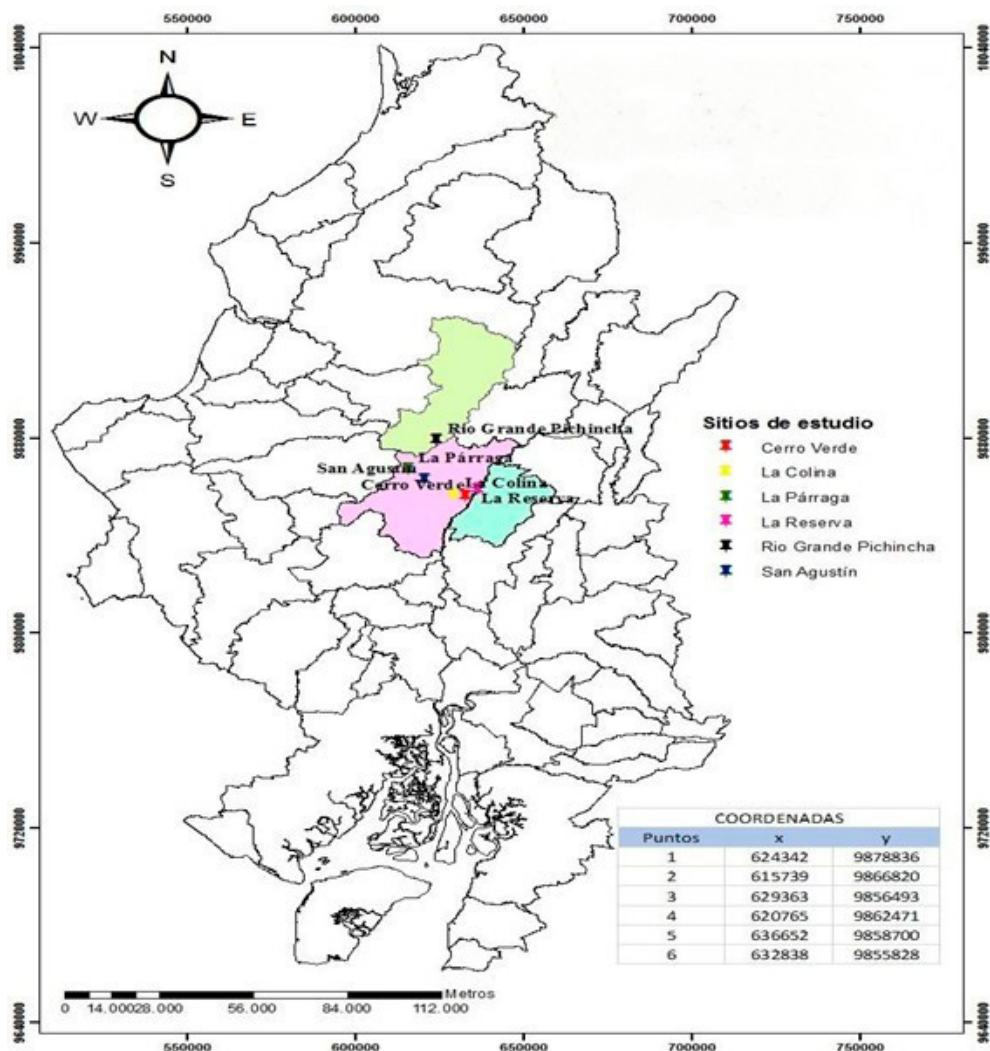


Figura 1. Ubicación de sitios de muestreo para la evaluación de la biodiversidad en plantaciones agroforestales de *Tectona grandis* de diferentes edades

Índices para evaluar la diversidad y similitud de la vegetación

Para determinar la biodiversidad de especies en plantaciones de teca se emplearon los índices de Shannon-Weaver, Simpson y el Índice de Jaccard. Las fórmulas para utilizarse se mencionan a continuación:

Índice de Shannon – Weaver (H')

El Índice de Shannon mide el grado promedio de incertidumbre al pronosticar la especie del individuo seleccionado aleatoriamente dentro de las unidades de muestreo, para su cálculo se aplicó la Ecuación 1 (Zarco-Espinosa *et al.*, 2010):

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \log_2 p_i) \quad (1)$$

Dónde:

S = número de especies

pi = proporción de individuos de la especie i

log = logaritmo

Para evaluar el índice de Shannon se consideró niveles de interpretación que se detallan a continuación: 0 – 0,35; Diversidad baja; 0,36 – 0,75; Diversidad media y 0,76 – 1 Diversidad alta (López Torres *et al.*, 2001).

Índice de Simpson (S)

El Índice de Simpson indica la probabilidad que dos individuos tomados al azar de una muestra correspondan a la misma especie. Para el cálculo se empleó la Ecuación 2 (Campo y Duval, 2014):

$$S = \frac{1}{\sum p_i^2} \quad (2)$$

Dónde:

S = Índice de Simpson

1/s = probabilidad que individuos al azar de una población provengan de la misma especie.

Pi = proporción de individuos pertenecientes a la misma especie.

Para la evaluación del índice de Simpson se consideró niveles de interpretación que se detalla a continuación: 0 – 0,5 Diversidad baja; 0,6 – 0,9 Diversidad media y 1 Diversidad alta.

Índice de Jaccard

El Índice de Jaccard determinó si existen similitudes o disimilitudes entre los sitios de muestreo siguiendo la Ecuación 3 descrita por Jaccard (1908).

$$IJ (\%) = \frac{C}{A+B-C} * 100 \quad (3)$$

Dónde:

IJ = Índice de Jaccard (%)

A = número de especies en la comunidad

A B = Número de especies en la comunidad

B C = número de especies comunes en ambas comunidades.

Procesamiento y análisis

Para el desarrollo de la investigación se empleó el software informático Excel 2016 en la determinación de abundancia absoluta (Aa) y Frecuencia Absoluta (Fa), Índice de Shannon – Weaver (H'), Índice de Simpson (S), Índice de Jaccard. La información se procesó en el programa estadístico (Past) 4.0 (Hammer *et al.*, 2001).

Resultados

Abundancia por familias de especies en los seis sitios de estudio en la época lluviosa:

El diagrama de abundancia por familias en las 24 unidades de muestreo de los 6 sitios de estudio presentó 34 familias, 51 géneros, 59 especies con un total de 5.336 individuos. Las familias Poaceae y Cucurbitaceae con 1.118 y 765 individuos son las más abundantes, a diferencia de las familias Aristolochiaceae y Colchicaceae con 5 y 6 individuos (Figura 2).

Presencia y ausencia

Las especies más representativas en los sitios de estudio Río Grande Pichincha, La Párraga, San Agustín, La Colina, Cerro Verde, La Reserva de los cantones Pichincha, Palenque y Balzar fueron: *Boehmeria* sp, *Canavalia rosea*, *Commelina* sp, y *Urena lobata* presentes en todos los sitios de estudio, a diferencia de las especies: *Albizia guachapele*, *Arisaema dracontium*, *Aristolochia* sp, *Bauhinia variegata*, *Caesalpinia* sp, *Cardiospermum halicacabum*, *Carex* sp, *Cecropia* sp, *Celtis occidentalis*, *Cyanthillium cinereum*, *Guazuma ulmifolia*, *Hydrocotyle verticillata*, *Ipomoea quamoclit*, *Jatropha curcas*, *Pilea* sp, *Prunella vulgaris*, *Toxicodendron radicans* y *Vitex gigantea* presentes solamente en un sitio.

Frecuencia absoluta

Se identificaron 59 especies con un total de 5.636 individuos, las especies con mayor número de individuos en los sitios de estudio Río Grande Pichincha, La Párraga, San Agustín, La Colina, Cerro Verde y La Reserva fueron: *Momordica charantia* con 765 individuos seguido por *Leptochloa scabra* con 718 individuos y *Canavalia rosea* con 375 individuos a diferencia de *Caesalpinia* sp y *Pilea* sp con solo 1 individuo.

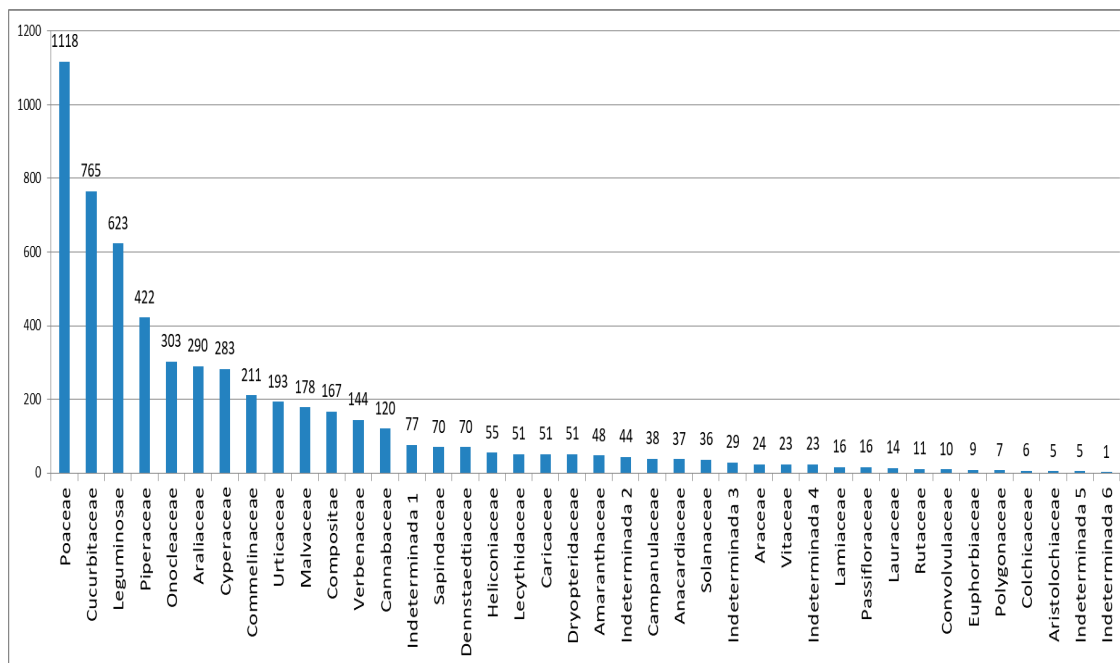


Figura 2. Diagrama de abundancia de individuos por familias de las 24 unidades de muestreo de especies en los seis sitios de estudio en la época lluviosa 2019

Determinación de la diversidad de especies presentes en los seis sitios de estudio en la época lluviosa del año 2019

Las curvas acumuladas de las especies fueron analizadas en los seis sitios de estudio bajo la época lluviosa del año 2019.

Curva especie área acumulada del sitio de estudio Río Grande Pichincha y La Párraga

En el sitio de estudio Río Grande Pichincha de 4 años, se utilizaron cuatro unidades de muestreo, en la cual el área mínima se obtuvo mediante la interpolación del eje X en el punto a partir de que la curva se vuelve asintótica en el área 64 m² en las unidades de muestreo; en la cual existió 21 especies respectivamente (Figura 3A). En el sitio de estudio La Párraga de 5 años, se realizaron cuatro unidades de muestreo, en la que el área mínima se dio en la interpolación del eje X en el punto donde la curva se hace asintótica en el área 128 m² en las unidades de muestreo; en la cual existieron 28 especies respectivamente (Figura 3B).

Curva especie área acumulada del sitio de estudio San Agustín y La Colina

En el sitio de estudio San Agustín de 6 años, se utilizaron cuatro unidades de muestreo, en la cual el área mínima se obtuvo mediante la interpolación del eje X en el punto a partir de que la curva se vuelve asintótica en el área 128 m² en las unidades de muestreo; en la cual existió 24 especies respectivamente (Figura 4A).

En el sitio de estudio La Colina de 8 años, se realizaron cuatro unidades de muestreo, en la que el área mínima se dio en la interpolación del eje X en el punto donde la curva se hace asintótica en el área 32 m² en las unidades de muestreo; en la cual existieron 16 especies respectivamente (Figura 4B).

Curva especie área acumulada del sitio de estudio Cerro Verde y La Reserva

En el sitio de estudio Cerro Verde de 14 años, se realizaron cuatro unidades de muestreo, el área mínima se dio en la interpolación del eje X en el punto donde la curva se hace asintótica en el área 32 m² en las unidades de muestreo; en la cual existió 26 especies respectivamente (Figura 5A). En el sitio de estudio La Reserva de 15 años, se realizaron cuatro unidades de muestreo, donde el área mínima se dio en la interpolación del eje X en el punto donde la curva se hace asintótica en el área 256 m² en las unidades de muestreo; en la cual existieron 38 especies respectivamente (Figura 5B).

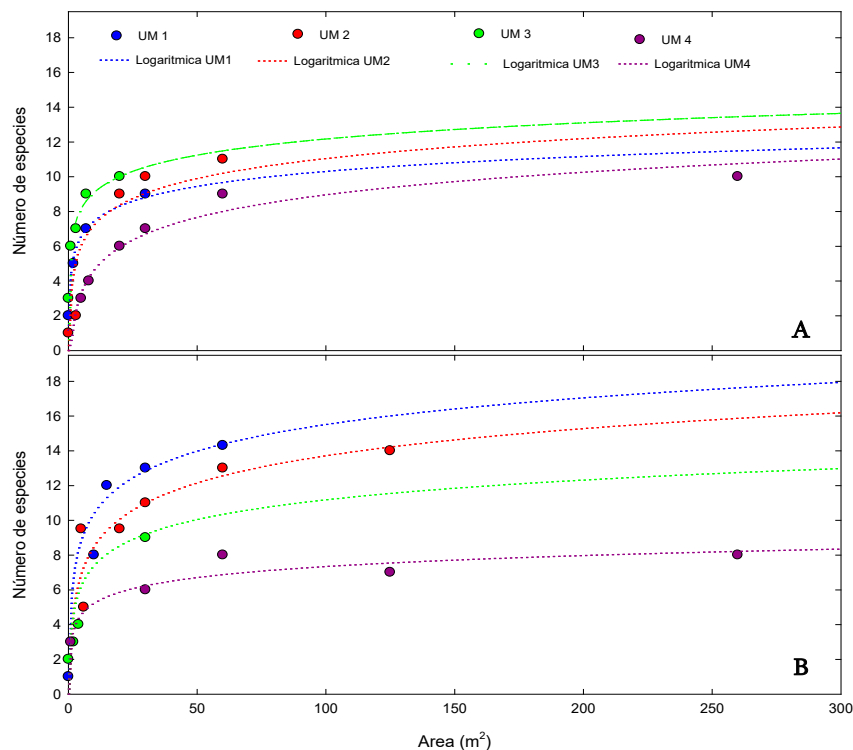


Figura 3. Curva acumulada del sitio de estudio Río Grande Pichincha de plantación de *T. grandis* de 4 años en el cantón Pichincha (A) y La Párraga (B) de plantación de *T. grandis* de 5 años en el cantón Balzar durante la época lluviosa 2019

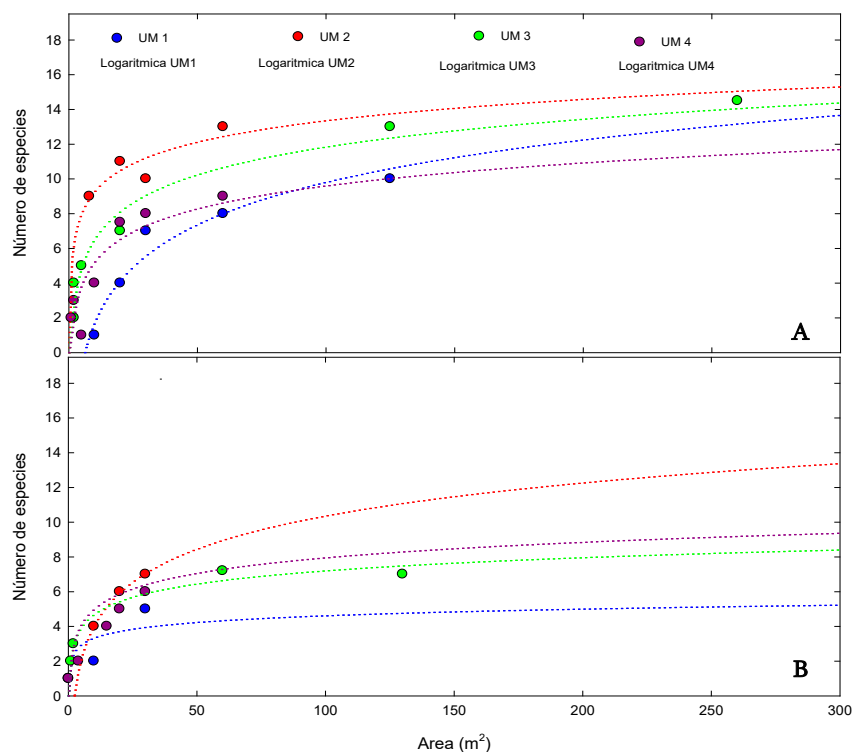


Figura 4. Curva acumulada del sitio de estudio San Agustín de plantación de *T. grandis* de 6 años y La Colina de plantación de *T. grandis* de 8 años en el cantón Balzar durante la época lluviosa, 2019

