

ISSN: 2664 - 0902

ISSNL: 2664 - 0902

VOLUMEN 9 NUMERO 25

ENERO - ABRIL 2025

ALFA

Revista de Investigación
en Ciencias Agronómicas y Veterinarias



CET-BOLIVIA®

ISSN: 2664 - 0902

ISSNL: 2664 - 0902

VOLUMEN 9 NUMERO 25
ENERO - ABRIL 2025

ALFA

**Revista de Investigación
en Ciencias Agronómicas y Veterinarias**



CET-BOLIVIA®

CONTACTO

Dirección postal

Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia
Avenida Huayna Potosí N° 48
Nuevos Horizontes III, Ciudad de El Alto
La Paz - Bolivia
Código Postal: 15000

Contacto principal

Ing. MSc. Alcides Wilfredo Carpio/Editor
Teléfono: (59 1) 72037872
Correo electrónico: editor@revistaalfa.org

Contacto de asistencia

Ing. Freddy Sánchez
Teléfono: (593) 999275425
Correo electrónico: soportesistema@cetbolivia.org

Información legal

ISSN: 2664-0902
ISSN-L: 2664-0902
Periodicidad: Cuatrimestral

AUTORIDADES

- Lic. David Max Olivares Alvares MSc., Director de Proyecto América
- Dr. José Lázaro Quintero Santos, Director Adjunto - Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador
- Dr. Iván Javier Villamar Alvarado, Director Adjunto - Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia
- Lic. Edgar Olivares Alvares, Director de Posgrados
- MSc. Pedro Misacc Naranjo Bajaña, Director administrativo
- Lic. Doris Lisbeth Villalba Fermín Msc., Directora de la Unidad de Publicaciones

Equipo Editorial

DIRECTOR

Ing. MSc. Alcides Wilfredo Carpio/Editor

Editor/Editor

Ing. MSc. Alcides Wilfredo Carpio, Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, Bolivia

CONSEJO EDITORIAL / EDITORIAL BOARD

- Ph.D. Enrique Richard, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” ESPAM, Ecuador
- Ph.D. Oscar Rea Campos Fundación Comunidad y Axió, Bolivia
- Ph.D. Sergio Donoso Calderón, Universidad de Chile, Chile
- Ph.d. Felipe Lidcay Herrera, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba
- Ph.d. Santiago Ulloa, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Ecuador
- Ph.D. Enrique Nieto Rodríguez, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

COMITÉ CIENTÍFICO

- Dr. Dante Pinochet Tejos, Universidad Austral de Chile, Chile
- MSc. Everth Ebratt R., Universidad Nacional de Colombia, Colombia
- Ph.D. Dennis Denis Ávila, Universidad de La Habana, Cuba
- Dr. Luis Fernando Lodoño Franco, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
- Ph.D. Julián Leoncio Rodríguez Rodríguez, Universidad de La Habana, Cuba
- Ph.D. José Ibrahin Hernández Rosas, Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador

EVALUADORES PARES

- MSc Rosa Angelica Sanmiguel, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia
- Ing. Jaime Eduardo Muñoz, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Colombia
- Mg. Andrés Javier Almeida Herdoiza, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador
- Mg. Galo Ernesto Martínez Cepeda, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí – Extensión Chone, Ecuador
- MSc. Ángel Guillermo Félix Mendoza, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador
- Ph.D. Carlos Falconi Borja, Biocontrol – Science, Ecuador
- MSc. Galo Cedeño García, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” – ESPAM, Ecuador

EQUIPO TÉCNICO

Diseñadora

Lcda. Betsabe Pari Quiñones

Diagramadora

Lcda. Alba Gil

Traductores

- Lcda. Ivana Camejo, (portugués)
- Dr. Emilio Arévalo, (inglés)

POLÍTICA

Enfoque y Alcance

Misión

La Revista de Investigación Ciencias Agronómicas y Veterinarias “**ALFA**”, tiene como propósito lograr la difusión y divulgación de los avances y resultados de las investigaciones científicas y humanísticas del hecho Agronómico, con un enfoque transdisciplinario y dentro de un contexto nacional e internacional.

Alcance

La Revista **ALFA** es un nuevo medio de divulgación científica, humanística, especializada en el área de Ciencias Agrícolas y Veterinarias, creada por el Centro de Estudios Transdisciplinario Bolivia, bajo la orientación o modalidad de acceso abierto. Esta revista persigue posicionarse en los principales portales de indización, a través de las investigaciones científicas de calidad que se publicaran en ella. Posee además, un alcance internacional, y se mantiene abierta a todos los docentes e investigadores.

La revista **ALFA** es una publicación periódica de aparición cuatrimestral, en español, arbitrada bajo el sistema por pares a doble ciego; es una revista de acceso abierto. Sus investigaciones están destinadas a dar aportes a la comunidad científica para mejorar la calidad de los procesos de la producción y la transformación de productos agrícolas y alimentarios para el consumo humano y animal.

La revista está dirigida a investigadores, docentes, estudiantes y comunidad en general involucrados en los temas de acontecer agronómicos y las diversas ciencias que generan avances científicos sobre estudios de suelo. Los artículos recibidos por **ALFA** serán revisados, arbitrados y aceptados, según resultados arrojados por la evaluación para su posterior edición y publicación.

El proceso de edición **ALFA**, se encuentra sometido bajo las normas y los estándares de control de calidad, garantizando la originalidad, pertinencia y actualidad de los artículos aceptados y publicados a través del establecimiento de principios de ética y políticas de detención de plagio.

Políticas de sección

Presentación. Está relacionada con la introducción a las temáticas de los manuscritos que se serán publicados en el número correspondiente, en ella, se sustenta la información contentiva de la publicación para acercar, y en la medida de las posibilidades conectar al lector con los temas que se encontraran en el número sobre las disciplinas científicas, mediante la divulgación y el debate de los diversos temas que se abordaran en **ALFA**.

Investigación. Bajo este rubro, los trabajos deberán contemplar criterios como el diseño pertinente de la investigación, la congruencia teórica y metodológica, el rigor en el manejo de la información y los métodos,

la veracidad de los hallazgos o de los resultados, la discusión de resultados, conclusiones, limitaciones del estudio y, en su caso, prospectiva. La extensión de los textos deberá ser de 15 cuartillas mínimo y 25 máximo, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas deberán ir numeradas y estar escritas a espacio y medio.

Artículos de revisión. El artículo de revisión se trata de un estudio detallado, selectivo y crítico que integra la información esencial en una perspectiva unitaria y de conjunto. Es un tipo de artículo científico que sin ser original recopila la información más relevante de un tema específico. Su finalidad es examinar la bibliografía publicada y situarla en cierta perspectiva. Debe describir la metodología que se empleará para el análisis o sistematización de la información, criterios de inclusión y exclusión, entre otras. Este artículo no debe exceder de 6000 palabras, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas deberán ir numeradas y estar escritas a espacio y medio.