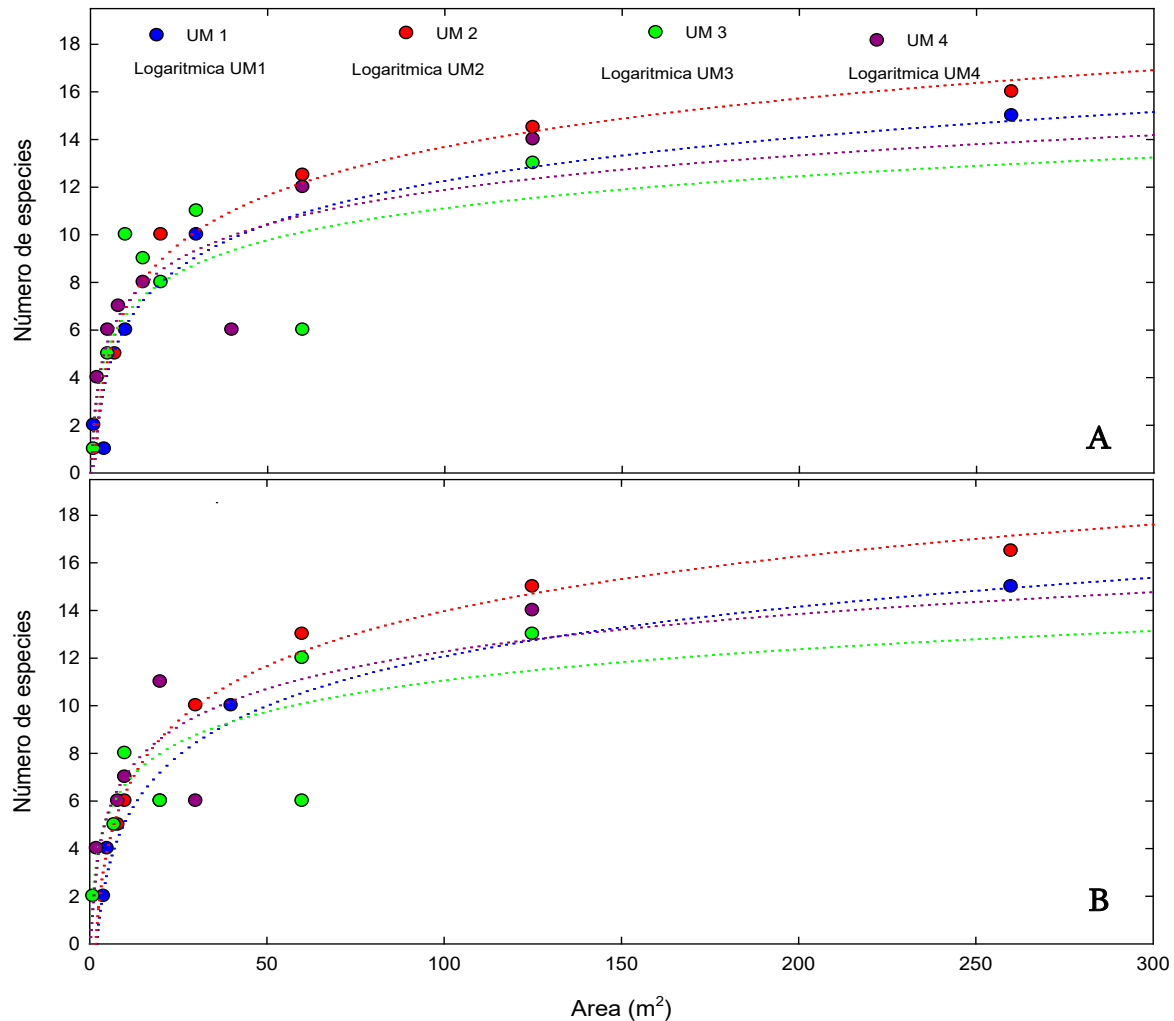


Figura 5. Curva acumulada del sitio de estudio Cerro Verde de plantación de *T. grandis* de 14 años de edad en el cantón Palenque y La Reserva de plantación de *T. grandis* de 15 años de edad en el cantón Balzar durante la época lluviosa, 2019

Riqueza y diversidad vegetal en plantaciones de teca

El análisis de diversidad (Tabla 1) evidenció que el sitio con mayor riqueza de especies fue La Reserva, con 38 registros, seguido por La Párraga (28) y Cerro Verde (26). En términos de abundancia, el mayor número de individuos se encontró en Cerro Verde (1.535), lo que refleja una alta densidad poblacional en comparación con los demás sitios. La dominancia más elevada correspondió a Río Grande Pichincha (0,31), seguida por San Agustín (0,14), mientras que La Reserva presentó la menor dominancia (0,09), indicando una distribución más equilibrada de las especies.

Los valores del índice de Simpson evidenciaron una diversidad intermedia-alta en los sitios evaluados, destacando La Reserva (0,91), Cerro Verde (0,90) y La Párraga (0,90) como las localidades con mayor heterogeneidad en la distribución de especies. En contraste, Río Grande Pichincha registró el

valor más bajo (0,69), lo que refleja una comunidad menos diversa y con mayor predominio de unas pocas especies. De manera consistente, el índice de Shannon confirmó estos patrones, registrando los valores más altos en La Reserva (2,88), La Párraga (2,72) y Cerro Verde (2,62), frente a Río Grande Pichincha (1,79), que presentó la diversidad más baja. En cuanto a la equitatividad, La Colina (0,88) y La Párraga (0,82) alcanzaron los valores más cercanos a la distribución uniforme, mientras que San Agustín (0,73) y Río Grande Pichincha (0,59) reflejaron comunidades más dominadas por pocas especies (Tabla 1). Estos resultados evidencian que los bosques con menor presión antrópica, como La Reserva, sostienen comunidades más diversas y equitativas, lo que sugiere una mayor estabilidad ecológica y resiliencia frente a perturbaciones.

Índice de Jaccard

El análisis de similitud florística mediante el índice de Jaccard evidenció valores máximos (1,00) entre los pares de sitios Río Grande Pichincha–San Agustín, Río Grande Pichincha–La Reserva y San Agustín–La Reserva, lo que indica una composición de especies idéntica entre estas localidades (Tabla 2). En contraste, el menor valor de similitud se registró entre La Colina y Cerro Verde (0,13), reflejando una marcada diferenciación florística, lo que evidencia una marcada diferenciación florística.

Similitud de especies vegetales presentes en los sitios de estudio en la época lluviosa del año 2019

El análisis de conglomerados evidenció la formación de cuatro clústeres a partir del nivel de similitud de 0,25 en las plantaciones de *Tectona grandis* establecidas en los cantones de Pichincha, Palenque y Balzar. Dentro de estos agrupamientos, la mayor similitud florística se observó entre los sitios de San Agustín y Cerro Verde (0,47), lo que indica una composición de especies relativamente cercana entre ambas localidades. En contraste, La Colina presentó el valor más bajo de similitud (0,25), reflejando una diferenciación florística más marcada respecto a los demás sitios (Figura 6).

Tabla 1. Especies, individuos, dominancia e índices de diversidad de plantas encontradas en los seis sitios de estudio en la época lluviosa 2019

	Río grande Pichincha (4 años)	La Párraga (5 años)	San Agustín (6años)	La Colina (8años)	Cerro Verde (14 años)	La Reserva (15 años)
Especies	21	28	24	16	26	38
Individuos	1.002	676	1.063	278	1.535	1.082
Dominancia	0,31	0,10	0,14	0,12	0,10	0,09
Simpson	0,69	0,90	0,86	0,89	0,90	0,91
Shannon	1,79	2,72	2,32	2,45	2,62	2,88
Equitatividad	0,59	0,82	0,73	0,88	0,80	0,92

Tabla 2. Matriz de similitud de Jaccard correspondiente a los seis sitios de estudio en la época lluviosa, 2019

Sitio	Río grande Pichincha	La Párraga	San Agustín	La Colina	Cerro Verde	La Reserva
Río grande Pichincha	-	0,99	1,00	0,71	0,90	1,00
La Párraga		-	0,97	0,97	0,54	0,97
San Agustín			-	0,53	0,94	1,00
La Colina				-	0,13	0,61
Cerro Verde					-	0,95
La Reserva						-

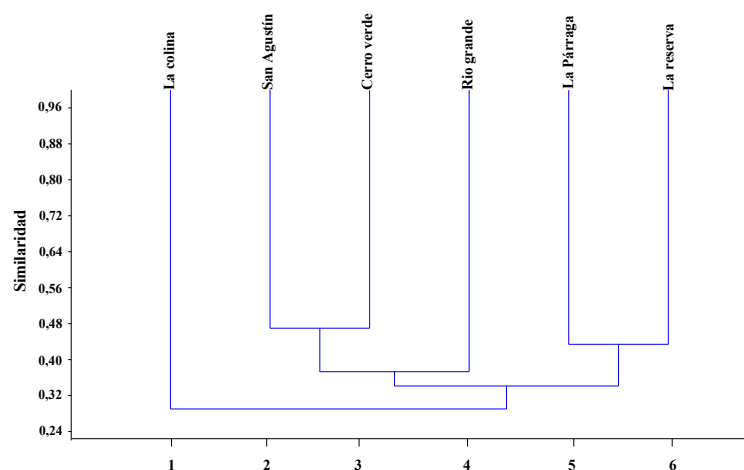


Figura 6. Dendrograma de los seis sitios de estudio en las plantaciones de *T. grandis*, época lluviosa 2019

Discusión

Los resultados encontrados demuestran que las diferencias encontradas entre los sitios son propias de la variabilidad especial de suelos, y que cuando aumenta la similaridad es producto de los factores antrópicos que afectan de manera negativa la biodiversidad. Sin embargo, con la introducción de plantaciones forestales como *T. grandis*, se evidenció que a lo largo del tiempo aumentó la diversidad, llevando a garantizar la sostenibilidad de los sistemas bajo plantaciones agroforestales (Sun *et al.*, 2017).

Para la abundancia por familia se obtuvieron resultados similares a los de Chettri *et al.* (2023), en plantaciones de *T. grandis* en la India quienes encontraron que Apocynaceae, Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Meliaceae, Poaceae, Rutaceae y Verbenaceae. Las familias dominantes, en cada una representada por dos especies, el autor concluye que la heterogeneidad de la vegetación se desarrolló en estos bosques agrícolas en un lapso corto de 15 años, que llevan convertirse en bosques secundarios seminaturales.

El establecimiento de especies de leguminosas tiene beneficios ecológicos que están asociados a la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, como lo mencionan Lazicki *et al.* (2021), solubilización de fósforo y captación de carbono tal como lo evidencian Khatoon *et al.* (2020), en las plantaciones se encontró con especies suelo (*Canavalia ensiformis* L.) que tienen el potencial de capturar nitrógeno atmosférico, mejorar la densidad aparente y porosidad del suelo (Renté Martí *et al.*, 2020).

La presencia o ausencia de malezas son también un indicador de la degradación del suelo, que es común en sistema productivo sometido sobre una agricultura intensiva, donde la presencia de especies está relacionada con la salinidad, como lo evidencian Arora y Dagar (2019), o acidez según Li *et al.* (2022). Igualmente, algunas condiciones adversas pueden restringir la aparición de algunas especies, las cuales aparecen cuando las condiciones del suelo mejoran, siendo un indicador de la salud del ecosistema (Li *et al.*, 2022).

La diversidad, es otro indicador de la salud de los ecosistemas es la frecuencia con que aparecen algunas especies vegetales, dado que existe una correlación entre la salud del ecosistema (Li *et al.*, 2022). El número de individuos, mucho se da por la presencia de las especies que crecen producto del mejoramiento de las condiciones del suelo según Feng *et al.* (2022), como consecuencia de la siembra de plantas forestales.

La recuperación de la biodiversidad es explicada por dos factores: Las condiciones del sitio, asociada a las características del suelo y clima, así como el grado de degradación del suelo, previo a la implementación del sistema agroforestal (Guo *et al.*, 2021). El tiempo, es un factor clave para la recuperación de suelo, en comparación con las propiedades físicas e hidrológicas, las composiciones biológicas a químicas tienen un tiempo de respuesta menor (Amoah-Antwi *et al.*, 2020).

La diversidad encontrada en los puntos muestreados es similar a la reportada por Ikhajagiye *et al.* (2020), quienes encontraron bajo una plantación de *T. grandis* con un total de 762 especies de plantas individuales. Estas comprenden de 28 taxones, explicada por un aumento de la materia orgánica presente en el suelo, que puede mejorar aún más la abundancia de dichas especies de plantas. El impacto de *T. grandis* en la calidad del suelo forestal es posiblemente un factor del resultado de su asociación con especies de plantas vecinas (Ikhajagiye *et al.*, 2020).

Los resultados con respecto a las especies, individuos, dominancia e índices de diversidad de plantas encontradas en los seis sitios de estudio en la época lluviosa 2019 son concordantes con lo señalado por Omomoh *et al.* (2020). Quienes indican que a largo plazo las plantaciones sustentan una gran diversidad de especies nativas, particularmente en las comunidades del sotobosque y desempeñan un papel importante en la conservación y restauración de la biodiversidad nativa. En este contexto, las plantaciones pueden acelerar la recuperación de la biodiversidad y promover los procesos de sucesión forestal y aumentar la fertilidad del suelo como lo señalado por Obiahu *et al.* (2020) y el secuestro de carbono (Toppo *et al.*, 2021).

En función de latitudes, en el presente estudio los suelos de condiciones tropicales predominan ciertas especies a diferencia en otras localidades que no tienen diversidad o solo monocultivo. Esto durante el tiempo sus propiedades físicas y biológicas del suelo, puede ser degradado, además que especies de insectos migren a otras zonas (Lehman *et al.*, 2015). También, estas situaciones pueden afectar las variaciones climáticas como lo señala Pulido-Salas *et al.* (2017) quienes muestran que, aunque no se encontró una relación significativa con el clima local, el crecimiento de *T. grandis* fue influenciado por las anomalías de la temperatura superficial del mar en los océanos Pacífico y Atlántico en un estudio llevado a cabo en la amazonia peruana.

Este trabajo reporta un menor valor de especies a lo reportado por Asare *et al.* (2020), en bosques tropicales de Ghana en una plantación de *T. grandis* de 15 años, la cual estaba sometida a una gestión intensiva, donde determinó un total 84 especies. A diferencia de Vroh *et al.* (2022), quienes encontraron 72 especies en plantaciones jóvenes, sin embargo, esta diversidad es la más baja en comparación a árboles de mayor edad, demostrando que el valor de las plantaciones forestales para la diversidad vegetal varía considerablemente dependiendo de si se plantan especies de árboles exóticos en plantaciones mixtas o monocultivos.

De acuerdo a lo expresado por Rodríguez Solís *et al.* (2021) el manejo intensivo de las plantaciones de *T. grandis* demuestran que debe crearse las condiciones ideales de suministro de nutrientes, control de plagas y enfermedades para la estabilización del sistema agroforestal. Este manejo es fundamental, en el caso de especies exóticas,

por la incapacidad de adaptarse a las condiciones locales, particularmente en zonas tropicales. Donde las condiciones de pH del suelo, temperaturas, sequías extremas o exceso de humedad dificultan su establecimiento (Kijowska-Oberc *et al.*, 2020).

Los resultados contradicen a los reportados por Udayana *et al.* (2020), quienes indican que las edades de las plantaciones aumentaron los valores de los índices de diversidad. la disminución de las especies asociadas del sotobosque debido a propiedades alelopáticas conocidas según Zhang *et al.* (2021), por el efecto de su hojarasca y aumento de la cobertura de Teca (Chettri *et al.*, 2023).

El análisis del índice de Jaccard mostró la mayor similitud florística entre los pares de sitios Río Grande Pichincha–San Agustín, Río Grande Pichincha–La Reserva y San Agustín–La Reserva (IJ = 1,00), lo que evidencia comunidades con composición de especies idéntica. En contraste, la menor similitud se registró entre La Colina y Cerro Verde (IJ = 0,13), reflejando una marcada diferenciación florística. De acuerdo con Delgado *et al.* (2020), estas variaciones pueden estar influenciadas por condiciones edafoclimáticas locales y por la distribución diferencial de las especies, lo que sugiere que la heterogeneidad ambiental actúa como un filtro determinante en la estructuración de las comunidades forestales.

A pesar de aumentar el número de especies, algunos autores como Tamang *et al.* (2021) señalan que la no perturbación del suelo promueve la sucesión en el tiempo con el inicio de varios procesos del ecosistema como mejora de condiciones micro climáticas, la fertilidad del suelo (a través de la hojarasca), la diversidad y la actividad microbiana, la producción de biomasa y la capacidad de secuestro de carbono.

Conclusiones

Se identificaron 34 familias, 51 géneros y 59 especies con un total de 5.336 individuos presentes en los sitios de estudios Río Grande Pichincha La Párraga, San Agustín, La Colina, Cerro Verde y La Reserva. Las familias que presentó mayor presencia dentro de la investigación fue Poaceae y la de menor presencia Aristolochiaceae.

Los índices de diversidad utilizados (Shannon-Weaver y Simpson) categorizaron que en Shannon-Weaver la diversidad fue alta en los sitios de estudios La Colina, La Párraga, Cerro Verde, La Reserva y San Agustín mientras que en Río Grande Pichincha la diversidad fue media, mientras que el índice de Simpson mostró que la diversidad fue media en los sitios de estudios La Reserva, Cerro Verde, La Párraga, La Colina, San Agustín y Río Grande Pichincha.

La similitud de Jaccard presentó el porcentaje más elevado entre Río Grande Pichincha–San Agustín, Río Grande Pichincha–La Reserva y San Agustín–La Reserva (1,00), el análisis de clúster reveló cuatro grupos diferenciados dentro de los seis sitios. que afirma que existe una diversidad alta de especies vegetales en las plantaciones de teca presentes en

los sitios de estudios Río Grande Pichincha, La Párraga, San Agustín, La Colina, Cerro Verde y La Reserva de los cantones Pichincha, Palenque y Balzar en la época lluviosa del año 2019.