Intervenciones educativas. Deberán contar con un sustento teórico-metodológico encaminado a mostrar innovaciones dentro del campo científico. La extensión de estos trabajos es de 15 cuartillas mínimo y 25 máximo, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas irán numeradas y se escribirán a espacio y medio.

Intervenciones Académicas. Deberán contar con un sustento teórico-metodológico encaminado a mostrar innovaciones dentro del campo científico. La extensión de estos trabajos es de 15 cuartillas mínimo y 25 máximo, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas irán numeradas y se escribirán a espacio y medio.

Reseñas de libros. Deberán aproximarse de manera crítica a las ideas, argumentos y temáticas de libros especializados. Su extensión no deberá exceder las tres mil palabras, calculadas con el contador de Word, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas irán numeradas, con interlínea de espacio y medio.

Reseña de revistas. Se referirán revistas nacionales o internacionales cuya temática sea de interés para la comunidad científica. Deben estructurarse con: Título, resumen en inglés y español, descripción del área temática, tipo de artículo y periodicidad, editorial, Institución, país, localización. Máximo 2 páginas.

Reseña de tesis y trabajos de grado. Se referirán trabajos de investigadores de las universidades. Deben estructurarse con: Título, autor (es), resumen del trabajo de investigación en español inglés (abstract) con las palabras claves, tipo de tesis (Doctoral, Maestría), tutor, departamento, universidad, fecha de aprobación. Máximo 2 páginas.

Reseña de páginas web, blogs y otros documentos electrónicos. Se referirán a trabajos o referencias de trabajos publicados en Internet que sean de interés para el campo académico e investigativo. Deben estructurarse en: título, autor (es) de la revisión, breve información sobre el contenido, especificación de dirección(es) electrónicas y los aportes que justifican dicha referencia. Máximo 4 páginas.

Eventos. Minuta de los profesionales e investigadores que asistan a eventos nacionales o internacionales que divulgarán o participarán las ponencias, conferencias, foros, simposios entre otras actividades que se hayan sido presentadas o por presentar en un evento. El archivo debe ir estructurado de la siguiente manera: objetivos, resultados, conclusiones y propuestas generados en los mismos. Deben señalar datos

de identificación: nombre del evento, lugar, fecha y objetivos. También forman parte de esta sección, la promoción y difusión de Jornadas, Congresos, Reuniones y Conferencias nacionales e internacionales de interés para los lectores. Máximo tres cuartillas.

Proceso de evaluación por pares

El tiempo estimado desde la aceptación del trabajo por los evaluadores hasta la publicación se estima de tres (3) meses, se realiza una revisión por pares a doble ciego. La Revista **ALFA** del CET, se reserva el derecho de sugerir modificaciones formales a los artículos que sean aceptados para su publicación. Todos los textos enviados deben regirse por las normas internas de la revista para la presentación de artículos.

- Este sistema de control de calidad se desarrolla durante todo el proceso editorial de la revista en formato digital, de la siguiente manera:
 - Inicia con el proceso de recepción de las propuestas de artículos que realiza el (los) autor (es). Seguidamente, el artículo es evaluado de forma rigurosa por el Comité Editorial previendo que posea los parámetros de estructura claridad de los objetivos, coherencia de las ideas, pertinencia de la metodología, solidez de los resultados y discusión, conclusiones y referencias, en función de garantizar la pertinencia, originalidad del aportes, rigurosidad científica y la ética en el proceso editorial, reservándose el comité el derecho de remitir a expertos en la temática planteada.
 - Posteriormente, se asignarán dos pares externos a la institución editora, nacionales o internacionales, como evaluadores del artículo bajo la modalidad del sistema por pares a doble ciego, y en caso de presentarse desacuerdo en los conceptos, se asignará un tercer par evaluador para dirimir los desacuerdos; son ellos quienes realizarán observaciones y emitirán una dictamen en términos de: (a) Aceptado para publicación, (b) Pendiente de publicación, o (c) No se acepta para publicación.
- Finalmente, el artículo es publicado en el número correspondiente al que se encuentre estructurado en función de temas actuales y pertinentes. Es por ello, que la propuesta de artículos es ingresada a nuestro sistema respondiendo a los parámetros establecidos por el Comité Editorial.

En el proceso de arbitraje se tienen en cuenta los siguientes criterios:

1. Cumplimiento de las normas internas de la revista.
2. Pertinencia de la temática con el área de cobertura de lo publicado en la Revista **ALFA**.
3. Aporte de nuevos conocimientos teóricos y prácticos sobre la temática trabajada.
4. Rigurosidad y objetividad con la temática abordada.
5. Uso adecuado, claro y coherente del idioma escrito.
6. Actualización y vigencia del respaldo referencial informado (cinco últimos años).

Normas de entrega

El autor deberá descargar del sitio web de la revista, llenar y adjuntar a su contribución el formato único que integra la siguiente información:

- Solicitud de evaluación del artículo. La declaración de autoría individual o colectiva (en caso de trabajos realizados por más de un autor); cada autor o coautor debe certificar que ha contribuido directamente a la elaboración intelectual del trabajo y que lo aprueba para ser evaluado por pares a doble ciego y, en su caso, publicado. Declaración de que el original que se entrega es inédito y no está en proceso de evaluación en ninguna otra publicación. Datos: nombre, grado académico, institución donde labora, domicilio, teléfono, correo electrónico.
- Currículo resumido del autor que no exceda de 5 líneas, en hoja aparte.
- El trabajo y los documentos solicitados arriba se enviarán a la dirección electrónica: editor@revistaalfa.org
- Los trabajos deberán presentarse en tamaño carta, con la fuente Arial de 12 puntos, a una columna, y en mayúsculas y minúsculas.
- El título deberá ser en trilingüe (español, inglés y portugués) y no podrá exceder las 15 palabras.
- Toda contribución deberá ir acompañada de un resumen en español que no exceda de 150 palabras, con cinco a seis palabras clave que estén incluidas en el vocabulario controlado encontrados en los principales diccionarios de palabras clave especializado del área de agronomía y veterinaria, más la traducción de dicho resumen al inglés (abstract) con sus correspondientes palabras clave o key words y Portugués Resumo (obsérvese la manera correcta de escribir este término).
- Las palabras clave se presentarán en orden alfabético. Todos los trabajos deberán tener conclusiones.
- Los elementos gráficos (cuadros, gráficas, esquemas, dibujos, fotografías) irán numerados en orden de aparición y en el lugar idóneo del cuerpo del texto con sus respectivas fuentes al pie y sus programas originales. Es decir, no deberán insertarse en el texto con el formato de imagen.
- Las fotografías deberán tener mínimo 300 dpi de resolución y 140 mm de ancho.
- Se evitarán las notas al pie, a menos de que sean absolutamente indispensables para aclarar algo que no pueda insertarse en el cuerpo del texto. La referencia de toda cita textual, idea o paráfrasis se añadirá al final de la misma, entre paréntesis.
- La lista de referencias bibliográficas también deberá estructurarse según las normas Vancouver.
- Todo artículo de revista digital deberá llevar el DOI correspondiente, y a los textos tomados de páginas web modificables se les añadirá la fecha de recuperación. A continuación se ofrecen algunos ejemplos.