Referencias bibliográficas

- Acosta, V., Araujo, P. y Iturre, M. (2006). *Caracteres estructurales de las masas* (Serie Didáctica No. 22). Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-22-Caracteres-estructurales-ACOSTA.pdf>
- Amoah-Antwi, C., Kwiatkowska-Malina, J. Thornton, S. F., Fenton, O., Malina, G. y Szara, E. (2020). Restoration of soil quality using biochar and brown coal waste: A review. *The Science of the Total Environment*, 722, 137852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137852>
- Ampoorter, E., Barbaro, L., Jactel, H., Baeten, L., Boberg, J., Carnol, M., Castagneyrol, B., Charbonnier, Y., Dawud, S. M., Deconchat, M., De Smedt, P., De Wandeler, H., Guyot, V., Hättenschwiler, S., Joly, F.-X., Koricheva, J., Milligan, H., Muys, B., Nguyen, D., ... Allan, E. (2020). Tree diversity is key for promoting the diversity and abundance of forest-associated taxa in Europe. *Oikos*, 129(2), 133–146. <https://doi.org/10.1111/oik.06290>
- Arora, S. y Dagar, J. C. (2019). Salinity tolerance indicators. En Dagar, J., Yadav, R., Sharma, P. (eds) *Research Developments in Saline Agriculture* (pp. 155–201). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5832-6_5
- Asare, A., Asante, W. A., Owusu-Prempeh, N., Opuni Frimpong, E. y Adusu, D. (2020). Comparative analysis of understorey floristic diversity and carbon stocks in poorly and intensively managed *Tectona grandis* plantations. *International Journal of Forestry Research*, 2020, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/8868824>
- Campo, A. M. y Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 34(2), 25-42. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071
- Chettri, R., Tamang, M., Sarkar, B. Ch., Shukla, G., Vineeta., Debnath, M. K., Nath, A. J., Bhat, J. A. y Chakravarty, S. (2023). Species richness, stand structure and carbon storage under an age chronosequence in *Tectona grandis* plantation at agricultural landscape of Indian Eastern Himalayan Foothill. *Tropical Ecology*, 64(4), 681-697. <https://doi.org/10.1007/s42965-023-00295-9>

- Corona, P., Chirici, G., McRoberts, R. E., Winter, S. y Barbat, A. (2011). Contribution of large-scale forest inventories to biodiversity assessment and monitoring. *Forest ecology and Management*, 262(11), 2061-2069. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.044>
- Delgado Gualmatan, W. L., Navia Estrada, J. F. y Lagos Burbano, T. C. (2020). Caracterización de especies arbóreas asociadas al cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en el sur de Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias-FAGROPEC*, 12(2), 210-219. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v12n2a4>
- Feng, Y., Schmid, B., Loreau, M., Forrester, D. I., Fei, S., Zhu, J., Tang, Z., Zhu, J., Hong, P., Ji, C., Shi, Y., Su, H., Xiong, X., Xiao, J., Wang, S. y Fang, J. (2022). Multispecies forest plantations outyield monocultures across a broad range of conditions. *Science*, 376(6595), 865-868. <https://doi.org/10.1126/science.abm6363>
- García Céspedes, D., Barberán-Valencia, R., Lajones-Bone, D. A. y Lima Cazorla, L. A. (2024). Los jardines botánicos como alternativa para la conservación de especies forestales maderables. “Jardín Tropical Mútilo”. *Revista UTCiencia*, 11(3), 83-111. <https://doi.org/10.61236/utciencia.v11i3.639>
- Guo, Y., Xu, T., Cheng, J., Wei, G. y Lin, Y. (2021). Above-and belowground biodiversity drives soil multifunctionality along a long-term grassland restoration chronosequence. *Science of the Total Environment*, 772, 145010. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145010>
- Gupta, V. P. (2020). Role of agroforestry in soil conservation and soil health management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 555-558. <https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue4S/PartI/S-9-4-75-690.pdf>
- Hammer, Ø., Harper, D. y Ryan, P. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Herrera, A. M., Riera, R. y Rodríguez, R. A. (2023). Alpha species diversity measured by Shannon's H-index: Some misunderstandings and underexplored traits, and its key role in exploring the trophodynamic stability of dynamic multispecies. *Ecological Indicators*, 156, 111118. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111118>
- Hnykin, A. S. y Ivantsova, E. A. (2021). Biological diversity of the spiders herpetobiont population of degraded biotopes in Volgograd City and its surroundings. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (2), 63-69. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/08>
- Hou, L., Zhang, Y., Li, Z., Shao, G., Song, L. y Sun, Q. (2021). Comparison of soil properties, understory vegetation species diversities and soil microbial diversities between Chinese fir plantation and close-to-natural forest. *Forests*, 12(5), 632. <https://doi.org/10.3390/f12050632>
- Ikhajagbe, B., Ogwu, M. C. y Lawrence, A. E. (2020). Single-tree influence of *Tectona grandis* Linn. f. on plant distribution and soil characteristics in a planted forest. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 29. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00285-0>
- Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.*, 44, 223-270. <https://doi.org/10.5169/seals-268384>
- Kaushal, R., Mandal, D., Panwar, P., Rajkumar, Kumar, P., Tomar, J. M. S. y Mehta, H. (2021). Chapter 20 - Soil and water conservation benefits of agroforestry. En Shit, P. K., Pourghasemi H. R., Adhikary, P. P., Bhunia, G. S. y Sati, V. P., *Forest Resources Resilience and Conflicts* (pp. 259-275). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822931-6.00020-4>
- Khatoun, Z., Huang, S., Rafique, M., Fakhar, A., Kamran, M. A. y Santoyo, G. (2020). Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. *Journal of Environmental Management*, 273, 111118. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111118>
- Kijowska-Oberc, J., Staszak, A. M., Kamiński, J. y Ratajczak, E. (2020). Adaptation of forest trees to rapidly changing climate. *Forests*, 11(2), 123. <https://doi.org/10.3390/f11020123>
- Kitikidou, K., Milios, E., Stampoulidis, A., Pipinis, E. y Radoglou, K. (2024). Using biodiversity indices effectively: Considerations for forest management. *Ecologies*, 5(1), 42-51. <https://doi.org/10.3390/ecologies5010003>
- Kuyah, S., Sileshi, G. W., Luedeling, E., Akinnifesi, F. K., Whitney, C. W., Bayala, J., Kuntashula, E., Dimobe, K. y Mafongoya, P. L. (2020). Potential of agroforestry to enhance livelihood security in Africa. En Dagar, J.C., Gupta, S.R., y Teketay, D. (eds) *Agroforestry for Degraded Landscapes* (pp. 135-167). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4136-0_4
- Lazicki, P., Mazza Rodrigues, J. L. y Geisseler, D. (2021). Sensitivity and variability of soil health indicators in a California cropping system. *Soil Science Society of America Journal*, 85(5), 1827-1842. <https://doi.org/10.1002/saj2.20278>
- Lehman, R. M., Cambardella, C. A., Stott, D. E., Acosta-Martínez, V., Manter, D. K., Buyer, J. S., Maul, J. E., Smith, J. L., Collins, H. P., Halvorson, J. J., Kremer, R. J., Lundgren, J. G., Ducey, T. F., Jin, V. L. y Karlen, D. L. (2015). Understanding and enhancing soil biological health: The solution for reversing soil degradation. *Sustainability*, 7(1), 988-1027. <https://doi.org/10.3390/su7010988>

- Li, C., Wang, B., Fang, Z., Yu, H. y Huang, J. (2022). Plant species diversity is driven by soil base cations under acid deposition in desert coal-mining region in northwestern China. *Ecological Indicators*, 145, 109682. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109682>
- López Torres, J. L., Santos Castillo, R. A. y Aguirre Hernández, E. (2001). Inventario de regeneración natural en áreas de aprovechamientos forestales. *Decima cuarta reunión científica - tecnológica forestal y agropecuaria*, Veracruz, México. <https://www.oocities.org/rcveracruz2002/Forestales/FoEx/FoEx01C.pdf>
- Mofokeng, M. M., Weepener, H. L., Araya, H. T., Amoo, S. O., Araya, N. A., Hlophe-Ginindza, S. y du Plooy, C. P. (2024). Environmental Suitability Predictions for the Distribution and Potential Cultivation of *Artemisia afra* in South Africa. *International Journal of Plant Biology*, 15(4), 1321-1337. <https://doi.org/10.3390/ijpb15040091>
- Mora-Donjuán, C. A., Rubio-Camacho, E. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M. A., Mata-Balderas, J. M. y Mora-Olivo, A. (2014). Composición y diversidad vegetal de un área de matorral desértico micrófilo con historial pecuario en el noreste de México. *Polibotánica*, 38, 53-66. <https://www.redalyc.org/pdf/621/62131503003.pdf>
- Obiahu, O. H., Kalu, A. I. y Uchechukwu, N. (2020). Effect of *Tectona grandis* biochar on soil quality enhancement and yield of cucumber (*Cucumis Sativus* L) in highlyweathered nitisol, Southeastern Nigeria. *Journal of Wastes and Biomass Management (JWBM)*, 2(2), 41-48. <https://doi.org/10.26480/jwbm.02.2020.41.48>
- Omomoh, B. E., Adekunle, V. A. J., Aigbe, P. D., Ademoh, F. O. y Omomoh, B. M. (2020). Evaluation of soil seed bank-vegetation and regeneration potential of *Tectona grandis* L. f. plantation (Taungya farm) in Akure forest reserve, Ondo State, Nigeria. *Tropical Plant Research*, 7(1), 37-45. <https://doi.org/10.22271/tpr.2020.v7.i1.006>
- Panwar, P., Mahalingappa, D. G., Kaushal, R., Bhardwaj, D. R., Chakravarty, S., Shukla, G., Thakur, N. S., Chavan, S. B., Pal, S., Nayak, B. G., Srinivasaiyah, H. T., Dharmaraj, R., Veerabhadraswamy, N., Apshahana, K., Suresh, C. P., Kumar, D., Sharma, P., Kakade, V., Nagaraja, M. S., ... y Gurung, T. (2022). Biomass production and carbon sequestration potential of different agroforestry systems in India: A critical review. *Forests*, 13(8), 1274. <https://doi.org/10.3390/f13081274>
- Pigot, A. L., Merow, C., Wilson, A. y Trisos, C. H. (2023). Abrupt expansion of climate change risks for species globally. *Nature Ecology y Evolution*, 7(7), 1060-1071. <https://www.nature.com/articles/s41559-023-02070-4>
- Pulido-Salas, M. T., Ordóñez Díaz, M. de J. y Cáliz de Dios, H. (2017). Flora, usos y algunas causales de cambio en quince huertos familiares en el municipio de José María Morelos, Quintana Roo, México. *Peninsula*, 12(1), 119-145. <https://doi.org/10.1016/j.pnsla.2017.01.006>
- Renté Martí, O., Reyes, P. P., Corrales Vila, Y., Cuevas Rodríguez, M. y Nápoles García, M. C. (2020). Efecto de *Canavalia ensiformis* (L.) en propiedades físicas de un suelo fluvisol diferenciado en Santiago de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 3(6), 65-75. <https://doi.org/10.34069/RA/2020.6.05>
- Rodríguez Solís, A., Badilla Valverde, Y. y Moya, R. (2021). Agronomic effects of *Tectona grandis* biochar from wood residues on the growth of young *Cedrela odorata* plants in a nursery. *Agronomy*, 11(10), 2079. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102079>
- Roswell, M., Dushoff, J. y Winfree, R. (2021). A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos*, 130(3), 321-338. <https://doi.org/10.1111/oik.07202>
- Shin, S., Soe, K. T., Lee, H., Kim, T. H., Lee, S. y Park, M. S. (2020). A systematic map of agroforestry research focusing on ecosystem services in the Asia-Pacific Region. *Forests*, 11(4), 368. <https://doi.org/10.3390/f11040368>
- Soubry, I., Doan, T., Chu, T. y Guo, X. (2021). A systematic review on the integration of remote sensing and GIS to forest and grassland ecosystem health attributes, indicators, and measures. *Remote Sensing*, 13(16), 3262. <https://doi.org/10.3390/rs13163262>
- Sun, C., Chai, Z., Liu, G. y Xue, S. (2017). Changes in species diversity patterns and spatial heterogeneity during the secondary succession of grassland vegetation on the Loess Plateau, China. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1465. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01465>
- Tamang, M., Chettri, R., Vineeta, Shukla, G., Bhat, J. A., Kumar, A., Kumar, M., Suryawanshi, A., Cabral-Pinto, M. y Chakravarty, S. (2021). Stand structure, biomass and carbon storage in *Gmelina arborea* plantation at agricultural landscape in foothills of Eastern Himalayas. *Land*, 10(4), 387. <https://doi.org/10.3390/land10040387>
- Toppo, P., Oraon, P. R., Singh, B. K. y Kumar, A. (2021). Biomass, productivity and carbon sequestration of *Tectona grandis* and *Gmelina arborea*-based silvipastoral system. *Current Science*, 121(12), 1594-1599. <https://doi.org/10.18520/cs/v121/i12/1594-1599>
- Udayana, C., Andreassen, H. P. y Skarpe, C. (2020). Understory diversity and composition after planting of teak and mahogany in Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Sustainable Forestry*, 39(5), 494-510. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1686029>
- Visscher, A. M., Meli, P., Fonte, S. J., Bonari, G., Zerbe, S. y Wellstein, C. (2024). Agroforestry enhances biological activity, diversity and soil-based ecosystem functions in mountain agroecosystems of Latin America: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 30(1), e17036. <https://doi.org/10.1111/gcb.17036>

- Vroh, B., Kone, Y. y Djongmo, V. (2022). Plant species diversity and structure in tree plantations at Téné Protected Forest (Côte d'Ivoire). *Annals of Silvicultural Research*, 47(1), 39-47. <https://dx.doi.org/10.12899/asr-2342>
- Wang, Z., Ning, X. y Blaschko, M. B. (2023). Jaccard Metric Losses: Optimizing the Jaccard Index with Soft Labels. 37th Conference on Neural Information Processing Systems. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.05666>
- Willis, A. D. y Martin, B. D. (2022). Estimating diversity in networked ecological communities. *Biostatistics*, 23(1), 207-222. <https://doi.org/10.1093/biostatistics/kxaa015>
- Winkel, G., Lovrić, M., Muys, B., Katila, P., Lundhede, T., Pecurul, M., Pettenella, D., Pipart, N., Plieninger, T., Prokofieva, I., Parra, C., Pülzl, H., Roitsch, D., Roux, J.-L., Thorsen, B. J., Tyrväinen, L., Torralba, M., Vacik, H., Weiss, G. y Wunder, S. (2015). Governing Europe's forests for multiple ecosystem services: Opportunities, challenges, and policy options. *Forest Policy and Economics*, 145, 102843. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102849>
- Zarco-Espinosa, E., Valdez-Hernández, J., Ángeles-Pérez, G. y Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia. Trópico húmedo*, 26(1), 1-17. <https://scielo.org.mx/pdf/uc/v26n1/v26n1a1.pdf>
- Zhang, Z., Liu, Y., Yuan, L., Weber, E. y Van Kleunen, M. (2021). Effect of allelopathy on plant performance: a meta-analysis. *Ecology Letters*, 24(2), 348-362. <https://doi.org/10.1111/ele.13627>



Calidad fisicoquímica de suelos silvopastoriles para gestionar recursos forestales en Canoa, San Vicente, Ecuador

Physicochemical soil quality of silvopastoral system for forest resource management in Canoa, San Vicente, Ecuador

Arelis Stefania Cevallos Vera¹, Carlos Josué Muñoz Zambrano², José Manuel Calderón Pincay

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador

Autor de correspondencia: arelisdioitux@gmail.com

Recibido: 24/07/2025. Aceptado: 22/12/2025.

Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

Este artículo evalúa la calidad fisicoquímica de los suelos silvopastoriles en la finca “La Florida” ubicada en la parroquia Canoa, Ecuador, con el fin de proponer un modelo de manejo forestal sostenible. Los análisis revelaron densidad aparente entre 0,91 y 0,93 g/cm³ y porosidad superior al 60 %, condiciones óptimas para el desarrollo radicular. El pH varió de 6,6 a 7,5, indicando suelos ligeramente ácidos a neutros, mientras que la materia orgánica alcanzó hasta 4,9 %. El contenido de carbono orgánico osciló entre 1,7 y 2,9 % y el nitrógeno total entre 0,15 y 0,25 %, con una relación C/N de 11,5, lo que sugiere una rápida mineralización. Se identificaron áreas con menor fertilidad y menor fósforo disponible (27 mEq/ml), evidenciando zonas de degradación por sobrepastoreo. El inventario forestal registró especies de alto aporte de biomasa y captura de carbono como *Samanea saman* y *Prosopis juliflora*. El modelo propuesto integra prácticas agroforestales, rotación de cultivos, pastoreo controlado, monitoreo climático e inclusión de mecanismos como REDD+, con el fin de conservar la biodiversidad, mejorar la productividad agrícola y mitigar el cambio climático.

Palabras clave: calidad de suelo, carbono/nitrógeno, gestión forestal, silvopastoreo, sostenibilidad.

Abstract

This article evaluates the physicochemical quality of silvopastoral soils at “La Florida” farm, located in Canoa parish, Ecuador, with the aim of proposing a sustainable forest management model. Soil analyses showed bulk density between 0.91 and 0.93 g/cm³ and porosity above 60 %, which are optimal conditions for root development. The pH ranged from 6.6 to 7.5, indicating slightly acidic to neutral soils, while organic matter reached up to 4.9 %. Organic carbon content varied from 1.74 to 2.90 %, and total nitrogen from 0.15 to 0.25 %, with a C/N ratio of 11.5, suggesting rapid mineralization. Areas with lower fertility and reduced phosphorus availability (27 mEq/ml) were identified as degraded zones mainly due to overgrazing. The forest inventory highlighted species with significant biomass and carbon storage contributions, such as *Samanea saman* and *Prosopis juliflora*. The proposed model integrates agroforestry techniques, crop rotation, controlled grazing, climate monitoring, and mechanisms like REDD+ to conserve biodiversity, improve agricultural productivity, and mitigate climate change.

Keywords: soil quality, carbon/nitrogen, forest management, silvopastoral systems, sustainability.

Introducción

El sobrepastoreo y el crecimiento de la frontera agrícola generan un impacto ambiental negativo al degradar el suelo, donde se reduce el stock de carbono y nitrógeno (Castellanos, 2022). Un tercio de los suelos a nivel mundial ya están degradados, y en los últimos cinco años se ha acelerado la pérdida de fertilidad, con una reducción de hasta el 10 % en la productividad forestal proyectada hacia 2050 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022).

El deterioro en suelos dedicados al pastoreo afecta los recursos forestales, lo que causa erosión, compactación, y un drenaje hídrico deficiente debido a los desequilibrios en la relación C/N (Kogut, 2023). En Ecuador, durante la última década (2010–2020), los suelos de pastizal han sido considerados de alta calidad; sin embargo, presentan signos de degradación debido al manejo inadecuado y la presión ganadera. Las seis provincias de la región Costa concentran la mayor población de ganado de carne del país, siendo Manabí la de mayor producción, con aproximadamente el 40 % de las reses destinadas al procesamiento cárnico. Esta provincia lidera también en superficie agropecuaria, con cerca de 1,2 millones de hectáreas, de las cuales alrededor de 840.749 ha corresponden a áreas de pastoreo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ecuador [MAGAP], 2022).