Libro

Baños Díez JE, Farré Albaladejo M. Principios de farmacología clínica. Barcelona: Masson: 2002.

Capítulo de libro

Espigares García M, Fernández-Crehuet Navajas M, Moreno Abril O. Factores ambientales determinantes de la salud. En: Sierra López A, Et al, editores. Medicina preventiva y salud pública. 11ª ed. Barcelona: Elsevier España; 2008. p.311-9.

Artículo de revista

Díaz E, Martín-Loeches I, Vallés J. Neumonía nosocomial. Enferm infecc Microbiol Clin. 2013;31(10):692-8.

Artículo de revista digital

Ruano Pérez R, Gómez-Caminero López F, Diego Domínguez M, Martín De Arriba A, Martín Luengo C, Cargía-Talavera Fernández JR. Incidencia y valor pronóstico de la existencia de cardiopatía isquémica en pacientes diabéticos asintomáticos de alto riesgo cardiovascular sometidos a un estudio gated-SPECT de perfusion miocárdica. Rev Esp Med Nucl Imagen Mol [Internet]. 2012 [citado 15 sep 2017];21(2):83-8. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0212698211001625>

Fuentes electrónicas

Biblioteca de la Universidad de Málaga [Internet]. Málaga: Biblioteca de la Universidad de Málaga; c1997-2017 [citado 2 oct 2017]. Ética de la publicación científica; [aprox. 4 p.]. Disponible en: <https://www.uma.es/ficha.php?id=135494>

Política de acceso abierto

La Revista de Investigación Ciencias Agronómicas y Veterinarias, **ALFA**, en su misión de divulgar la investigación y apoyar el conocimiento y discusión en los campos de interés proporcionan acceso libre, inmediato e irrestricto a su contenido de manera libre mediante la distribución de ejemplares digitales. Los investigadores pueden leer, descargar, guardar, copiar y distribuir, imprimir, usar, buscar o referenciar el texto completo o parcial de los artículos o de la totalidad de la Revista, promoviendo el intercambio del conocimiento global.

La Revista de Investigación Ciencias Agronómicas y Veterinarias, **ALFA**, se acoge a una licencia Creative Commons (CC) de Atribución – No comercial – Compartir igual, 4.0 Internacional: “El material creado puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original”.

Para más información: <http://co.creativecommons.org/tipos-de-licencias/> Las licencias CC se basan en el principio de la libertad creativa con fines académicos, científicos, culturales. Las licencias CC complementan el derecho de autor sin oponerse a este.

Derechos de autor

Al enviar los artículos para su evaluación, los autores aceptan que transfieren los derechos de publicación a la Revista de Investigación Ciencias Agronómicas y Veterinarias, **ALFA**, para su publicación en cualquier medio. Con el fin de aumentar su visibilidad, los documentos se envían a bases de datos y sistemas de indización, así mismo pueden ser consultados en la página web de la Revista: [Http://revistaalfa.org](http://revistaalfa.org) Por último, la Revista se acoge en todo lo que concierne a los derechos de autor, al reglamento de propiedad intelectual del Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, el cual se encuentra en la siguiente dirección: <https://www.cetbolivia.org>

Principios éticos y buenas prácticas

Los artículos publicados en la Revista de Investigación Ciencias Agronómicas y Veterinarias, **ALFA**, son sometidos al cumplimiento de los principios éticos contenidos en las diferentes declaraciones y legislaciones sobre propiedad intelectual y derechos de autor específicos del país donde se realizaron el estudio. Por tal motivo los investigadores o autores de los artículos aceptados para publicar y que presentan resultados de investigaciones, deben descargar y firmar la declaración de originalidad, de cesión de derechos y de cumplimiento total de los principios éticos y las legislaciones específicas.

Antiplagio

Todos los artículos sometidos a revisión en la Revista **ALFA** son inspeccionados por una disciplinada política antiplagio que vela por la originalidad de los artículos. Para ello se utilizan distintos servicios especiales que analizan los textos en busca de coincidencias gramaticales y ortotipográficas, lo que garantiza que los trabajos sean inéditos y que cumplan con los estándares de calidad editorial que avalen producción científica propia.

Revista **ALFA** como publicación que busca excelencia a nivel internacional, se inspira en el código ético del Comité de Ética de Publicaciones, <https://publicationethics.org/> adherir el hipervínculo, dirigido a editores, revisores y autores. A su vez, se basa en la Guía de mejores prácticas para editores de revistas científicas (<https://publicationethics.org/guidance/Guidelines>) y paquete de recursos para la ética en la publicación (PERK) <https://www.elsevier.com/editors/perk>

RESPONSABILIDADES DE LOS AUTORES

Los autores de los artículos enviados a **ALFA** certifican que el trabajo es original e inédito, que no contiene partes de otros autores ni de trabajos ya publicados por los autores. Además, confirman la autenticidad de los datos y que no han sido alterados.

El autor no debe publicar artículos en los que se repitan los mismos resultados en más de una revista científica u otra publicación académica o de otro carácter. La propuesta simultánea a múltiples revistas científicas de un mismo trabajo es considerada éticamente incorrecta y reprobable.

El autor debe suministrar siempre la correcta indicación de las fuentes y aportes a los que se hace mención en el artículo.

Los autores garantizan la inclusión de las personas que han contribuido de manera científica e intelectual en la conceptualización y la planificación del trabajo como en la interpretación de los resultados y en la redacción del mismo. Al mismo tiempo se jerarquiza el orden de aparición de los autores de acuerdo a su nivel de responsabilidad e implicación.

En caso de que el Consejo Editorial lo considere apropiado, los autores de los artículos deben poner a disposición también las fuentes o datos en los que se basa la investigación, que puede conservarse durante un período razonable de tiempo después de la publicación y posiblemente hacerse accesible.

Todos los autores están obligados a declarar explícitamente que no hay conflictos de intereses que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas. Los autores también deben indicar cualquier financiación de agencias y/o de proyectos de los que surge el artículo de la investigación.