En la provincia de Manabí se han realizado análisis edafológicos en áreas agrícolas y ganaderas, cuyos datos

reflejan contenidos de materia orgánica inferiores al 3 %, relación C/N menor a 10 y fósforo disponible por debajo de 20 mg/kg (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ecuador [MAGAP], 2022). No obstante, la información sobre la incidencia de especies forestales propias de los sistemas silvopastoriles en la relación carbono/nitrógeno sigue siendo limitada (Vera-Macias *et al.*, 2019; Céspedes Flores *et al.*, 2021; Ocampo *et al.*, 2023). Por tanto, esta investigación tuvo como finalidad describir las propiedades fisicoquímicas en suelo silvopastoril a través de la evaluación de su calidad en la finca “La Florida”.

Materiales y métodos

Análisis de los parámetros fisicoquímicos en los suelos de sistemas silvopastoriles

En esta actividad se establecieron los límites del área de investigación junto con el procedimiento de recolección de muestras (Silva *et al.*, 2021). Para determinar la zona de análisis, se georreferenció la finca con un GPS marca Garmin Etrex 22x, se procedió a recorrer las esquinas limitantes de la finca para la recepción de las coordenadas UTM (Abreu *et al.*, 2024). Se ingresaron dichas coordenadas en la herramienta de geoposicionamiento espacial Google Earth Pro, mediante la cual se obtuvo el polígono de extensión del área de estudio en hectáreas (Călina *et al.*, 2022) (Figura 1).

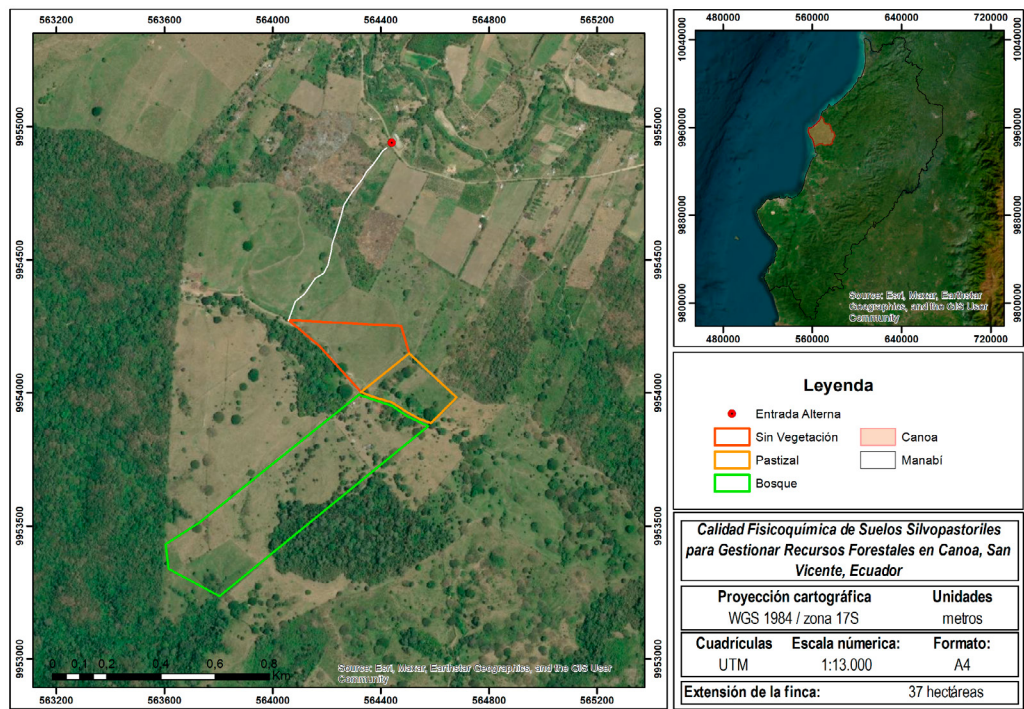


Figura 1. Extensión de la finca “La Florida”

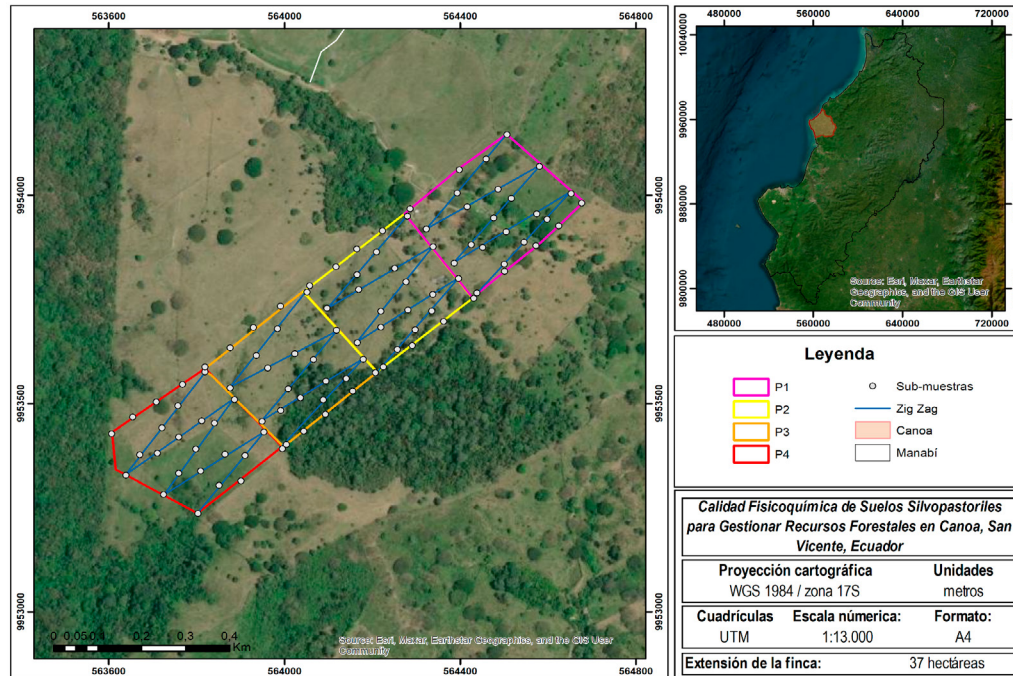


Figura 2. Georreferenciación de submuestras en zig – zag

Se definió un protocolo de muestreo simple aleatorio para la recolección de muestras, misma que, se realizó en un área de 30 ha divididas en 4 potreros (De Rose *et al.*, 2019) (Figura 2). Para la obtención de las muestras compuestas, se tomaron 25 submuestras por potrero a una profundidad de 0 a 15 cm, se homogenizaron las muestras, derivándose en una muestra compuesta por potrero (Reyna *et al.*, 2020). Se formaron 4 muestras compuestas en total, dichas muestras fueron selladas y enviadas al laboratorio (Bratti *et al.*, 2022).

Los análisis considerados fueron: textura, materia orgánica, densidad, pH, entre otros, tal como se indican en Tabla 1, que toma como referencia lo prescrito por Saucedo y Arenas (2023).

Tabla 1. Variables fisicoquímicas

Variables físicas	Variables químicas
Densidad aparente	pH
Porosidad	NH ₄
Textura	P
Estructura	K
Color	Ca
-	Mg
-	Materia Orgánica
-	Carbono Orgánico
-	Nitrógeno Total

Para la cuantificación de la relación C/N se utilizó el modelo matemático descrito por Soto-Mora *et al.* (2016).

Modelo matemático:

$$\frac{C}{N} = \frac{\%C_{Orgánico}}{\%N_{Tot}} \quad (1)$$

Identificación de la gestión actual del recurso forestal

Se recopiló información acerca de la condición actual de los suministros silvopastoriles presentes en el área a evaluar, para lo cual, se empleó una ficha de observación adaptada de Soto (2021), para registrar el tipo de vegetación circundante, la presencia de signos de erosión, interacciones positivas o negativas entre la ganadería y el arbolado, estado sanitario y vigor de las especies forestales o presencia límites entre áreas forestales y áreas de pastoreo.

Con los insumos generados a través de la ficha de observación, se sistematizaron los datos en un inventario forestal, en el que se registraron detalles sobre el conjunto de bienes forestales aprovechables (Numbere, 2022). En este inventario se incluyó lo que se muestra en la Tabla 2 por medio de las ecuaciones descritas en la Tabla 3 adaptada de Yantas (2022).

Tabla 2. Matriz de inventario

Nombre común	Nombre científico	DAP (cm)	Altura total (m)	Área basal (m ²)	Volumen (m ³)
----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----

Tabla 3. Ecuaciones para el inventario

Altura total (m)	$H = \left(\frac{Lc}{20} * d \right) + ho$	H= Altura total (m) Lc= Lectura de clinómetro (Lc/20) d= Distancia entre ejecutor y el árbol (m) ho= Altura medida hasta la vista del ejecutor (m)
Área basal (m ²)	$G = \frac{\pi * DAP^2}{4}$	G= Área basal en m ² $\pi = 3,1416$ Diámetro a la altura del pecho (1,3 m)
Volumen (m ³)	$V = G * f * hh$	V= Volumen en m ³ G= Área basal en m ² f= Factor de forma (0,7) H= Altura total (m)

Proponer un modelo de gestión de recurso forestal con un sistema silvopastoril

La selección de elementos para el modelo de gestión partió de una revisión bibliográfica de modelos de gestión de recursos forestales a nivel de Latinoamérica (Heredia, 2020). En esta actividad, previo a la redacción del modelo se seleccionaron los elementos que contendría el mismo, esto incluyó la elección de especies vegetales para fortalecer los sistemas silvopastoriles, manejo del suelo de manera sostenible, planificar la disposición de árboles y pastizales, establecer estrategias de pastoreo controlado, implementar sistemas de monitoreo y considerar aspectos socioeconómicos (Ivanchuk, 2021).

Finalmente, se elaboró el modelo de gestión de recursos forestales en sistemas de acuerdo al modelo adaptado del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua [MARENA] (2020), complementado junto con las medidas de conservación alineadas a las salvaguardas ambientales y sociales del Programa REDD+ (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2016).

Procesamiento e interpretación de datos

El diseño experimental de este estudio no contempló un análisis estadístico inferencial; sin embargo, los resultados obtenidos se organizaron y procesaron mediante herramientas de ofimática para facilitar su interpretación. Para este fin se utilizó Microsoft Excel 2016, donde se sistematizaron las variables fisicoquímicas del suelo y los parámetros del inventario forestal.

En el caso de las propiedades del suelo, se calcularon promedios, rangos y porcentajes, además de elaborar tablas comparativas y gráficos que permitieron visualizar las diferencias entre potreros. Asimismo, se aplicaron fórmulas de referencia, como la relación C/N descrita por Soto-Mora *et al.* (2016), con el fin de interpretar la dinámica de nutrientes en función de la literatura científica.

Respecto al inventario forestal, los datos de diámetro a la altura del pecho (DAP), altura, área basal y volumen se procesaron también en Excel, lo que permitió graficar la contribución relativa de cada especie al volumen total y a la potencial captura de carbono. Este procedimiento posibilitó identificar patrones y tendencias que resultaron fundamentales para la discusión de resultados y la propuesta del modelo de gestión silvopastoril.

Resultados y discusión

Con la información presentada en la Tabla 4, se da a conocer que la masa volumétrica de los suelos va desde 0,91 a 0,93 g/cm³ lo que indica su compactación y porosidad (Delgado y Gómez, 2017). Valores menores a 1,5 g/cm³ sugieren suelos bien estructurados, con buena aireación y capacidad de almacenar humedad, lo cual es ideal para el desarrollo de raíces (Brown *et al.*, 2021). En cuanto a la porosidad es alta con valores que superan 60 %, lo cual indica capacidad del suelo para conservar H₂O y permitir el intercambio de gases que es crucial para la salud de plantas (Fattani *et al.*, 2021).

Tabla 4. Análisis físicos de la calidad de los suelos

Nº	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Textura	Estructura	Color	
					Color seco	Color húmedo
1	0,91	65,66	Arcillosa	Bloque subangular	Café grisáceo ligero	Café grisáceo muy oscuro
2	0,93	64,91	Franco limosa	Granular	Café grisáceo claro	Café grisáceo muy oscuro
3	0,93	64,91	Arcillosa	Bloque subangular	Café grisáceo	Café oscuro
4	0,93	64,91	Arcillosa	Granular	Café grisáceo muy oscuro	Café grisáceo muy oscuro

Tabla 5. Análisis químicos de la calidad de los suelos

Nº	pH	NH ₄ (mg/kg)	P (mEq/ml)	K (mEq/ml)	Ca (mEq/ml)	Mg (mEq/ml)	M.O (%)	CO (%)	NT (%)
1	7,4	23	158	3,59	17	4,1	4,9	2,84	0,25
2	7,5	23	191	4,11	17	4,5	5,0	2,90	0,25
3	6,6	15	31	1,07	16	3,0	3,1	1,79	0,16
4	7,2	14	27	1,09	16	3,0	3,0	1,74	0,15

En la Tabla 5, se evidencia que, el pH en las muestras varía entre 6,6 y 7,5. Lo cual indica que los suelos son ligeramente ácidos a neutros (Hurtado *et al.*, 2023). Un pH en este rango es generalmente beneficioso para la asimilación de nutrientes esenciales por parte de las plantas como el fósforo (P) y el nitrógeno (N) (Sadeghian y Díaz, 2020). La ligera acidez en algunas muestras puede mejorar la solubilidad de ciertos micronutrientes, mientras que un pH neutro optimiza la actividad microbiológica del suelo (Tosquy-Valle *et al.*, 2020).

Las concentraciones de amonio (14 – 23 mg/kg) se encuentran dentro de un rango adecuado para el crecimiento vegetal (Quinto-Mosquera *et al.*, 2022). Al ser una forma de nitrógeno disponible que puede ser absorbida directamente por las plantas, su incidencia tiende a ser beneficiosa (Merani *et al.*, 2022). A su vez, la presencia de amonio en niveles moderados sugiere un buen proceso de descomposición y transformación materia orgánica (Guo *et al.*, 2022).

El contenido de fósforo varía ampliamente, desde 27 mEq/ml hasta 191 mEq/ml, la disponibilidad de este elemento es crucial para el desarrollo radicular y la floración de las plantas (Marino y Morán, 2019). La muestra 2 presenta una particularidad por su contenido muy alto de fósforo, lo cual es beneficioso (Wang *et al.*, 2024). No obstante, en suelos con alto contenido de calcio este caso podría conducir a la fijación de fósforo en el suelo (Beltrán *et al.*, 2020).

Los niveles de potasio en las muestras (1,07 – 4,11 mEq/ml) son adecuados y sugieren una buena fertilidad del suelo para soportar cultivos exigentes en potasio, como los frutales y hortalizas (Murrell *et al.*, 2021). Gracias al potasio se regula el agua en las plantas y se favorece la activación de enzimas (Leguizamón *et al.*, 2024). Por otra parte, los valores de calcio

(16 – 17 mEq/ml) son moderados, este nutriente es esencial para la estructura celular y el desarrollo de las raíces. La consistencia de calcio en las muestras sugiere que el pH del suelo es estable (Wahba *et al.*, 2019).

Las concentraciones de magnesio (3,0 – 4,5 mEq/ml) son adecuados, ya que el magnesio es un componente vital de la clorofila y la fotosíntesis, mantener niveles dentro de este rango aseguran una buen crecimiento y fotosíntesis en las plantas (Wang *et al.*, 2020). Por otra parte, la materia orgánica (3,0 – 5,0 %) representa un factor determinante para evaluar la calidad del suelo (Kögel-Knabner *et al.*, 2021). Las muestras 1 y 2, con alta cantidad de MO, sugieren una buena estructura del suelo y elevada actividad microbiológica, lo cual es beneficioso para la retención de nutrientes y agua (Hoffland *et al.*, 2020).

Los porcentajes de carbono orgánico (1,7 – 2,9 %) y el nitrógeno total (0,1 – 0,24 %) en estas muestras indican una buena calidad del suelo (Solly *et al.*, 2020). A su vez, valores bajos de nitrógeno sugieren la necesidad de enmiendas para equilibrar la fertilidad (Deng *et al.*, 2021). No obstante, en este estudio los niveles están por encima del rango considerado como bajo (0,02 % - 0,1 %), lo que indica una riqueza favorable para el crecimiento de plantas y una alta productividad agrícola (Reda *et al.*, 2019).

La relación C/N es un buen indicador de descomposición del material orgánico (Xu *et al.*, 2020). En la Figura 3, se aprecia que dichos valores van entre 11,54 a 11,6. Una relación baja (menor a 12), señala un suelo con una rápida desintegración de la materia orgánica, lo que permite una liberación de nitrógeno rápidamente para las plantas (Deng *et al.*, 2020).

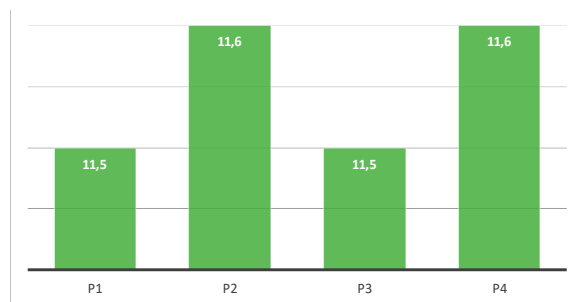


Figura 3. Georreferenciación de submuestras en zig – zag

La relación C/N desempeña un papel clave en la dinámica de los nutrientes del suelo, especialmente en donde las concentraciones de ambos elementos son bajas, en estos casos, una relación menor a 20 suele estar asociada con una mineralización más rápida del nitrógeno, lo que incrementa su disponibilidad inmediata para las plantas (Zhang *et al.*, 2019). Sin embargo, si bien esta disponibilidad favorece el crecimiento vegetal en el corto plazo, también puede generar pérdidas por lixiviación si no es aprovechada por los cultivos (Zhou *et al.*, 2019). Además, la incorporación de materia orgánica con baja relación C/N puede estimular la actividad microbiana de forma intensa (Hui *et al.*, 2021).

La parroquia Canoa, San Vicente, revela una rica diversidad de especies vegetales (Tabla 6), en las que prepondera la familia Fabaceae (Blandariz *et al.*, 2019). Este inventario es crucial para la gestión sostenible del recurso forestal (Laurent y Antra, 2022).