Cuando un autor identifica un error en su artículo, deberá inmediatamente informar a los editores de la revista y proporcionar toda la información necesaria para realizar las correcciones pertinentes. - La responsabilidad del contenido de los artículos publicados en la Revista **ALFA** es exclusiva de los autores.

COMPROMISOS DE LOS REVISORES

La revisión por pares es un procedimiento que ayuda a los editores para tomar decisiones sobre los artículos propuestos y también permite al autor mejorar la calidad de los artículos enviados para su publicación. Los revisores asumen el compromiso de realizar una revisión crítica, honesta, constructiva y sin sesgo, tanto de la calidad científica como de la calidad literaria del escrito en el campo de sus conocimientos y habilidades.

- El revisor que no se sienta competente en la temática a revisar o que no pueda terminar la evaluación en el tiempo programado, deberá notificar de inmediato a los editores. Los revisores se comprometen a evaluar los trabajos en el menor tiempo posible para respetar los plazos de entrega, dado que en **ALFA** Los límites de custodia de los manuscritos en espera son limitados e inflexibles por respeto a los autores y sus trabajos.
- Cada manuscrito asignado debe ser considerado como confidencial. Por lo tanto, estos textos no se deben discutir con otras personas sin el consentimiento expreso de los editores. Impugnables.
- La revisión por pares debe realizarse de manera objetiva. Los revisores están obligados a dar razones suficientes para cada una de sus valoraciones, utilizando siempre la plantilla de revisión. Los revisores

entregarán un informe crítico completo con referencias adecuadas según protocolo de revisiones de **ALFA** y las normativas públicas para los revisores; especialmente si se propone que el trabajo sea rechazado. Están obligados a

- advertir a los editores si partes sustanciales del trabajo ya han sido publicadas o están bajo revisión para otra publicación.
- Los revisores se comprometen a indicar con precisión las referencias bibliográficas de obras fundamentales posiblemente olvidadas por el autor. El revisor también debe informar a los editores de cualquier similitud o solapamientos del manuscrito con otros trabajos publicados.
- Para garantizar que el proceso de revisión sea lo más objetivo, imparcial y transparente posible, la identidad de los autores se suprime antes de ser enviados los trabajos a revisión por pares. Si se da el caso de que por alguna razón se ha visto comprometida la identidad de los autores, sus filiaciones institucionales o algún otro dato que ponga en riesgo la anonimidad del documento, el revisor debe notificar de inmediato a los editores.

Visibilidad

- Financiada por el Centro de Estudios Transdisciplinario de Bolivia (CET-Bolivia)
- Publicada bajo la licencia Creative Commons

Autoarchivo

Una vez se disponga del documento en pdf editado, el autoarchivo se deposita en los sistemas de información:

- Open Journal System (OJS).
- Repositorio del Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia

Lista de comprobación para la preparación de envíos

- Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.
- Se debe adjuntar una carta de presentación del artículo dirigida al editor de la Revista de Investigación Ciencias Agronómicas y Veterinarias **ALFA**, firmada por todos los autores del mismo, en la cual se indique que el documento es original, que no ha sido publicado y que no se ha presentado simultáneamente a otra revista para su publicación.
- El archivo de envío está en formato Open Office, Microsoft Word, WordPerfect.

- Siempre que sea posible, se proporcionan direcciones URL para las referencias.
- El texto tiene interlineado doble; 12 puntos de tamaño de fuente; se utiliza cursiva en lugar de subrayado (excepto en las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas se encuentran colocadas en los lugares del texto apropiados (no al final).
- El texto se adhiere a los requisitos estilísticos y referenciales resumidos en las Directrices del autor, que aparecen en el enlace “Acerca de la revista”.
- Se debe adjuntar, en un documento diferente, una página de presentación con los nombres de los autores, su filiación académica y los datos del autor de contacto.
- Se debe registrar en el sistema OJS todos los metadatos de cada uno de los autores del artículo (nombres completos, código ORCID, datos de contacto, formación académica, índice H, entre otros).

Aviso de derechos de autor/a

Al enviar los artículos para su evaluación, los autores aceptan que transfieren los derechos de publicación a la Revista de Investigación Ciencias Agronómicas y Veterinarias, **ALFA**, para su publicación en cualquier medio. Con el fin de aumentar su visibilidad, los documentos se envían a bases de datos y sistemas de indización, así mismo pueden ser consultados en la página web de la Revista: <http://revistaalfa.org> Por último, la Revista se acoge en todo lo que concierne a los derechos de autor, al reglamento de propiedad intelectual del Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, el cual se encuentra en la siguiente dirección: <https://www.cetbolivia.org>

Declaración de privacidad

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines. Además la Revista **ALFA** no se hace responsable por las opiniones de juicios emitidos por los autores y resultados de sus investigaciones.

Contenido

PRESENTACIÓN

20

INVESTIGACIONES

Caracterización y mapeo del ruido ambiental en el casco urbano de Pe-bas, Loreto, Perú.

Characterization and Mapping of Environmental Noise in the Urban Center of Pebas, Loreto, Peru.

Caracterização e Mapeamento do Ruído Ambiental no Centro Urbano de Pebas, Loreto, Peru.

Luis Antonio Flores Flores; Arturo Seclén Medina; Kosseth Marianella Bardales Grández; Miguel Ángel Flores Flores, y Maria Enith Alva Chirinos

22

Capacidad antioxidante y contenido fenólico total del extracto acuoso del tallo de matico (*buddleja globosa*).

Antioxidant capacity and total phenolic content of aqueous extract from matico (*buddleja globosa*) stem.

Capacidade antioxidante e teor fenólico total do extrato aquoso do caule de matico (buddleja globosa).

Pedro Zamorano-Aguilar; Astrid Seperiza Wittwer; Rubén Bustos Cerda, y Benjamín Rojano

38

Biocida macerado de tabaco nicotina tabacum, control de pulguilla *epitrix* spp. en cultivo de papa.

Biocide macerate of tobacco nicotine tabacum, control of flea *epitrix* spp. in potato crop.

Biocida de macerado de tabaco nicotina tabacum, controlo da traça da pulga epitrix spp. na cultura da batata.

Flor Yenny Tucto Ortega; Favio Máximo Mena Osorio; Tito Marcial Arias Arzapalo; Iris Sánchez Baldeón, y Gabriela Rosenda Miranda AnticonaRojano

50

Contenido

Efecto de la hora de colecta e índice temperatura-humedad sobre las características seminales porcinas.

Effect of collection time and temperature-humidity index on porcine semen characteristics.

Efeito do tempo de coleta e do índice de temperatura e umidade nas.

Adrian Israel Vergara-Moncayo; Jexon Stalin Centeno-Mendoza; Carlos Octavio Larrea-Izurieta, y Marco Antonio Alcívar-Martínez

59

Diversidad e inventario de orquídeas de los bosques de neblina: Carpish y La Divisoria, Perú.

Diversity and inventory of orchids from cloud forests: Carpish and La Divisoria, Peru.

Diversidade e inventário de orquídeas de floresta nublada: Carpish e La Divisoria, Perú.

Fernando Pérez Tarazona; José Kalión Guerra Lu, y Leiwer Flores Flores

76

Efecto del manitol y sorbitol en la conservación in vitro de *Solanum tuberosum* L.

Effect of mannitol and sorbitol on the in vitro conservation of *Solanum tuberosum* L.

Efeito do manitol e sorbitol na conservação in vitro de Solanum tuberosum L.

Jorge Manuel Montalvo Otivo; Candelaria Flores Miranda; Juan Luis Mancilla Condor; Leonor Neda Carbajal Cuadros, y Rodolfo Leon Gomez

90

Contenido

Caracterización del aceite esencial de semillas de *Schinus molle* L. para aplicaciones agroindustriales.

Characterization of the essential oil of *Schinus molle* L. seeds for agroindustrial applications.

Caracterização do óleo essencial de sementes de Schinus molle L. para aplicações agroindustriais.

Leyla Sofia Curasma Castellanos; Franklin Oré Areche; Jovencio Ticsihua Huaman; Elisa Raquel Atao Surichaqui, y Rafael Julian Malpartida Yapias

105

Gestión y manejo de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el distrito de Rupa, Leoncio Prado, Huánuco – Perú 2023.

Management and handling of household organic solid waste in the district of Rupa Rupa, Leoncio Prado, Huánuco – Peru 2023.

Gestão e manejo dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares no distrito de Rupa Rupa, Leoncio Prado, Huánuco – Peru 2023.

Krystell Fiorela Marlix Cristancho Ariza y José Kalión Guerra Lu

120

Factores determinantes de la Huella Ecológica en el Perú, periodo 2011-2021.

Determining factors of the Ecological Footprint in Perú, period 2011-2021.

Factores determinantes da Pegada Ecológica no Perú, período 2011-2021.

Julio Cesar Quispe Mamani; Marcial Guevara Mamani; Lucas Ponce Quispe; Manuel Timoteo Enriquez Tavera; German Roberto Quispe Zapana, y Héctor Efraín Flores Ortega

134

Contenido

Carbón activado de la cáscara de plátano en la adsorción de metales pesados.

Activated carbon from banana peel in the adsorption of heavy metals.

Carvão ativado da casca de banana na adsorção de metais pesados.

**Marcos Alejandro Robles Lora; Julio Vilchez Moscol; Jean Carlos Ecurra Lagos,
y Natalia del Pilar Diaz Diaz**

153

Evaluación sanitaria de playas mediante el uso de Drones y el índice de calidad en el litoral costero, Pisco, Ica.

Beach health assessment using drones and the coastal quality index, Pisco, Ica.

Avaliação da saúde das praias através do uso de Drones e do índice de qualidade na costa costeira, Pisco, Ica.

**Isis Cristel Córdova Barrios; Pedro Córdova Mendoza; Teresa Oriele Barrios
Mendoza; Patricia Del Rosario Hernández Maytahuari, y Antonio Wilmer Paitan
Cahua**

164

Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos.

Anaerobic biodigester for the production of biogas and biofertilizer from pig waste.

Biodigestor anaeróbio para produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos suínos.

**Isis Cristel Córdova Barrios; Pedro Córdova Mendoza; Teresa Oriele Barrios
Mendoza; Patricia Del Rosario Hernández Maytahuari, y Antonio Wilmer Paitan
Cahua**

177

Contenido

ARTICULOS DE REVISIÓN

Prevalencia de micotoxinas en alimento comercial para pollos Broiler.

Prevalence of mycotoxins in commercial feed for broiler chickens.

Prevalência de micotoxinas em rações comerciais para frangos de corte.

Carlos Emilio Ballén Guerrero; Jonathan Daniel Oña Loor, y César Aníbal Robalino Briones

191

Tendencias emergentes en el aprendizaje de la botánica: Revisión sistemática.

Emerging trends in botany learning: A systematic review.

Tendências emergentes na aprendizagem de botânica: revisão sistemática.

Julio Cesar Matos Lizana; Nancy Ñañez Javier; Roxana Milagros Flores Cisneros, y Janett Margarita Flores Reyes

208

Parámetros de bienestar animal en ganadería bovina de leche en Iberoamérica: Revisión sistemática.

Animal welfare parameters in dairy cattle farming in Latin America: Systematic review.

Parâmetros de bem-estar animal na pecuária leiteira na América Latina: revisão sistemática.

Elizabeth Janeth Zurita Núñez y Marco Antonio Rosero Peñaherrera

222

ARTICULOS ORIGINALES

Contaminación ambiental y gestión de residuos sólidos en la ciudad minera de Cerro de Pasco.

Environmental pollution and solid waste management in the mining town of Cerro de Pasco.

Poluição ambiental e gestão de resíduos sólidos na cidade mineira de Cerro de Pasco.

Leonidas Félix Villaorduña Caldas; Hitlser Juan Castillo Paredes; Hans Nicolás Huamán López, y Jhan Carlos Jimenez Inza

239

Macroinvertebrados bentónicos y la calidad de agua de afluente del río Aguaytía en la selva baja de Perú.

Benthic macroinvertebrates and water quality of a tributary of the Aguaytía river in the lowland rainforest of Peru.

Macroinvertebrados bentônicos e a qualidade da água de um afluente do rio Aguaytía na selva de várzea do Peru.

Greysy Minchola Soto; Manuel Ñique Álvarez, y José Gil Bacilio

255

Riqueza Oculta en el Bosque de Neblina de Unchog, Perú: Diversidad de Flora, Fauna y Belleza Paisajística.

Hidden Wealth in the Unchog Cloud Forest, Peru: Diversity of Flora, Fauna and Landscape Beauty.

Riqueza escondida na floresta nublada de Unchog, Peru: diversidade de flora, fauna e beleza cénica.

Hector Aguirre Espinoza; Santos Jacobo Salinas; Manuel Vega Ronquillo; Agustina Valverde Rodríguez, y Manuel Jorge Castillo Nole

269

Contenido

Comportamiento de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin en cultivo de cacao (*Theobromacacao* L.) en Sivia-Huanta.

BEHAVIOR OF *Carmenta foraseminis* (Busck) eichlin in cocoa crop (*Theobroma cacao* L.) in Sivia-Huanta.

Comportamento de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin na cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.) na Sivia-Huanta.