La presencia de especies como *Samanea saman* y *Prosopis juliflora*, que muestran alturas y volúmenes considerables, sugiere una cobertura vegetal densa que puede contribuir

significativamente a la preservación del suelo y disminución de erosión (Along *et al.*, 2024). El área basal y volumen de estas especies son indicativos de un buen almacenamiento de carbono, lo cual es crucial para la atenuación del cambio climático (Haq *et al.*, 2022). A su vez, el análisis del área basal en esta zona de estudio sugiere una diversidad estructural (Yanez *et al.*, 2018). En concordancia con Larrea *et al.* (2021), algunas especies destacan por su contribución a la biomasa y volumen total.

Cabe destacar que, las especies con mayor cobertura en sección transversal contribuyen significativamente a la biomasa del bosque, lo que implica una elevada eficiencia para retener carbono (Kranabetter *et al.*, 2020). A su vez, el área basal de las especies puede depender de varios factores, entre ellos el tipo de suelo, suministro de agua y competencia por luz y espacio (De Prado *et al.*, 2022). Las especies como el Samán suelen tener un mayor rol estructural en el ecosistema, lo que da lugar a un hábitat para diversas especies y regula el microclima (Uhl *et al.*, 2021).

El esquema ilustrado en la Figura 4 muestra el modelo de gestión implementado, mismo que integra la producción forestal y el pastoreo mediante un sistema agroforestal (S. A. F.) y silvopastoril. (Pérez-Lombardini *et al.*, 2021). Según explica Rodrigues *et al.* (2023), este modelo busca optimizar bienes y servicios ambientales a través de tres pilares interrelacionados: diseño, manejo forestal sostenible y monitoreo. La finalidad de estas características multidisciplinarias radica en la combinación eficiente de fundamentos teóricos y prácticas específicas (Agethen *et al.*, 2024).

Tabla 6. Inventario forestal de la zona de estudio

Nombre común	Nombre científico	Familia	Altura total (m)	Área basal (m²)	Volumen (m³)
Samán	<i>Samanea saman</i>	Mimosaceae	15	0,78	8,83
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	6	0,03	0,14
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	10	0,19	1,47
Caña	<i>Guadua angustifolia</i>	Poaceae	12	0,01	0,07
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	3	0,02	0,04
Limón	<i>Citrus limón</i>	Rutaceae	4	0,05	0,14
Espino	<i>Acacia macracantha</i>	Fabaceae	16	0,12	1,51
Cade	<i>Phytelephas aequatorialis</i>	Arecaceae	10	0,09	0,72
Muyuyo	<i>Cordia lutea</i>	Boraginaceae	16	0,03	0,37
Algarrobo	<i>Prosopis juliflora</i>	Fabaceae	14	0,19	2,06

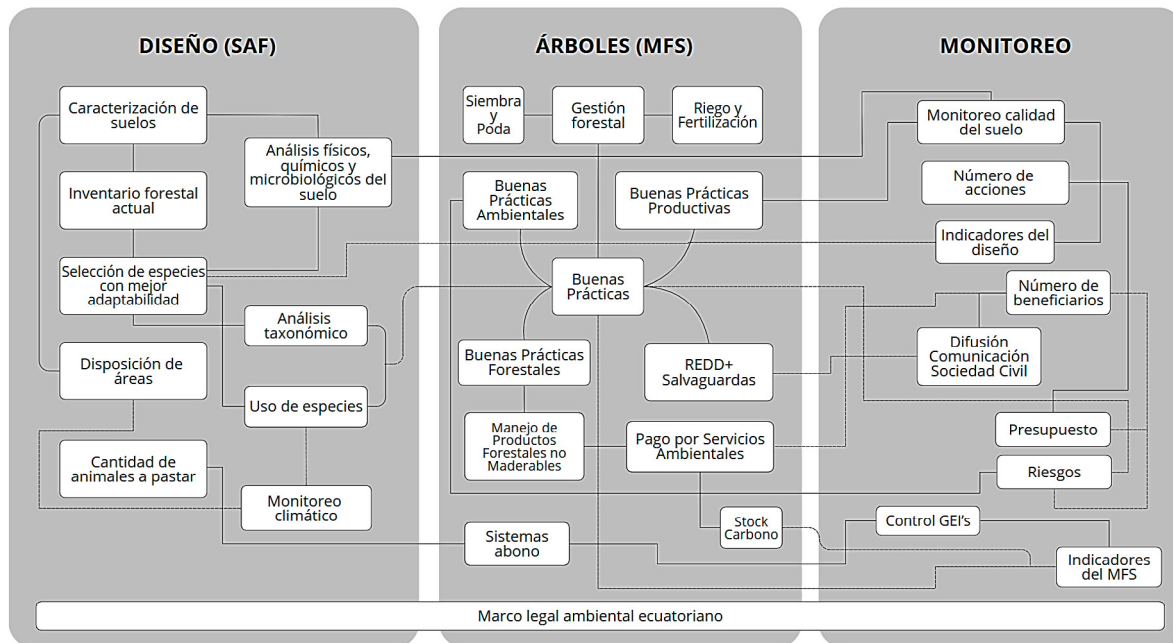


Figura 4. Modelo de gestión forestal sostenible

El diseño de un sistema silvopastoril sostenible es una tarea compleja que requiere un enfoque integral para asegurar su funcionalidad y sostenibilidad a largo plazo (Chappa *et al.*, 2024). La caracterización de suelos marca el comienzo, ya que permite identificar las características estructurales, composicionales y microbiológicas que influirán en la selección de especies vegetales adecuadas (Lecegui *et al.*, 2022). Este conocimiento profundo del suelo no solo mejora la productividad, sino que también garantiza la salud y vitalidad del ecosistema (Sheppard *et al.*, 2020).

El inventario forestal actual es otro componente crítico, ya que ofrece una evaluación detallada de la condición del bosque (Knoke *et al.*, 2021). Cuando se eligen especies con mejor adaptabilidad a las condiciones locales se garantiza la sostenibilidad del sistema (DeRose *et al.*, 2019).

Es imprescindible destacar, que la disposición de áreas y el uso adecuado de especies permiten una planificación eficiente de pastoreo (Teague y Kreuter, 2020). A su vez, la cantidad de animales a pastar debe ser cuidadosamente considerada para evitar el sobrepastoreo (Dumont *et al.*, 2020). De no ser así, existe riesgo de degradar el suelo y reducir la biodiversidad, lo que compromete la sostenibilidad del sistema (Bratti *et al.*, 2022).

Por su parte, el estudio de las condiciones climáticas desempeña un papel vital, ya que permite ajustar las prácticas de manejo en respuesta a las variaciones del clima (Herman *et al.*, 2022). Al usar este medio, se asegura que tanto las especies vegetales como los animales estén bajo condiciones óptimas (Dwivedi *et al.*, 2022). Inclusive, la integración de estos componentes en el diseño de un sistema silvopastoril crea una estructura robusta y adaptable, capaz de soportar

desafíos ambientales y optimizar la utilización de los recursos (Singh *et al.*, 2023).

El componente de manejo forestal sostenible se centra en las prácticas de cuidado y producción de los árboles en el sistema silvopastoril (Banco Mundial, 2021). Los elementos clave incluyen la siembra poda, gestión forestal, riego y fertilización, buenas prácticas ambientales y productivas, REDD+ y salvaguardas, pagos por servicios ambientales, manejo de recursos no forestales y sistemas de abono (Ayala Cifuentes, 2023).

Ante todo, el manejo forestal sostenible (M. F. S.) dentro de los entornos silvopastoriles destaca como un enfoque holístico que promueve la conservación del ecosistema, mientras que también optimiza la producción agrícola y pecuaria (Mateolli, 2020). Por tanto, las prácticas de siembra y poda se convierten en herramientas esenciales para manejar el equilibrio entre la cobertura arbórea y la productividad del sotobosque (Larbodièrre *et al.*, 2020). Es así como se facilita el flujo de luz hacia el suelo, de manera que mejore la producción de forraje (Leite *et al.*, 2023).

Con respecto a, la gestión forestal en sistemas silvopastoriles incorpora un enfoque holístico, en el cual la rotación de cultivos y el equilibrio entre áreas forestales y de pastoreo son componentes clave (De Faccio Carvalho *et al.*, 2024). Estas prácticas mitigan los impactos de la sobreexplotación y la degradación ambiental (Haddad *et al.*, 2022). Al complementarse con técnicas de riego y fertilización, estas estrategias incrementan significativamente la productividad en climas secos o de condiciones variables (Varese *et al.*, 2024). La gestión de recursos forestales no madereros y los sistemas de abono potencian ingresos adicionales, al tiempo

que permiten mejora de los recursos naturales (Veloza y Morales, 2021). El monitoreo en los sistemas silvopastoriles representa un eje fundamental para garantizar tanto la sostenibilidad ecológica como la productividad del sistema (Cassani *et al.*, 2022). Una de las principales áreas de atención es la calidad del suelo, cuyo monitoreo continuo permite identificar cambios en su fertilidad y estructura (Aryal *et al.*, 2022). En consecuencia, se facilita la implementación de ajustes oportunos en la gestión, y así evitar la degradación y se asegure que el suelo mantenga su capacidad para soportar la biodiversidad y la producción agrícola (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023).

Otro aspecto clave, es el monitoreo de las acciones implementadas y su impacto en los beneficiarios evalúa tanto el alcance como la efectividad del sistema (Ordoñez, 2021). Por otra parte, la difusión de los beneficios del sistema hacia la sociedad civil también constituye una dimensión crítica (Aryal *et al.*, 2022). La comunicación efectiva promueve una mayor aceptación y colaboración por parte de las comunidades y otras partes interesadas (Blandariz *et al.*, 2019).

Finalmente, el monitoreo de los presupuestos y riesgos asociados resulta fundamental para garantizar la viabilidad financiera del proyecto (Ayala Cifuentes, 2023). Aspectos como el control de sequías, incendios y plagas, junto con el seguimiento de emisiones sobre todo de los gases de efecto invernadero y el almacenamiento de carbono, reflejan el impacto ambiental del sistema (Varese *et al.*, 2024). Cuantificar la contribución a la reducción de emisiones posiciona a los sistemas silvopastoriles como herramientas efectivas para enfrentar el cambio climático (Soto, 2021).

Conclusiones

El estudio fisicoquímico de los suelos silvopastoriles de la finca “La Florida” evidencia una estructura favorable con buena oxigenación y capacidad para retener humedad. Los niveles de nutrientes esenciales y la proporción carbono/nitrógeno destacan la fertilidad del suelo, aunque las diferencias entre muestras indican áreas que requieren manejo específico. Estos resultados proporcionan un punto de partida esencial para planificar un manejo sostenible y mejorar la productividad agrícola y forestal.

Se identificaron especies clave como *Samanea saman* y *Prosopis juliflora* que contribuyen al almacenamiento de carbono y a la estabilidad ecológica. Sin embargo, se identifican signos de degradación en ciertas áreas, lo que deriva en la necesidad de intervenciones para reforzar la interacción positiva entre la vegetación y las actividades ganaderas.

El modelo de gestión forestal propuesto integra prácticas agroforestales, rotación de cultivos y monitoreo continuo, lo que permite combinar la producción agrícola con la conservación ambiental. Al enfocarse en estrategias como el pastoreo controlado y la inclusión de mecanismos como

REDD+, se promueve la sostenibilidad a largo plazo del suelo y los recursos forestales, de manera que se aseguren los beneficios ecológicos, económicos y sociales para las comunidades locales.

Referencias bibliográficas

- Abreu, A., Ferraz, G., Morais, R., Bento, N., Conti, L., Bambi, G. y Ferraz, P. (2024). Uso de análisis geoestadísticos para áreas de producción de trigo a través de las variables NDVI, temperatura superficial y rendimiento. *Agronomy*, 22(10), 1-17. <https://flore.unifi.it/handle/2158/1358080>
- Agethen, K., Mauricio, R. M., Deblitz, C., Izquierdo, M., Reyes, E. y Chará, J. (2024). Perspectivas futuras de la producción de carne brasileña: ¿cuál es el papel de los sistemas silvopastorales? *Agroforest Syst*, 98(7), 2179–2196. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01005-7>
- Along, A., Orboc, D. y Calagui, L. (2024). Floristic Inventory, Diversity, and Community Structure of the Riparian and Coastal Sand Dune Landscapes in the Lower Padsan River Basin, Laoag City, Ilocos Norte, Philippines. *Journal of Ecosystem Science and Eco-Governance*, 6(1), 20–33. <https://doi.org/10.54610/jeseg.v6i1.85>
- Aryal, D. R., Morales-Ruiz, D. E., López-Cruz, S., Tondopó-Marroquín, C. N., Lara-Nucamendi, A., Jiménez-Trujillo, J. A., Pérez-Sánchez, E., Betanzos-Simon, J. E., Casasola-Coto, F., Martínez-Salinas, A., Sepúlveda-López, C. J., Ramírez-Díaz, R., La o Arias, M. A., Guevara-Hernández, F., Pinto-Ruiz, R. y Ibrahim, M. (2022). Silvopastoral systems and remnant forests enhance carbon storage in livestock-dominated landscapes in Mexico. *Scientific Reports*, 12(1), 16769. <https://www.nature.com/articles/s41598-022-21089-4>
- Augusto, L. y Boča, A. (2022). Los rasgos funcionales de los árboles, la biomasa forestal y la diversidad de especies de árboles interactúan con las propiedades del sitio para impulsar el carbono del suelo forestal. *Nat Commun*, 13(1), 1097. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28748-0>
- Ayala Cifuentes, M., (2023). *Crecimiento, producción y captura de carbono aéreo, de Centrolobium ochroxylum Rose ex Rudd en sistemas silvopastoriles, Costa baja del Ecuador*. [Tesis de posgrado, Universidad Andina Simón Bolívar]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/9865>
- Banco Mundial. (2021). *Plan de acción de género: Programa de Reducción de Emisiones de REDD+ República Dominicana*. Recuperado el 03 de Diciembre de 2024, de Biblioteca Virtual de Educación Ambiental: <https://bvearmb.do/handle/123456789/1659>

- Beltrán-Morales, FA, Nieto-Garibay, A., Murillo-Chollet, J., Ruiz-Espinoza, F., Troyo-Díeguez, E., Alcalá-Jáuregui, J. y Murillo-Amador, B. (2019). Contenido de nitrógeno inorgánico, fósforo y potasio de fertilizantes naturales para uso en agricultura orgánica. *Revista Terra Latinoamericana*, 37(4), 371–378. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>
- Blandariz, S., Sáenz-Véliz, R. y Coronel Ponce, D. (2019). Biodiversidad como indicador de sostenibilidad para la gestión ambiental enfocada al turismo, Manabí, Ecuador. *UNESUM-Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria*, 3(3), 137-154. <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesciencias/article/view/164>
- Bratti, F., Locatelli, J., Ribeiro, R., Besen, M., Dieckow, J., Bayer, C. y Piva, J. (2022). Emisiones de óxido nítrico y metano afectadas por el pastoreo y la fertilización nitrogenada en un sistema integrado de cultivo y ganadería. *Geoderma*, 425, 116027. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706122003342>
- Brown, S., Biswas, A., Caron, J., Dick, M. y Bing, S. (2021). *Física del suelo*. https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Soil_Science/Digging_into_Canadian_Soils%3A_An_Introduction_to_Soil_Science/01%3A_Digging_In/1.04%3A_Soil_Physics
- Călina, J., Călina, A., Ianco, T. y Vangu, M. (2022). Investigación sobre el uso de escaneo aéreo y SIG en el diseño de obras de extensión de la producción agrícola sostenible en una finca agroturística en Rumania. *Sustainability*, 14(21), 14219. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/14219>
- Cassani, S., Mancera, K., Canul, J., Aviles, L., Solorio, J., Guereca, P. y Galindo, F. (2022). Evaluación del desempeño sostenible de sistemas silvopastoriles nativos e intensivos en el trópico mexicano usando el marco metodológico MESMIS. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3). <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3556>
- Castellanos, A. (2022). *Sistemas Silvopastoriles. ¿Qué son? y Tipos. Ventajas*. <https://naturaleza.animalesbiologia.com/ecologia/sistemas-silvopastoriles>
- Céspedes Flores, E., Rey Montoya, T., Mónaco, I. y Fernández López, C. (2021). Stock de fósforo, nitrógeno y carbono en suelo del Chaco semiárido con diferentes usos. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 41(2), 99-106. https://www.researchgate.net/publication/377082744_Stock_de_fosforo_nitrogeno_y_carbono_en_suelo_del_Chaco_semiarido_con_diferentes_usos
- Chappa, L. R., Nungula, E. Z., Makwinja, Y. H., Ranjan, S., Sow, S., Alnemari, A. M., Maitra, S., Seleiman, M. F., Mwadalu, R. y Gitari, H. I. (2024). Outlooks on Major Agroforestry Systems. En *Outlooks on Major Agroforestry Systems* (pp. 21-48). <https://doi.org/10.1002/9781394231164.ch2>
- De Faccio Carvalho, P. C., Da Silveira Pontes, L., Barro, R. S., Simões, V. J. L. P., Dominschek, R., Cargnelutti, C. D. S., Mauricio, R. M., De São José, J. F. B. y Bremm, C. (2024). Integrated crop-livestock-forestry systems as a nature-based solution for sustainable agriculture. *Agroforestry Systems*, 98(7), 2309-2323. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01057-9>
- De Prado, D., Riofrio, J., Aldea, J., Bravo, F. y De Aza, C. (2022). Competencia e influencia del clima en los modelos de incremento del área basal de los bosques mixtos mediterráneos. *Ecología y Gestión Forestal*, 506, 119955. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119955>
- Delgado, A. y Gómez, J. (2017). The Soil. Physical, Chemical and Biological Properties. En Villalobos, F., Fereres, E. (eds) *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* (pp. 15-26). https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_2
- Deng, L., Peng, C., Gill-Kim, D., Li, J., Liu, Y., Hai, X. y Kuzyakov, Y. (2021). Efectos de la sequía en la dinámica del carbono y el nitrógeno del suelo en los ecosistemas naturales globales. *Earth-Science Reviews*, 214, 103501. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103501>
- Deng, X., Ma, W., Ren, Z., Zhang, M., Grieneisen, M., Chen, X. y Lv, X. (2020). Tendencias espaciales y temporales del nitrógeno total del suelo y la relación C/N para las tierras de cultivo del este de China. *Geoderma*, 361, 114035. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114035>
- Dumont, B., Puillet, L., Martin, G., Ingrand, S., Niderkorn, V., Steinmetz, L. y Thomas, M. (2020). Incorporar diversidad a los sistemas de producción animal puede aumentar su rendimiento y fortalecer su resiliencia. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 4, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00109>

- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Grover, P., Abbas, R., Andreini, D., Abumoghli, I., Barlette, Y., Bunker, D., Kruse, L. C., Constantiou, I., Davison, R. M., De, R., Dubey, R., Fenby-Taylor, H., Gupta, B., He, W., Kodama, M., . . . Wade, M. (2022). El cambio climático y la COP26: ¿Las tecnologías digitales y la gestión de la información son parte del problema o de la solución? Una reflexión editorial y un llamado a la acción. *International Journal Of Information Management*, 63, 102456. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102456>
- Fattani, S., Forka, C., García, M., Huynh, T. y Merricks, T. (2021). Soil Moisture and Porosity Affects the Abundance and Soil Moisture and Porosity Affects the Abundance and Distribution of *Ageratum houstonianum* Distribution of *Ageratum houstonianum*. *Pursue: Undergraduate Research Journal*, 4(1), 1-18. <https://digitalcommons.pvamu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1020&context=pursue>
- Guo, P., Yang, L., Kong, D. y Zhao, H. (2022). Efectos diferenciales de la adición de amonio y nitrato sobre la biomasa microbiana del suelo, las actividades enzimáticas y el carbono orgánico en un bosque templado del norte de China. *Plant And Soil*, 481(1-2), 595-606. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05663-3>
- Haddad, F., Herrera, P. y Besbes, B. (2022). *Grazing with trees: A silvopastoral approach to managing and restoring drylands*. Editorial FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2280en>
- Haq, S., Rashid, A., Calixto, E., Ali, A., Kumar, M., Srivastava, G. y Khuroo, A. (2022). Desentrañar patrones de reservas de carbono forestal a lo largo de un amplio gradiente altitudinal en el Himalaya: implicaciones para la mitigación del cambio climático. *Forest Ecology And Management*, 521, 120442. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120442>
- Heredia, A. (2020). Políticas de fomento para la incorporación de las tecnologías digitales en las micro, pequeñas y medianas empresas de América Latina: revisión de experiencias y oportunidades. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/deed0786-81fb-48cf-85e5-c2fab0685e0c>
- Herman, J., Quinn, J., Steinschneider, S., Giuliani, M. y Fletcher, S. (2022). La adaptación climática como problema de control: revisión y perspectivas sobre la planificación dinámica de los recursos hídricos en condiciones de incertidumbre. *Water Resources Research*, 56(2). <https://doi.org/10.1029/2019WR025502>
- Hoffland, E., Kuyper, T., Comans, R. y Creamer, R. (2020). Ecofuncionalidad de la materia orgánica en los suelos. *Plant And Soil*, 455(1-2), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04651-9>
- Hui, D., Yang, X., Deng, Q., Liu, Q., Wang, X., Yang, H. y Ren, H. (2021). Estequiometría C:N:P del suelo en bosques tropicales de la isla de Hainan en China: variaciones espaciales y verticales. *CATENA*, 201, 105228. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105228>
- Hurtado, A. C., Traspadini, E. I. F., De Sousa, F. B. F., Marchioro, V., Oliveira, L. S. S., Santos, L. C., Vicedo, D. O., Calzada, K. P. y Cazzeta, J. O. (2023). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos ácidos con la aplicación de vinaza: *Revista internacional de contaminación ambiental*, 39, 461-471. <https://doi.org/10.20937/rica.54554>
- Ivanchuk, N. (2021). *Agricultura Regenerativa: Camino A Un Futuro Seguro*. <https://eos.com/es/blog/agricultura-regenerativa>
- Knoke, T., Kindu, M., Schneider, T. y Gobakken, T. (2021). Inventario de atributos forestales para apoyar la integración de los servicios ecosistémicos no relacionados con el abastecimiento y la biodiversidad en la planificación forestal: desde la recopilación de datos hasta el suministro de información. *Current Forestry Reports*, 7(1), 38-58. <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00138-7>
- Kögel-Knabner, I. y Amelung, W. (2021). Materia orgánica del suelo en los principales grupos de suelos pedogénicos. *Geoderma*, 384, 114785. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114785>
- Kogut, E. (2023). *Degradación Del Suelo: Técnicas Para Evitar Sus Efectos*. Obtenido de Eos.com: <https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo>
- Kranabetter, M., Sholinder, A. y De Montigny, L. (2020). Comparación de la productividad de las especies de coníferas en relación con la estequiometría del carbono, nitrógeno y fósforo del suelo en los bosques tropicales perhúmedos de Columbia Británica. *Biogeosciences*, 17(5), 1247-1260. <https://doi.org/10.5194/bg-17-1247-2020>
- Larbodière, L., Davies, J., Schmidt, R., Magero, C., Vidal, A., Arroyo Schnell, A., Bucher, P., Maginnis, S., Cox, N., Hasinger, O., Abhilash, P.C., Conner, N., Westerberg, V. y Costa, L. (2020). *Punto de encuentro: restaurar la salud de las tierras para una agricultura sostenible*. Gland, Suiza: UICN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-023-Es.pdf>
- Vargas-Larreta, B., López-Martínez, J. O., González, E. J., Corral-Rivas, J. J. y Hernández, F. J. (2021). Evaluación de las relaciones entre la biomasa aérea y la diversidad funcional en bosques templados del norte de México. *Forest Ecosystems*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00282-3>

- Lecegui, A., Olaizola, A. y Varela, E. (2022). Desentrañar el papel de las prácticas de gestión en la prestación de servicios ecosistémicos en los sistemas silvopastorales mediterráneos: sinergias y compensaciones mediante una evaluación basada en expertos. *Forest Ecology And Management*, 517, 120273. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120273>
- Resquín, A. L., Candado, A. B., Quintana, L. R. F., Fleitas, C. A. Q., Gonzales, M. A. S. y Lovera, E. D. M. R. D. (2024). Efecto de la fertilización potásica y arreglos espaciales en la producción de tomate (*lycopersicon esculentum* mill). *Revista Alfa*, 8(22), 29-40. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.245>
- Leite, F. F. G. D., Nóbrega, G. N., Baumgärtner, L. C., Alecrim, F. B., Da Silveira, J. G., Cordeiro, R. C. y De Aragão Ribeiro Rodrigues, R. (2023). Greenhouse gas emissions and carbon sequestration associated with Integrated Crop–Livestock–Forestry (ICLF) systems. *Environmental Reviews*, 31(4), 589-604. <https://doi.org/10.1139/er-2022-0095>
- Pérez-Lombardini, F., Mancera, K. F., Suzán, G., Campo, J., Solorio, J. y Galindo, F. (2021). Evaluación de la sustentabilidad en sistemas silvopastoriles de ganado en los trópicos mexicanos utilizando el marco SAFA. *Animals*, 11(1), 109. <https://doi.org/10.3390/ani11010109>
- Marino, D. y Morán, J. (2019). ¿Puede el estrés por amonio ser positivo para el rendimiento de las plantas? *Frontiers In Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01103>
- Mateolli, F. (2020). *Agricultura climáticamente inteligente (CSA): un enfoque integrado para la gestión del cambio climático en el sector agrícola*. En Springer eBooks (pp. 1-29). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22759-3_148-1
- Merani, V., Millan, G., Ferro, D., Larrieu, L., Bennardi, D., Polich, N., Juan, L. y Bongiorno, F. M. (2022). Comparación de metodologías de determinación de la conductividad eléctrica y concentración iónica en suelos de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR*, 34, e003. <https://doi.org/10.35305/agro34.277>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ecuador [MAGA P]. (2022). *Un mapa permite conocer la situación de los suelos en Ecuador*. <https://www.agricultura.gob.ec/un-mapa-permite-conocer-la-situacion-de-los-suelos-en-ecuador/>
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2016). *Bosques para el buen vivir- Plan de acción REDD+ Ecuador*. https://redd.unfccc.int/media/plan_accion_redd.pdf
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales [MARENA]. (2020). *Guía para el Manejo Forestal*. Nicaragua. <https://www.marena.gob.ni/Enderedd/wp-content/uploads/2020/07/7-Gu%C3%ADa-para-el-Manejo-Forestal-PDF.pdf>
- Murrell, S., Mikkelsen, R. L., Sulewski, G., Norton, R., y Thompson, M. (2021). *Mejorando Potasio recomendaciones para la agricultura*. En Springer eBooks. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-59197-7>
- Numbere, A. (2022). Aplicación de SIG y teledetección a la gestión de recursos forestales en los manglares del delta del Nígeria. En Jhariya, M. K., Meena, R. S., Banerjee, A. y Meena, S. N. (Eds.) *Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability* (pp. 433-459). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822976-7.00024-7>
- Ocampo, L., Osorio, W., Martínez, J. y Cabrera, K. (2023). Indicadores químicos de la salud del suelo en sistemas silvopastoriles, bosques de restauración y cultivo de maíz en un bosque seco tropical. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 11(3), 220-232. [https://doi.org/10.17138/tgft\(11\)220-232](https://doi.org/10.17138/tgft(11)220-232)
- Ordoñez, M. (2021). *Cómo evaluamos las acciones implementadas por Alianzas entre múltiples interesados para el desarrollo sostenible?*. <https://n9.cl/q2oq6>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022). *Suelos sanos para una población y un planeta sanos: la FAO pide revertir la degradación del suelo*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022/en>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2023). *Portal de Suelos de la FAO*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Quinto-Mosquera, H., Ayala-Vivas, G. y Gutiérrez, H. (2022). Contenido de nutrientes, acidez y textura del suelo en áreas degradadas por la minería en el Chocó biogeográfico. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 46(179), 514-528. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1615>
- Reda, R., Saffaj, T., Ilham, B., Saidi, O., Issam, K., Brahim, L. y El Hadrami, E. (2019). Un estudio comparativo entre un nuevo método y otros algoritmos de aprendizaje automático para la predicción del carbono orgánico del suelo y el nitrógeno total mediante espectroscopia de infrarrojo cercano. *Chemometrics And Intelligent Laboratory Systems*, 195, 103873. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2019.103873>

- Reyna-Bowen, L., Fernandez-Rebollo, P. y Fernández-Habas, J. (2020). Influencia de la gestión de los árboles y del suelo en las reservas y depósitos de carbono orgánico del suelo en sistemas de dehesas. *CATENA*, 190, 104511. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104511>
- De Aragão Ribeiro Rodrigues, R., Ferreira, I. G. M., Da Silveira, J. G., Da Silva, J. J. N., Santos, F. M. y Da Conceição, M. C. G. (2023). *Sistemas de integración agricultura-ganadería-bosque como estrategia de producción sustentable en Brasil*. En *Environment & policy* (pp. 165-182). https://doi.org/10.1007/978-3-031-29853-0_9
- Sadeghian-Khalajabadi, S. y Díaz-Marín, C. (2020). Corrección de la acidez del suelo: Alteraciones químicas del suelo. *Cenicafé*, 71(1), 7-20. https://www.researchgate.net/publication/342688096_Correccion_de_la_acidez_del_suelo_alteraciones_quimicas_del_suelo
- Saucedo, G y Arenas, L. (2023). *Cambio de propiedades químicas del suelo en zona boscosa, sistemas agroforestal, agrícola y pastoril Calzada – Moyobamba*. [Tesis de posgrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/1933>
- Sheppard, J. P., Reckziegel, R. B., Borrass, L., Chirwa, P. W., Cuaranhua, C. J., Hassler, S. K., Hoffmeister, S., Kestel, F., Maier, R., Mälicke, M., Morhart, C., Ndlovu, N. P., Veste, M., Funk, R., Lang, F., Seifert, T., Du Toit, B. y Kahle, H. (2020). Agroforestry: An Appropriate and Sustainable Response to a Changing Climate in Southern Africa? *Sustainability*, 12(17), 6796. <https://doi.org/10.3390/su12176796>
- Singh, B. K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J. E., Liu, H. y Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 21(10), 640-656. <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7>
- Silva-Olaya, A. M., Olaya-Montes, A., Polanía-Hincapié, K. L., Cherubin, M. R., Duran-Bautista, E. H. y Ortiz-Morea, F. A. (2021). Los sistemas silvopastoriles mejoran la salud del suelo en la región amazónica. *Sustainability*, 14(1), 320. <https://doi.org/10.3390/su14010320>
- Solly, E., Weber, V., Zimmermann, S., Walthert, L., Hagerdorn, F. y Schmidt, M. (2020). Una evaluación crítica de la relación entre la capacidad efectiva de intercambio catiónico y el contenido de carbono orgánico del suelo en suelos forestales suizos. *Frontiers In Forests And Global Change*, 3. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00098>
- Soto-Mora, E., Hernández, M., Lunas, H., Ortiz, E. y García, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 98-105. <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>
- Soto, P. (J 2021). *Evaluación de éxito de un proyecto de restauración en sistema pastoril silvícola en Villagrán, Tamaulipas*. [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/21812/1/21812.pdf>
- Teague, R. y Kreuter, U. (2020). Manejo del pastoreo para restaurar la salud del suelo, la función y los servicios ecosistémicos. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187>
- Tosquy-Valle, O. H., Zetina-Lezama, R., López-Salinas, E., Ibarra-Pérez, F. J., Villar-Sánchez, B. y Rodríguez-Rodríguez, J. R. (2020). Comparación de genotipos de frijol negro opaco en suelos ácidos del sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 91-102. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.411>
- Uhl, B., Pouska, V., Cervenka, J., Karasch, P. y Bassler, C. (2021). *Conservación de la biodiversidad en los bosques de Europa Central: un concepto para silvicultores y responsables políticos*. <https://n9.cl/bhe3sz>
- Varese, P., Spinelli, E. y Goracci, J. (2024). *Silvopastoralismo, ordenamiento forestal y conservación de la naturaleza: propuestas para estrategias de gestión sostenible*. <https://www.intechopen.com/online-first/89568>
- Veloza, R. y Morales, J. (2021). *Fortaleciendo el financiamiento para el manejo sostenible de bosques en América latina y el Caribe a través de los Fondos Forestales Nacionales*. <https://openknowledge.fao.org/items/da513196-b8a7-4fbf-9f61-6a20f45a448c>
- Vera-Macías, L. R., Hernández-Jiménez, A., Mesías-Gallo, F. W., Cedeño-Sacón, Á. F., Guzmán-Cedeño, Á. M., Ormaza-Cedeño, K. P. y López-Alava, G. A. (2019). Principales suelos y particularidades de su formación del sistema Carrizal-Chone, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 40(2), 06. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193262825006>
- Wahba, M., Labib, F. y Zaghloul, A. (2019). Manejo de Suelos Calcáreos en Región Árida. *International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling*, 2(5), 248-258. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijepem/issue/54370/789221>
- Wang, H., Yan, Z., Chen, Z., Song, X., Zhang, J., Li, S., Müller, C., Ju, X. y Zhu-Barker, X. (2024). La inmovilización microbiana de amonio promovió la retención de nitrógeno en el suelo en condiciones de alta humedad en suelos fluvoacuicos gestionados intensivamente. *Biol Fertil Soils*, 61(3), 641–651. <https://doi.org/10.1007/s00374-024-01831-y>
- Wang, Z., Mahmood, U., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F. y Li, X. (2020). La fertilización con magnesio mejora el rendimiento de los cultivos en la mayoría de los sistemas de producción: un metanálisis. *Frontiers In Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01727>

- Wurtzebach, Z., DeRose, R. J., Bush, R. R., Goeking, S. A., Healey, S., Menlove, J., Pelz, K. A., Schultz, C., Shaw, J. D. y Witt, C. (2019). Supporting National Forest System Planning with Forest Inventory and Analysis Data. *Journal Of Forestry*, 118(3), 289-306. <https://doi.org/10.1093/jofore/fvz061>
- Xu, Z., Zhang, T., Wang, S. y Wang, Z. (2020). El pH del suelo y la relación C/N determinan las variaciones espaciales en las comunidades microbianas del suelo y las actividades enzimáticas de los ecosistemas agrícolas en el noreste de China: caso de la provincia de Jilin. *Applied Soil Ecology*, 155, 103629. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103629>
- Yanez, W. Á., Pomboza-Tamaquiza, P., Valle-Velastegui, L., Villacis, L. y Frutos, V. (2018). Evualación de los bioindicadores de calidad del suelo en tres zonas altitudinales de Tunguragua, Ecuador. *Tropical And Subtropical Agroecosystems*, 21(1). <https://doi.org/10.56369/tsaes.2593>
- Yantas, K. (2022). *Estimación del nivel de captura de dióxido de carbono del eucalipto (Eucalyptus globulus), Ciprés (Cupressus macrocarpa) y Pino (Pinus radiata), en la localidad de Huariaca, Pasco - 2019*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6528187>
- Zhang, Y., Wang, J., Dai, S., Zhao, J., Huang, X., Sun, Y., Chen, J., Cai, Z. y Zhang, J. (2019). El efecto de la relación C:N sobre la nitrificación heterótrofa en suelos ácidos. *Soil Biology And Biochemistry*, 137, 107562. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107562>
- Zhou, G., Xu, S., Ciais, P., Manzoni, S., Fang, J., Yu, G., Tang, X., Zhou, P., Wang, W., Yan, J., Wang, G., Ma, K., Li, S., Du, S., Han, S., Ma, Y., Zhang, D., Liu, J., Liu, S., . . . Chen, X. (2019). El clima y la relación C/N de los desechos limitan la acumulación de carbono orgánico en el suelo. *National Science Review*, 6(4), 746-757. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz045>



Comportamiento de la producción de huevos en generaciones de gallinas Turquino procedente de huevos clasificados “no aptos” para la incubación

Behavior of egg production in generations of Turquino hens from eggs classified as “not suitable” for incubation

Aimé Rosario Batista Casacó , Ana Ruth Álvarez Sánchez , Marlon Fernando Monge-Freile

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

Autor de correspondencia: abatista@uteq.edu.ec

Recibido: 05/06/2024. Aceptado: 25/11/2025.

Publicado el 9 de enero de 2026.