Rayda Sánchez Gala; Benito Filemón Buendía Quispe; Joel Bustillos Bonilla; Josué Zevallos García, y Guillermo Gomer Cotrina Cabello

288

Contaminación Agrícola por producto Fitosanitario en los cultivos en Cañete, Perú.

Agricultural contamination by Phytosanitary product in crops in Cañete, Peru.

Contaminação agrícola por produto fitossanitário em plantações em Cañete, Peru.

Juan Saldivar Villarroel y Raymunda Verónica Cruz Martinez

294

En el mundo actual, los desafíos medioambientales, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los recursos naturales se presentan como pilares fundamentales para el progreso de la agronomía y las ciencias veterinarias. Los estudios que hemos tenido el honor de publicar en este volumen 9, número 25 del período enero-abril del 2025 de la revista ALFA, destacan la relevancia de integrar la ciencia aplicada con las necesidades locales, promoviendo soluciones innovadoras que responden a problemáticas reales y urgentes.

El primer artículo, titulado “Caracterización y mapeo del ruido ambiental en el casco urbano de Pebas, Loreto, Perú”, aborda un tema que, aunque a menudo es ignorado, tiene un impacto significativo en la salud pública y en el bienestar de los ecosistemas. El ruido ambiental, producto de la creciente urbanización y la expansión de actividades humanas, no solo afecta a los seres humanos, sino también a la fauna y flora local. Este estudio de Pebas nos invita a reflexionar sobre cómo el desarrollo urbano debe ir de la mano con un enfoque que considere la calidad de vida, tanto humana como animal.

A continuación, “Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos, Ecuador” presenta una solución de doble impacto: la gestión eficiente de residuos orgánicos y la generación de energía renovable. Este trabajo no solo aborda la problemática de los residuos animales en la industria porcina, sino que también ofrece una alternativa sustentable para la producción de biogás y biofertilizantes, contribuyendo al desarrollo de una economía circular que favorezca tanto a los productores como al medio ambiente.

En el ámbito de la seguridad alimentaria, el artículo “Prevalencia de micotoxinas en alimento comercial para pollos Broiler, Ecuador” expone los riesgos que conlleva la presencia de estas sustancias en los alimentos destinados a la ganadería. La investigación alerta sobre la importancia de monitorear y controlar la calidad de los alimentos que se consumen en la industria avícola, con el fin de proteger la salud de los animales y, por ende, la de los consumidores finales.

Por último, el artículo “Contaminación Agrícola por producto Fitosanitario en los cultivos en Cañete, Perú” nos recuerda que la utilización irresponsable de productos fitosanitarios puede tener consecuencias devastadoras para el suelo, los cuerpos de agua y la biodiversidad. Este estudio es un llamado urgente a la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles y el desarrollo de políticas públicas que fomenten el uso adecuado de estos productos.

En conjunto, todos los artículos publicados en el número nos ofrecen una visión amplia y multidisciplinaria de los retos que enfrentan la agronomía y las ciencias veterinarias en América Latina. Nos invitan a pensar en soluciones integrales que favorezcan el equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación del entorno natural. Desde la gestión de residuos hasta el control de la contaminación y la seguridad alimentaria, cada uno de estos estudios aporta un paso más hacia un futuro más sostenible y responsable.

Es nuestra responsabilidad, como comunidad científica y técnica, seguir impulsando este tipo de investigaciones que no solo enriquecen nuestro conocimiento, sino que también aportan a la creación de políticas y prácticas que promuevan el bienestar de todos los seres vivos que comparten este planeta.

Invitamos a nuestros lectores a seguir reflexionando sobre los temas tratados en este número, y a contribuir con sus ideas y esfuerzos hacia un mundo más justo, saludable y sostenible.



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.328>


Msc. Alcides Wilfredo Carpio
Editor de la *Revista de Investigación en*
Ciencias Agronómicas y Veterinarias
ALFA





Caracterización y mapeo del ruido ambiental en el casco urbano de Pebas, Loreto, Perú

Characterization and Mapping of Environmental Noise in the Urban Center of Pebas, Loreto, Peru

Caracterização e Mapeamento do Ruído Ambiental no Centro Urbano de Pebas, Loreto, Peru

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.329>

Luis Antonio Flores Flores

luis.flores@unapikitos.edu.pe

Kosseth Marianella Bardales Grández

kosseth.bardales@unapikitos.edu.pe

Arturo Seclén Medina

arturo.seclen@unapikitos.edu.pe

Miguel Ángel Flores Flores

20220416@lamolina.edu.pe

Maria Enith Alva Chirinos

enithalvita@gmail.com

Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú

Artículo recibido: 7 de octubre 2024 / Arbitrado: 22 de noviembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

La contaminación acústica es un tema de creciente interés en la comunidad científica debido a sus efectos adversos en la salud humana. Se define como cualquier señal sonora no deseada que resulta molesta y cuya exposición prolongada puede afectar el bienestar de las personas, convirtiéndose en un contaminante ambiental. Este estudio se centró como objetivo caracterizar los niveles de ruido y elaborar un mapa del ruido ambiental en el distrito de Pebas, Perú. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, longitudinal y descriptivo, utilizando modelamiento por muestreo para evaluar la contaminación acústica en diferentes áreas urbanas. Los resultados mostraron diferencias significativas en los niveles de ruido: la Zona de Protección Especial registró un promedio de 58.28 dB, mientras que la Zona Residencial tuvo 54.58 dB, y la Zona Comercial alcanzó el nivel más alto con 66.67 dB. Estos niveles superan los límites recomendados por normativas ambientales, lo que plantea preocupaciones serias sobre la salud pública, siendo el tráfico vehicular la principal fuente de ruido identificado.

Palabras clave: Contaminación acústica; Niveles de ruido; Mapa del ruido; Salud pública; Tráfico vehicular

ABSTRACT

Noise pollution is a topic of growing interest in the scientific community due to its adverse effects on human health. It is defined as any unwanted sound signal that is bothersome and whose prolonged exposure can affect people's well-being, thus becoming an environmental pollutant. This study aimed to characterize noise levels and create a noise map of the urban district of Pebas, Peru. The research adopted a quantitative, longitudinal, and descriptive approach, using sampling modeling to assess acoustic pollution in different urban areas. The results showed significant differences in noise levels: the Special Protection Zone recorded an average of 58.28 dB, while the Residential Zone had 54.58 dB, and the Commercial Zone reached the highest level at 66.67 dB. These levels exceed the limits recommended by environmental regulations, raising serious concerns about public health, with vehicular traffic identified as the main source of noise.