Resumen

Con el objetivo de demostrar que las pollitas Turquino de segunda generación, procedentes de huevos “no aptos”, tuvieron comportamiento similar a sus progenitoras (primera generación) en la producción de huevos, se estudiaron 2.000 pollitas (1.000 por cada tratamiento en estudio, procedentes de la incubación de huevos “no aptos”), pertenecientes a la unidad #33 Antonio Maceo de las Empresas del Combinado Avícola Nacional (UECAN). Se empleó un diseño completamente al azar para evaluar los tratamientos y se establecieron correlaciones entre los diferentes estadígrafos para analizar las relaciones entre variables: inicio de puesta (5 %), pico de puesta, porcentaje de producción de huevo en el pico de puesta, y persistencia de la producción de huevos. Los animales fueron criados en piso durante todo el experimento (39 semanas). Las ecuaciones de regresión para las curvas estudiadas se obtuvieron con el programa Curve Expert 1.3. La relación de las curvas de producción de huevos se conformó para cada generación, mediante un polinomio de grado 6. La prueba de Chi-cuadrado evaluó la independencia o asociación entre las variables empleadas. Las pollitas de la segunda generación mostraron un comportamiento similar en el ciclo productivo a sus progenitoras de la primera generación, demostrando la posibilidad del uso de estos huevos en la producción de las gallinas Turquino en Cuba. La similitud en la producción de huevos en la segunda generación fue comparable a la primera y a la curva típica establecida. Se utilizó el programa IBM SPSS Statistics versión 24 – 2016.

Palabras clave: generación, incubación, persistencia, pico de puesta.

Abstract

To demonstrate that second-generation Turquino pullets, derived from “non-standard” eggs, had similar performance to their progenitors (first generation) in egg production, a study was conducted with 2,000 pullets (1,000 for each treatment under study, from the incubation of “non-standard” eggs) from Unit #33 Antonio Maceo of the National Poultry Combine Companies (UECAN). A completely randomized design was used to evaluate the treatments, and correlations were established between different statistics to analyze relationships between variables: onset of laying (5 %), peak of laying, percentage of egg production at the peak of laying, and persistence of egg production. The animals were reared on the floor throughout the experiment (39 weeks). Regression equations for the studied curves were obtained using Curve Expert 1.3. The relationship of the egg production curves was established for each generation using a 6th-degree polynomial. The Chi-square test evaluated the independence or association between the variables used. The second-generation pullets showed similar productive performance to their first-generation progenitors, demonstrating the potential use of these eggs in the production of Turquino hens in Cuba. The similarity in egg production in the second generation was comparable to the first generation and the established typical curve. IBM SPSS Statistics version 24 – 2016 was used..

Keywords: generation, incubation, persistence, laying peak.

Introducción

La avicultura alternativa en Cuba se ha convertido en una herramienta esencial para las familias rurales, proporcionando una fuente accesible y confiable de proteínas de origen animal que contribuye significativamente a satisfacer las necesidades nutricionales de la población. Este enfoque es particularmente relevante en áreas donde las opciones de acceso a alimentos proteicos son limitadas o costosas. Según Nguyen *et al.* (2021), estas prácticas alternativas no solo ayudan a mejorar la dieta de las familias rurales, sino que también juegan un papel importante en la seguridad alimentaria local, promoviendo un sistema alimentario más resiliente y autosuficiente.

Dentro de las prácticas de avicultura alternativa, las gallinas Turquino destacan por su papel crucial debido a su rusticidad, resistencia y notable adaptabilidad a las condiciones climáticas y ambientales de un país tropical como Cuba. Báez Quiñones y Oramas Santos (2018) resaltan que estas aves no solo son capaces de sobrevivir, sino también de prosperar en condiciones de sostenibilidad, lo que las convierte en una opción ideal para los pequeños productores rurales.

Las gallinas Turquino han demostrado ser resistentes a enfermedades comunes, lo cual reduce la necesidad de medicamentos costosos y facilita su manejo bajo condiciones menos intensivas, además, la avicultura alternativa con razas como esta permite a las familias rurales diversificar sus fuentes de ingresos, ya que pueden vender tanto huevos como carne, generando una economía local más dinámica y resistente a fluctuaciones económicas externas. Esto es particularmente importante en contextos donde el acceso a mercados es limitado y las opciones de empleo son escasas. De esta manera, la Turquino no solo contribuyen a mejorar la nutrición, sino que también fortalecen la autonomía económica de las comunidades rurales, apoyando un desarrollo más equitativo y sostenible en las zonas rurales de Cuba (Nguyen *et al.*, 2021).

No es menos cierto que en el país son escasos los estudios formales sobre el comportamiento productivo de los animales de traspatio, lo cual limita la comprensión integral de su potencial en términos de producción y sostenibilidad. Sin embargo, la cría de gallinas en patios de campesinos, especialmente en zonas montañosas y semirurales, continúa siendo una actividad de gran relevancia para la vida cotidiana de muchas familias rurales. Estas aves no solo constituyen una fuente accesible de proteínas mediante la producción de huevos y carne, sino que también desempeñan un papel clave en la seguridad alimentaria, ya que sus productos se destinan principalmente al autoconsumo familiar (Gispert Muñoz *et al.*, 2019).

En las zonas rurales de Cuba, se estima que más del 90 % de las familias crían gallinas, lo que demuestra la amplitud y la importancia de esta práctica en la vida cotidiana de estas comunidades. Estas aves suelen ser una parte integral del ciclo de vida rural, no solo por su valor nutricional, sino también porque su crianza es relativamente sencilla y económica,

adaptándose bien a los recursos disponibles. En promedio, cada familia promedio cría entre 8 a 20 gallinas, una cifra que varía según las disponibilidades de recursos como alimento, espacio, y la región específica en la que habitan. Esta variabilidad también puede reflejar las diferencias en la capacidad de las familias para invertir en la crianza de animales, lo que a su vez puede estar influenciado por factores socioeconómicos y ambientales locales.

La importancia de la cría de gallinas de traspatio va más allá de la simple provisión de alimentos. Esta actividad también representa una fuente de ingresos complementaria, ya que los excedentes de producción pueden ser vendidos o intercambiados, contribuyendo así a la economía local y al sustento de las familias. Además, la presencia de estos animales en las comunidades rurales fomenta prácticas de reciclaje de residuos orgánicos, ya que las gallinas pueden alimentarse de sobras de alimentos y otros desechos, contribuyendo a la sostenibilidad del entorno doméstico. Por lo tanto, promover investigaciones que profundicen en el comportamiento productivo de estos animales podría no solo mejorar la eficiencia de su cría, sino también potenciar los beneficios económicos y nutricionales que ofrecen a las familias rurales cubanas Guerra *et al.* (2009).

De acuerdo con aproximadamente entre 95 y 96 huevos de cada 100 son considerados aptos para incubar, mientras que el 4-5 % restante se clasifica como “no aptos” debido a diversas características físicas que no cumplen con los estándares establecidos para una incubación óptima. Estos huevos no aptos pueden incluir aquellos con cáscaras deformes, rugosas, demasiado pequeñas o excesivamente grandes. Sin embargo, es importante destacar que la clasificación de un huevo como no apto se basa principalmente en criterios de calidad exterior, y no siempre refleja su potencial de fertilidad o capacidad para desarrollarse adecuadamente durante el proceso de incubación.

Madrigal-Portilla *et al.* (2023) también subrayan que la calidad exterior del huevo no siempre repercute negativamente en la incubación. En muchos casos, los huevos que son descartados por presentar defectos en su cáscara pueden ser fértiles y capaces de producir polluelos viables. Por ejemplo, huevos con formas ligeramente anormales o tamaños no convencionales, aunque no cumplen con los parámetros típicos de selección, podrían aún contener embriones viables que, bajo condiciones adecuadas de incubación, podrían desarrollarse sin problemas.

La práctica de descartar huevos basándose únicamente en características exteriores puede llevar a una pérdida innecesaria de potencial productivo, especialmente en contextos donde la maximización de recursos es crucial. En sistemas de producción a gran escala, esto puede traducirse en una reducción de la eficiencia y un desperdicio de recursos valiosos.

En consecuencia, algunos productores y científicos sugieren que es fundamental reconsiderar los criterios de

selección de huevos para incubación, evaluando no solo la apariencia externa, sino también la calidad interna y la viabilidad del embrión mediante técnicas como la ovoscopia y otros métodos de evaluación más precisos.

Además, es relevante considerar que, en entornos donde la disponibilidad de huevos para incubación es limitada, aprovechar al máximo cada huevo fértil podría mejorar significativamente los índices de producción y contribuir a la sostenibilidad del sistema productivo. Así, una reevaluación de los estándares de clasificación de huevos podría no solo optimizar la productividad sino también apoyar prácticas más inclusivas y eficientes en la industria avícola (Barrios Castellanos *et al.*, 2012).

Por otra parte, la producción de huevos en las generaciones de gallinas está altamente influenciada por la heredabilidad de la madurez sexual, lo que significa que las características genéticas relacionadas con la capacidad de poner huevos se transmiten con eficacia de una generación a la siguiente. Esto implica que, al seleccionar adecuadamente las líneas genéticas, es posible mejorar de manera significativa el rendimiento productivo de las gallinas. También señala que el potencial genético de las aves puede no manifestarse completamente si las condiciones ambientales no son las adecuadas. En otras palabras, el rendimiento productivo de las gallinas no solo depende de su genética, sino que también está influenciado por una serie de factores medioambientales que pueden afectar positiva o negativamente su capacidad para alcanzar su máximo potencial.

Entre los factores ambientales más determinantes se encuentran el manejo de las aves, la calidad y cantidad de la alimentación, la calidad del aire en el entorno de cría, y la temperatura ambiental. Estos elementos deben ser cuidadosamente controlados para asegurar que las gallinas se encuentren en condiciones óptimas para la producción de huevos. Un manejo adecuado implica no solo mantener una densidad adecuada de población para evitar el estrés, sino también proporcionar un ambiente limpio y seguro, donde las aves puedan desarrollar su comportamiento natural.

La alimentación es otro aspecto crítico, ya que una dieta equilibrada que contenga los nutrientes necesarios es esencial para la salud de las gallinas y la calidad de los huevos. Deficiencias o desequilibrios en la dieta pueden resultar en una menor producción de huevos, así como en huevos de menor calidad, con cáscaras frágiles o defectos internos que los hacen no aptos para la incubación. La calidad del aire, incluyendo la ventilación adecuada para eliminar gases nocivos como el amoníaco, y mantener niveles de humedad apropiados, también juega un papel vital en la salud respiratoria de las aves, lo cual impacta directamente en su bienestar y productividad.

La temperatura ambiental es igualmente crucial, ya que las gallinas son sensibles a las fluctuaciones de temperatura, y un entorno demasiado caluroso o frío puede causar estrés térmico, reduciendo la producción de huevos y afectando

la calidad de los mismos. Por lo tanto, para maximizar la producción de huevos utilizables y minimizar los costos, es esencial mantener un control riguroso de estos factores. Al hacerlo, se pueden lograr picos de puesta elevados y persistentes hasta el final del período de postura, asegurando no solo una producción eficiente de huevos para el consumo, sino también una alta proporción de huevos óptimos para la incubación (Vargas-Hidalgo *et al.*, 2021).

El uso de huevos clasificados como “no aptos” en la producción de aves semirústicas Turquino tiene una connotación especial, ya que estos huevos se destinan a la reproducción futura en patios, a diferencia de otros estudios que se enfocan en producciones terminales como la ceba y las ponedoras comerciales. Este enfoque permite que las gallinas Turquino expresen completamente su potencial genético, produciendo más huevos y de mejor calidad. Evaluar el potencial productivo de estos huevos “no aptos” es esencial para optimizar recursos y mejorar la sostenibilidad de la producción avícola a largo plazo.

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar que las pollitas Turquino de segunda generación, provenientes de huevos “no aptos”, tienen un comportamiento de producción similar al de sus progenitoras de la primera generación. Este análisis es relevante, ya que medir el rendimiento de huevos “no aptos” permite determinar su viabilidad para la producción de pollitas de calidad, lo que puede ayudar a reducir costos y mejorar la rentabilidad. La recogida de datos individuales de los huevos de la primera y segunda generación, a partir de aquellos considerados “no aptos”, subraya la importancia de aprovechar al máximo los recursos disponibles y maximizar el potencial productivo en la producción de gallinas Turquino.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en la unidad #33 Antonio Maceo, ubicada en la carretera del Paso de Lezca, Km. 6½, perteneciente a la Empresas del Combinado Avícola Nacional (UECAN). Este sitio fue seleccionado por su idoneidad para estudios avícolas y su capacidad para albergar un número significativo de animales en condiciones controladas. El diseño experimental empleado fue completamente al azar, con el propósito de minimizar la influencia de variables externas no controladas, asegurando así que los resultados obtenidos reflejaran de manera precisa las diferencias entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos fueron definidos por las generaciones de gallinas Turquino, específicamente la primera y la segunda generación, permitiendo evaluar y comparar el rendimiento productivo entre estas cohortes.

El manejo de las gallinas se realizó de acuerdo con los protocolos establecidos por Vidal (2001), garantizando que las condiciones de experimentación fueran consistentes y estandarizadas. Durante el experimento, los animales fueron criados en el piso desde el primer día hasta la culminación en la etapa de postura. El tiempo de estudio fue de 39 semanas a

partir del inicio de la puesta establecido en la semana 22.

Los huevos “no aptos” utilizados incluyeron huevos deformes, rugosos, pequeños y grandes.

Cada gallina de la primera y segunda generación fue considerada como una unidad experimental individual. Las variables de respuesta fueron el inicio de puesta, el pico de puesta, el porcentaje de producción de huevos en el pico de puesta y la persistencia de la producción de huevos a lo largo del tiempo.

Se utilizaron 2.000 gallinas en total (1.000 por cada generación) para proporcionar una muestra lo suficientemente grande para obtener resultados estadísticamente significativos, reduciendo la probabilidad de error y aumentando la fiabilidad de las conclusiones.

Mediciones y análisis

Se recopilaron datos diarios de la producción de huevos de cada generación de gallinas Turquino, lo que permitió una evaluación detallada del rendimiento productivo durante el tiempo de estudio. Con los valores obtenidos, se calcularon estadígrafos de tendencia central, para comprender el rendimiento promedio de las gallinas en cada generación. Además, se calcularon medidas de dispersión, como la desviación estándar, para evaluar la variabilidad en la producción de huevos entre las diferentes gallinas y generaciones.

Se establecieron correlaciones entre los diferentes estadígrafos para analizar las relaciones entre variables clave, como el inicio de puesta, el pico de puesta, y la persistencia en la producción de huevos para identificar factores que pudieran influir de manera significativa en el rendimiento productivo. Las curvas de producción de huevos se conformaron para cada generación, proporcionando una representación visual clara de cómo varía la producción a lo largo del tiempo mediante un polinomio de grado 6 que permitió una visualización más precisa de interrelación entre las curvas de cada tratamiento.

Se aplicó una prueba de Chi-cuadrado con el objetivo de evaluar la independencia entre variables categóricas, lo cual permitió determinar si las diferencias observadas en la producción de huevos entre las distintas generaciones de gallinas eran estadísticamente significativas.

Las ecuaciones de regresión se obtuvieron utilizando el programa Curve Expert 1.3. Para el análisis estadístico de los datos recopilados, se utilizó el programa IBM SPSS Statistics versión 24 – 2016.

Resultados y discusión

Se observó que el inicio de la puesta, definido como el momento en que el 5 % de las gallinas comienza a poner huevos, se produjo en la semana 23 para la segunda generación de gallinas Turquino. En contraste, para la primera generación y la típica, este inicio ocurrió en la semana 22, de acuerdo con

los resultados reportados por Vidal (2001). Estas diferencias en el momento de inicio de la puesta revelaron variaciones significativas entre generaciones, que estuvieron influenciadas por factores genéticos y ambientales.

Los resultados obtenidos muestran un antagonismo con los hallazgos de Barrios Castellanos *et al.* (2012), quien reportó que en producciones de gallinas semirrásticas, el 5 % de la puesta suele producirse más temprano, entre las semanas 19 y 21 de edad. Esta discrepancia subraya la importancia de considerar las características específicas de cada línea o generación de gallinas al evaluar el rendimiento productivo.

Las fluctuaciones observadas en las curvas de producción de ambas generaciones en estudio indican que múltiples factores pueden influir en el rendimiento de las gallinas a lo largo del tiempo. Entre los factores más destacados que pueden causar estas variaciones se encuentran el manejo de las aves, las características de la raza, la calidad y composición de la alimentación, y las condiciones climáticas. Estas fluctuaciones son coherentes con los hallazgos de Ajakaiye *et al.* (2011) quienes también señalaron que, aunque la producción de huevos tiene una base genética fuerte, está significativamente modulada por componentes ambientales. Esto significa que incluso aves con un alto potencial genético para la producción de huevos pueden experimentar reducciones drásticas en su rendimiento si las condiciones ambientales no son favorables.

Estos hallazgos subrayan la importancia de un enfoque integral en la gestión de la producción avícola, donde tanto los aspectos genéticos como los ambientales se consideren para optimizar la producción. El entendimiento de como estos factores interactúan permite a los productores desarrollar estrategias más eficaces para maximizar la producción de huevos, manteniendo al mismo tiempo el bienestar de las aves. Además, el monitoreo continuo y la adaptación de prácticas de manejo basadas en condiciones ambientales cambiantes son cruciales para mantener la estabilidad en la producción de huevos, asegurando así la sostenibilidad y rentabilidad de la operación avícola (WingChing-Jones *et al.*, 2023).

Las ecuaciones obtenidas en el estudio se caracterizaron por ajustarse a una función rotacional para las dos generaciones de gallinas Turquino, lo que evidenció la complejidad de las curvas de producción de huevos. Esta situación refleja la influencia de múltiples factores en la producción, y su mejor representación se logró mediante un polinomio de grado 6. El uso de un polinomio de grado alto indica que la producción de huevos varía considerablemente y de manera no lineal a lo largo del tiempo, capturando tanto picos como descensos en la producción que pueden deberse a variaciones genéticas y ambientales específicas de cada tratamiento (Figura 1).

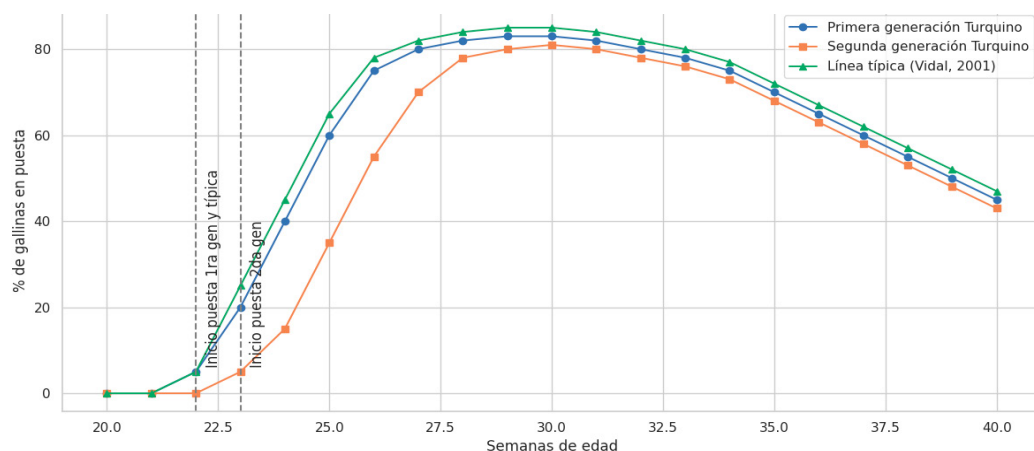


Figura 1. Comportamiento de la puesta de las dos generaciones comparada con la típica descrita por (Vidal, 2001)

La discrepancia observada entre las curvas de las gallinas típicas y las curvas de las generaciones estudiadas se debe principalmente a las diferencias en las condiciones bajo las cuales se recolectaron los datos. Mientras que las curvas típicas suelen ser obtenidas en condiciones controladas de máxima rigurosidad, donde se minimizan las variables externas y se mantienen condiciones estables de manejo y ambiente, las condiciones reales de producción, como las evaluadas en este estudio, tienden a ser más variables y menos predecibles. En un entorno de producción típico, factores como la variabilidad en la alimentación, el estrés ambiental, y las prácticas de manejo que no siempre son óptimas pueden influir significativamente en la producción de huevos, causando fluctuaciones que no se observan en condiciones controladas (Bain *et al.* 2016).

Este hallazgo coincide con lo reportado por Vila (2001), quienes señalaron que la rigurosidad en las condiciones de manejo y control ambiental es fundamental para obtener datos representativos y consistentes en estudios avícolas. Sin embargo, también resaltaron la importancia de entender y modelar las condiciones reales de producción, ya que estas son las que reflejan el día a día de los productores avícolas y su realidad operativa. Adaptar los modelos y las estrategias de manejo a estas condiciones puede ser clave para mejorar la eficiencia y la rentabilidad en la producción de huevos.

En este estudio, las ecuaciones obtenidas se ajustaron a una función rotacional para las dos generaciones de gallinas Turquino, lo que evidenció la complejidad de las curvas de producción en cada tratamiento. Esta complejidad refleja la influencia de múltiples factores en la producción, los cuales generaron variabilidad de manera no lineal a lo largo del tiempo. Las ecuaciones capturaron tanto los picos como los descensos en la producción, que podrían deberse a variaciones genéticas y ambientales específicas de cada tratamiento. Estos factores interrelacionados afectan la producción de huevos en las diferentes generaciones estudiadas.

La discrepancia observada entre las curvas de las gallinas típicas y las curvas de las generaciones estudiadas se debe principalmente a las diferencias en las condiciones bajo las

cuales se recolectaron los datos. Mientras que las curvas típicas suelen ser obtenidas en condiciones controladas de máxima rigurosidad, donde se minimizan las variables externas y se mantienen condiciones estables de manejo y ambiente, las condiciones reales de producción, como las evaluadas en este estudio, tienden a ser más variables y menos predecibles. En un entorno de producción típico, factores como la variabilidad en la alimentación, el estrés ambiental, y las prácticas de manejo que no siempre son óptimas pueden influir significativamente en la producción de huevos, causando fluctuaciones que no se observan en condiciones controladas.

Este entorno de variabilidad natural puede introducir ruido en los datos que es menos evidente en estudios realizados bajo condiciones estrictamente controladas, resaltando la necesidad de considerar estas variables al interpretar los resultados y al diseñar estrategias de manejo para la producción avícola.

Este hallazgo coincide con lo reportado por Rosabal Nava *et al.* (2017), quienes señalaron que la rigurosidad en las condiciones de manejo y control ambiental es fundamental para obtener datos representativos y consistentes en estudios avícolas. La importancia de estos controles es evidente, ya que las diferencias entre las condiciones ideales y reales pueden afectar significativamente los resultados y la aplicabilidad de los modelos desarrollados. Sin embargo, también resalta la importancia de entender y modelar las condiciones reales de producción, ya que estas son las que reflejan el día a día de los productores avícolas y su realidad operativa.

Adaptar los modelos y las estrategias de manejo a estas condiciones puede ser clave para mejorar la eficiencia y la rentabilidad en la producción de huevos. Implementar estrategias basadas en datos que reflejen las condiciones reales permite a los productores ajustar sus prácticas para abordar desafíos específicos y mejorar su rendimiento general.

Por su parte Guerra *et al.* (2009) investigó curvas de producción de huevos a partir de “no aptos” en la tecnología de producción de huevos para aves ligeras, con resultados que coinciden con el presente estudio. Esta similitud sugiere que los patrones de producción observados no son exclusivos

de un tipo de ave o de una generación específica, sino que pueden aplicarse a una variedad más amplia de condiciones y prácticas de manejo. Esto tiene implicaciones significativas para la industria avícola, ya que el desarrollo de modelos matemáticos y funciones de ajuste que puedan aplicarse a diferentes contextos facilita la implementación de mejoras prácticas en la producción de huevos, incluso en escenarios con recursos limitados o condiciones subóptimas.

La capacidad de aplicar estos modelos a diversas situaciones operativas permite a los productores adaptar sus estrategias y mejorar la eficacia de sus prácticas de manejo, potencialmente incrementando la producción y optimizando el uso de los recursos disponibles.

Por su parte, la producción en el pico se comportó entre 65 % y 78 %, valores similares a la curva típica, alineándose con los resultados de Gómez-Cuello *et al.* (2017), quienes argumentan que para los animales White Leghorn y semirrústicos, la producción en este nivel puede alcanzar valores entre 60,61 % y 84,35 %. Estos porcentajes indican que, aunque el rango observado en este estudio es inferior a los valores máximos reportados en otras investigaciones, aún se encuentra dentro de un margen comparable con el comportamiento esperado para gallinas de diferentes líneas genéticas.

No obstante, estos resultados presentan una divergencia significativa con lo reportado por Romera *et al.* (2022), quienes advierten que los tipos de gallinas ponedoras actuales pueden alcanzar valores superiores al 95 % en el pico de puesta. Esta discrepancia subraya una diferencia notable en las expectativas de producción entre las variedades tradicionales o semirrústicas y las gallinas ponedoras modernas de alta eficiencia. Mientras que las gallinas de tipo White Leghorn y semirrústicas pueden tener picos de producción que se ajustan a los rangos reportados en el estudio, las gallinas ponedoras actuales están diseñadas para alcanzar rendimientos mucho más altos.

La variabilidad en los resultados puede reflejar diferencias en los objetivos de selección genética, las prácticas de manejo, y las condiciones de alimentación y ambiente entre las distintas líneas de gallinas, resaltando la importancia de adaptar las expectativas y estrategias de manejo a la genética y condiciones específicas de cada tipo de ave.

En cuanto a la producción de huevos mantuvo su persistencia similar para la primera generación y la curva típica entre las semanas 34 y 43, con valores que oscilan entre 60 % y 73 %. Estos valores se encuentran por debajo de los reportados por WingChing-Jones *et al.* (2023), quienes observaron una persistencia significativamente más alta en ponedoras comerciales actuales, alcanzando valores superiores al 90 % entre las semanas 30 y 50. Esta diferencia sugiere que las gallinas comerciales actuales tienen una capacidad superior para mantener la producción a lo largo del tiempo, posiblemente debido a avances en genética, manejo y nutrición.

Por otro lado, la segunda generación presentó una curva de producción inestable después del pico de puesta en la semana 34. Esta inestabilidad sugiere que los factores previamente mencionados, como las condiciones ambientales, la alimentación y las prácticas de manejo, tienen una incidencia directa en la persistencia de la producción de huevos durante las diferentes etapas del ciclo de puesta. Como se ha señalado por Vargas-Hidalgo *et al.* (2021), estos factores pueden afectar en gran medida la consistencia y la estabilidad de la producción a lo largo del tiempo. La variabilidad observada en la segunda generación subraya la necesidad de considerar estos elementos en el diseño de estrategias para mejorar la persistencia y la eficiencia en la producción de huevos, adaptando las prácticas de manejo a las características específicas de cada generación y tipo de ave.

La caída en la producción de huevos en las dos generaciones de gallinas estudiadas se observó a partir de las 42 semanas, un período que resulta inferior a lo planteado por Bain *et al.* (2016). Según estos autores, las gallinas ponedoras comerciales suelen mantener una persistencia de producción alrededor de las 55 semanas. La diferencia en los tiempos de caída puede reflejar variaciones en la genética de las gallinas, prácticas de manejo, o condiciones de alimentación entre las gallinas estudiadas y las ponedoras comerciales de alto rendimiento.

Esta discrepancia sugiere que las gallinas comerciales modernas están diseñadas para mantener una mayor persistencia en la producción de huevos durante un período más prolongado. Los factores que contribuyen a esta mayor longevidad en la producción pueden incluir mejoras en la selección genética, manejo avanzado, y nutrición optimizada, los cuales no siempre están presentes en otras generaciones de gallinas. La información proporcionada por Bain *et al.* (2016), resaltan la importancia de estos factores en la maximización de la duración y eficiencia de la producción de huevos, y sugiere que, para alcanzar niveles similares de persistencia, podrían ser necesarias mejoras en las prácticas de manejo y las condiciones de crianza en las generaciones estudiadas.

Tabla 1. Prueba de concordancia para la primera y segunda generación de gallinas Turquino

	Primera generación	Típica	Segunda generación
Chi cuadrado	0,00	0,95	0,00
Grado de libertad	37,00	36,00	37,00
Significación asistólica.	1.000	1.000	1.000

Los tratamientos estudiados no mostraron diferencias significativas al aplicar la prueba de concordancia (Chi cuadrado), lo que indica que las producciones de huevos son similares entre las dos generaciones. Este hallazgo es

consistente con lo planteado por Guerra *et al.* (2009), quienes observaron resultados similares en su investigación. Sin embargo, es importante señalar que, a pesar de la similitud general en las producciones, se evidenciaron disminuciones en la segunda generación durante algunas semanas después del pico de producción. Estas caídas en la producción pueden atribuirse a influencias negativas relacionadas con la alimentación y el ambiente (Tabla 1).

Las disminuciones observadas en la segunda generación subrayan la importancia de considerar factores ambientales y de manejo en el análisis de la producción de huevos. A pesar de que los tratamientos no presentaron diferencias significativas en términos generales, la variabilidad en la producción posterior al pico refleja el impacto de las condiciones específicas de crianza. Esto sugiere que, aunque los tratamientos puedan ser similares en promedio, las condiciones subyacentes pueden afectar significativamente el rendimiento a lo largo del tiempo, y es crucial abordar estas influencias para optimizar la producción en generaciones futuras (Vila Licea *et al.* 2008).

Tabla 2. Comportamiento del total de huevos puestos y porcentaje de puesta hasta la semana 60

Generación	Total de huevos (X ± E.S)	% de puesta (X ± E.S)	Significación
Primera	310 ± 15,20	51.54 ± 2,90	ab
Segunda	280 ± 13,40	46.51 ± 2,34	a*
Típica	340 ± 14,80	56.25 ± 2,84	b

Se observaron diferencias significativas entre la curva típica y la segunda generación, mientras que la primera generación presentó una producción intermedia, con porcentajes de puesta similares a ambos grupos hasta la semana 60. En general, el porcentaje medio de puesta alcanzado en ese periodo se mantuvo dentro del rango esperado para gallinas semipesadas y reproductoras ligeras blancas, con valores entre el 50 % y el 60 % (Tabla 2).

La discrepancia entre la curva típica y la segunda generación sugieren que la segunda generación presentó características distintas en cuanto a su capacidad de producción en comparación con la curva típica. A pesar de que la primera generación muestra una producción que se alinea con el rango observado por Galeano *et al.* (2012), la diferencia significativa en la segunda generación podría reflejar variaciones en los factores genéticos, condiciones de manejo o prácticas de alimentación específicas que afectan la producción. Este hallazgo subraya la importancia de considerar las diferencias entre generaciones al evaluar la eficacia y estabilidad de los tratamientos de manejo, y la necesidad de adaptar las estrategias de manejo y alimentación a las características particulares de cada generación para optimizar la producción de huevos.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la producción de huevos cumplen con las expectativas para este propósito, ya que no se observaron diferencias significativas entre la puesta de las dos generaciones. Esto indica que este tipo de producción en las generaciones estudiadas fue consistente y se alineó con la curva típica propuesta para las gallinas Turquino en Cuba.

La falta de diferencias significativas sugiere que los tipos de postura utilizados fueron adecuados y efectivos para la tecnología de producción de las Turquino, demostrando que estos métodos pueden integrarse con éxito en los sistemas de producción avícola en el país.

Los valores de producción obtenidos son comparables a los esperados, lo que valida la viabilidad y eficacia de los tratamientos aplicados en el estudio. Este resultado resalta la capacidad de las gallinas Turquino para mantener un nivel de producción consistente y satisfactorio, lo que puede ser beneficioso para la industria avícola en términos de eficiencia y rentabilidad.

Referencias bibliográficas

- Ajakaiye, J., Pérez, A. y Mollineda, Á. (2011). Efectos de la alta temperatura sobre la producción en gallinas ponedoras suplementadas con vitaminas C y E. *Revista MVZ Córdoba*, 16(1). <https://doi.org/10.21897/rmvz.286>
- Báez Quiñones, N. y Oramas Santos, O. (2018). El enfoque de cadenas de valor: una necesidad en el sector avícola cubano. *Economía y Desarrollo*, 159(1). <https://revistas.uh.cu/econdesarrollo/article/view/2009>
- Bain, M. M., Nys, Y. y Dunn, I. C. (2016). Increasing persistency in lay and stabilising egg quality in longer laying cycles. What are the challenges? *British Poultry Science*, 57(3), 330–338. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1161727>
- Barrios Castellanos, R., Soca Pérez, M. y Vale Cañizares, A. (2012). Comportamiento de la incubabilidad y fertilidad, de tres líneas de gallinas semirústicas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(4), 1-9. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63623403004.pdf>
- Galeano V., L., Estrada P., M., Restrepo B., L. y Sorza Z., J. (2012). Respuesta productiva de gallinas semipesadas inducidas al descanso ovárico en diferentes edades. *Revista MVZ Córdoba*, 17(3), 3200-3208. <https://doi.org/10.21897/rmvz.221>
- Gispert Muñoz, A. C., Pedraza Olivera, R. M., Vázquez Montes de Oca, R. y Bidot Fernández, A. I. (2019). Características generales de sistemas familiares de producción caprina del municipio Camagüey, Cuba. *Revista de Producción Animal*, 31(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202019000300088

- Gómez-Cuello, J. E., Fraga Benítez, L. M., Pedraza Olivera, R. M., Vázquez Montes de Oca, R., Guerra, L. D. y Valdiviá Navarro, M. (2017). Modelación de curvas de puesta de los tres últimos años en gallinas White Leghorn en la provincia Ciego de Ávila. *Rev. prod. anim.*, 29(2), 42–49. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v29n2/rpa06217.pdf>
- Guerra, L., Pardo, C. G., Pedraza, C. R., Padilla, O. y Uña, F. (2009). Potencial incubatorio de diferentes tipos de huevos procedentes de reproductoras ligeras White Leghorn clasificados como defectuosos por su forma y peso. *Revista Cubana de Ciencia Avícola*, 33(1), 31–35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3330078>
- Madrigal-Portilla, J., Salas-Durán, C. y Macaya-Quirós, S. (2023). Effect of temperature and storage time on hen egg quality, *Agronomía Mesoamericana*, 34(2). <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51223>
- Nguyen, T. K., Nguyen, L. T., Chau, T. T. H., Nguyen, T. T., Tran, B. N., Taniguchi, T., Hayashidani, H. y Ly, K. T. L. (2021). Prevalence and antibiotic resistance of Salmonella isolated from poultry and its environment in the Mekong Delta, Vietnam. *Veterinary World*, 14(12), 3216–3223. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.3216-3223>
- Romera, B. M., Canet, Z. E., Fernández, R., Dottavio, A. M. y Di Masso, R. J. (2022). Peso corporal y peso del huevo de Campero Casilda como gallina doble propósito. *Revista de Producción Animal*, 34(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202022000100025
- Rosabal Nava, O., Martínez Aguilar, Y., Rodríguez Bertot, R., Pupo Torres, G., Olmo González, C. y Más Toro, D. (2017). Efecto de la suplementación dietética del polvo de hojas de *Anacardium occidentale* L. (marañón) en la producción y calidad del huevo de gallinas ponedoras. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962017000100006
- Vargas-Hidalgo, J. S., Masaquiza-Moposita, D. A. y Ortiz-Naveda, N. R. (2021). Parámetros productivos en la incubación de huevos considerados como no aptos procedentes de reproductoras pesadas. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(12), 488–503. <https://doi.org/10.35381/r.k.v6i12.1371>
- Vidal, A. (2001). Guía de manejo del ave semirrústica. Instituto de Investigaciones Avícolas. La Habana, Cuba.
- Vila Licea, M., Ravelo Adán, E., Pardo Cardoso, G. y Guevara Viera, R. (2008). Modelo de crianza de la gallina reproductora Turquino con seis meses de puesta. *Revista Producción Animal*, 20(1), 14–20. <https://core.ac.uk/download/pdf/268092694.pdf>
- WingChing-Jones, R., Zamora Sanabria, R. y Chavarria-Zamora, S. (2023). Egg quality and productive performance of ISA Brown laying hens with grazing access, *Agronomía Mesoamericana*, 34(2), 51511. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51511>



CIENCIA Y TECNOLOGÍA

revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt



cienciaytecnologia@uteq.edu.ec



+593 997507331