Key words: Noise pollution; Noise levels; Noise map; Public health; Vehicular traffic

RESUMO

A poluição sonora é um tema de crescente interesse na comunidade científica devido aos seus efeitos adversos na saúde humana. É definida como qualquer sinal sonoro indesejado que é incômodo e cuja exposição prolongada pode afetar o bem-estar das pessoas, tornando-se assim um poluente ambiental. Este estudo teve como objetivo caracterizar os níveis de ruído e elaborar um mapa do ruído ambiental no distrito de Pebas, Peru. A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa, longitudinal e descritiva, utilizando modelagem por amostragem para avaliar a poluição acústica em diferentes áreas urbanas. Os resultados mostraram diferenças significativas nos níveis de ruído: a Zona de Proteção Especial registrou uma média de 58,28 dB, enquanto a Zona Residencial teve 54,58 dB e a Zona Comercial alcançou o nível mais alto com 66,67 dB. Esses níveis superaram os limites recomendados pelas normas ambientais, levantando sérias preocupações sobre a saúde pública, sendo o tráfego de veículos identificado como a principal fonte de ruído.

Palavras-chave: Níveis de ruído; Mapa do ruído; Saúde pública; Tráfego de veículos; Poluição sonora

INTRODUCCIÓN

Se denomina ruido a toda señal sonora no deseada, o cualquier sonido que oímos y que resulta molesto, cuya exposición prolongada afecta la salud de las personas, por lo que es considerado un contaminante atmosférico. Sus principales fuentes son: fuentes de ruido estáticas como: industrias, bares, comercios, actividades de construcción, entre otros y fuentes de ruido móviles como: transporte terrestre, aéreo, aeronáutico y ferroviario (1).

La exposición prolongada del ruido, está relacionada con enfermedades como: la hipertensión, cardiocirculatorias, trastornos del sueño (2,3), resultados desfavorables en el parto (4), en la comprensión, razonamiento y salud mental (5). También se relaciona con la diabetes (3). Además, el ruido es un contaminante relevante que ocasiona molestias con consecuencias negativas en el bienestar físico, social, fisiológico y psicológico del hombre o de los animales (6). No obstante, en la actualidad faltan estudios que evidencien los efectos perjudiciales del ruido en la salud humana y el ambiente.

Por otra parte, el crecimiento poblacional, los avances tecnológicos, la industrialización y la urbanización ha generado un aumento del ruido ambiental en grandes ciudades, originando incremento de la contaminación acústica en zonas urbanas, siendo la principal fuente de ruido el tráfico vehicular, por lo que es necesario emplear herramientas para caracterizarlo de acuerdo al

contexto real de cada ciudad, lo que involucra la clasificación, recuento vehicular para conocer el comportamiento del tráfico en entornos urbanos (7). Asimismo, se requiere como primera medida de vigilancia un monitoreo permanente del ruido y luego el uso de nuevas tecnologías (sensores acústicos) que permitan a las autoridades municipales el control y mitigación del mismo. De tal manera que los resultados de los niveles actuales de ruido de la ciudad se representen en mapas (6,8).

Precisamente, uno de los problemas ambientales más importantes en las ciudades de Europa es la contaminación acústica, relacionada al tráfico urbano, que afecta a aproximadamente el 60% de la población. Con el propósito de tratar esta problemática, la Directiva Europea 2002/49/CE propone la creación de mapas de ruido como herramienta para estimar la distribución espacial de su exposición. De tal manera que se publiquen cada cinco años y los consiguientes planes de acción. Con el fin de automatizar el proceso de vigilancia sobre este problema, varios proyectos pretenden implantar un sistema de elaboración de mapas mediante una red inalámbrica de sensores acústicos (9,10).

De esta forma, los mapas de ruido son herramientas muy útiles para generar información sobre la visualización de la contaminación acústica en el entorno urbano (11) y eficaces para evaluar el impacto del ruido de diversas fuentes (tráfico rodado, humanas, industriales, domésticas) sobre

poblaciones humanas, son representaciones cartográficas de la distribución del nivel de ruido en un área y un periodo de tiempo determinado (12). También, permitiría entender las actividades que incrementen el nivel sonoro. Además, es una herramienta de apoyo para los políticos en la toma de decisiones respecto a la contaminación acústica, mitigación y sus efectos en la salud pública (13). Del mismo modo, las cartografías se basan en conceptos de acústica geométrica que tienen en cuenta las principales características de la propagación del ruido y las condiciones meteorológicas (14).

Para monitorear el ruido en entornos urbanos y periféricos han surgido iniciativas que hacen uso de nuevas tecnologías como: de la WASN, en el proyecto SONYC, desarrollado en Nueva York con sensores acústico de bajo costo y un módulo Raspberry SBC (15). También, el proyecto DYNAMAP, desarrollado en Italia que obtiene mapas dinámicos del ruido para determinar el nivel de ruido en las avenidas de Roma y Milán a causa del tráfico vehicular. Asimismo, el proyecto CENSE, desarrollado en Francia, realiza mapas de ruido por medio de mediciones y simulaciones, haciendo uso de 150 sensores basados en micrófonos MEMS (Micro Electromechanical Systems) vinculado a la infraestructura pública y al Internet (16).

Por otro lado, los factores que influyen en la distribución de la contaminación acústica en el mundo son: diseño de la ciudad, planificación urbana, densidad urbana, morfología urbana,

volumen del tráfico, la distribución de los vehículos, condiciones del tráfico, distribución de las calles, entorno de las calles, las áreas verdes. dimensiones del desarrollo, actividades diarias, cultura y hábitos. En este sentido, un conocimiento adecuado de estas relaciones permitiría pronosticar estudiar, controlar y prevenir la contaminación acústica (5).

Para reducir el nivel del ruido en zonas urbanas se sugiere: utilizar pantallas y/o barreras acústicas para controlar la contaminación acústica; incrementar las zonas verdes; reducir el volumen del tráfico aumentando el control del mismo impidiendo la circulación de vehículos que no cumplan con las normas exigidas; revisión con mapas de ruido de zonas críticas y monitoreos continuos de ruido (17). También se sugiere la retirada de vehículos viejos y de obstáculos de carreteras, plantación de áreas verdes en espacios libres, control periódico del ruido en carreteras, sensibilizar a la población por medio de talleres sobre contaminación acústica y difusión en medios de comunicación (18).

Por su parte, en el Perú, un factor que influye en los elevados niveles de ruido es que el parque automovilístico peruano es muy antiguo (13 años) y desfasado a la vez genera también la contaminación del aire con gases y material particulado (19).

Por consiguiente, el presente estudio, tiene como objetivo caracterizar los niveles de ruido y elaborar el mapa del ruido ambiental del casco urbano del distrito de Pebas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de corte longitudinal y de alcance descriptivo. La ejecución de la investigación tuvo lugar en el casco urbano de la ciudad de Pebas, ubicadas entre las coordenadas 181906E/9633024N al norte, al este 182763E/9632517N, al oeste 181378E/9632637N

y al sur 181910E/9632250N, zona 19 S, localizado en la provincia de Mariscal Ramón Castilla del departamento de Loreto, cuya superficie es de 11595,00 km², población censada hasta el 2017 es de 11079 habitantes entre mujeres (5310) y hombres (5769), la población urbana asciende a 3788 y la población rural en 7291, su altitud media de 101 m.s.n.m Figura 1.



Figura 1. Vista general del casco urbano de Pebas. Fuente: Google Earth Pro, version 7.3.6.9345.

Por otra parte, la elección de los días de estudio se basó en la consideración de evitar alteraciones significativas en las condiciones de movilidad y factor climático en todo el casco urbano. Se optó por los días lunes, miércoles y viernes. En cuanto a los horarios, se tuvo en cuenta la necesidad de obtener lecturas de ruido en un momento del día en cada ubicación. Se variaron los

periodos de medición entre las 7:00 a.m. y las 4:00 p.m. Se establecieron un horario de medición. Esta combinación aseguró una cobertura uniforme a lo largo del día, como se detalla en la Tabla 1. Las mediciones de ruido y los estudios de tránsito se llevaron a cabo durante una semana en el mes de agosto del 2023.

Tabla 1. Estaciones de monitorio y día ejecutado.

Estación	Este	Norte	Altitud	Día
MDP-P-01	181825	9632392	168	LUNES
MDP-P-02	181942	9632369	169	LUNES
MDP-P-03	182050	9632350	170	LUNES
MDP-P-04	182187	9632315	171	LUNES
MDP-P-05	182175	9632354	172	LUNES
MDP-P-06	182149	9632322	173	LUNES
MDP-P-07	182307	9632273	174	LUNES
MDP-P-08	182375	9632268	175	LUNES
MDP-P-09	182520	9632242	176	LUNES
MDP-P-10	182089	9632426	177	LUNES
MDP-P-11	181997	9632505	178	LUNES
MDP-P-12	181969	9632474	179	LUNES
MDP-P-13	181939	9632493	180	LUNES
MDP-P-14	181927	9632534	181	LUNES
MDP-P-15	181965	9632545	182	LUNES
MDP-P-16	182079	9632580	183	MIERCOLES
MDP-P-17	182116	9632505	184	MIERCOLES
MDP-P-18	182018	9632706	185	MIERCOLES
MDP-P-19	182092	9632731	186	MIERCOLES
MDP-P-20	182125	9632623	187	MIERCOLES
MDP-P-21	182526	9632892	188	MIERCOLES
MDP-P-22	182587	9632910	189	MIERCOLES
MDP-P-23	182756	9632948	190	MIERCOLES
MDP-P-24	182422	9632840	191	MIERCOLES
MDP-P-25	182486	9632715	192	MIERCOLES
MDP-P-26	182281	9632761	193	MIERCOLES
MDP-P-27	181386	9632474	198	MIERCOLES
MDP-P-28	181538	9632441	199	MIERCOLES
MDP-P-29	181696	9632414	200	MIERCOLES
MDP-P-30	181549	9632512	201	MIERCOLES
MDP-P-31	181699	9632560	202	VIERNES
MDP-P-32	181828	9632566	203	VIERNES
MDP-P-33	181838	9632683	204	VIERNES
MDP-P-34	181827	9632806	205	VIERNES
MDP-P-35	181765	9632836	206	VIERNES
MDP-P-36	181805	9632930	207	VIERNES
MDP-P-37	181873	9632896	208	VIERNES
MDP-P-38	181914	9632998	209	VIERNES

Estación	Este	Norte	Altitud	Día
MDP-P-39	182082	9632912	210	VIERNES
MDP-P-40	182159	9632911	211	VIERNES
MDP-P-41	181975	9632857	212	VIERNES
MDP-P-42	182186	9632773	213	VIERNES
MDP-P-43	182239	9632719	214	VIERNES
MDP-P-44	182324	9632619	215	VIERNES
MDP-P-45	181907	9632261	216	VIERNES

Con relación al muestreo, este procedimiento se comenzó con la lista de verificación del instrumento de medición y sus accesorios, luego se verificó que el equipo tenga una lectura cercana al valor de referencia (94 dB) del pistófono, de no ser así se tuvo que realizar el ajuste, para nuestro caso el valor verificado fue de 93.7 dB, siendo apropiado la diferencia entre el valor de referencia y el medido, que no debe exceder 0.5 dB. Para el control del ruido ambiental se empleó un sonómetro de clase 1 de la marca Cirrus, modelo CR-171B, con Certificado de Calibración N° M-CCP-1335-015-22 de fecha 22 de noviembre de 2022, estando aún dentro de su periodo de vigencia.

Asimismo, se midió la operatividad del equipo, determinando el rango dinámico para las mediciones se realiza de 20 dB hasta 140 dB, cuya ponderación utilizada es la "A", por ser frecuencias audibles para reflejar el oído humano, cuya ponderación de tiempo fue rápido, conocido como tiempo Fast "F", una altura entre 1.2 m a 1.5 m, por ser la altura promedio del oído de las personas en Perú, el intervalo de medición realizado fue de 10 minutos, por el periodo

de una semana, adicionalmente, se tomó en consideración un indicador los vehículos como motos lineales, motokar y motofurgones utilizados para transportar carga y pasajeros, no obstante, considerar algunas carpinterías, bares, actividades domésticas y comerciales.

Por último se empleó como procedimiento el modelamiento por muestreo, el cual consiste en estudiar la contaminación por ruido ambiental por áreas o núcleos urbanos, basados en la realización de una serie de mediciones directas en un tiempo determinado, utilizando grillas de determinados tamaños según el procedimiento de muestreo, para nuestro caso fue el método de cuadrícula, que consistió en realizar grilla de 50 m x 50 m en el área de estudio, para luego establecer los puntos de monitoreo, una vez obtenido los puntos se procedió al levantamiento de información en campo, los datos recogidos se llevó la información a un archivo excel donde se ingresó la data cruda para luego esta información ser exportada al QGIS donde se realiza diferente proceso para la impresión final del mapa con el modelamiento del ruido ambiental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se llevó a cabo el monitoreo de la calidad ambiental de ruido, para evaluar los decibeles existentes en el casco urbano del distrito de Pebas. El estudio incluyó tres etapas, la primera fue monitorear la zona comercial, el segunda una zona residencial y la tercera zona de protección especial.

Los resultados de la Tabla 2, sobre los niveles de ruido en una zona de protección especial muestran variaciones entre diferentes estaciones de medición. Las estaciones MDP-P-39 y MDP-P-16

registran los niveles máximos, alcanzando 90.8 dBA y 83.5 dBA, respectivamente, lo que indica una posible violación de los estándares de calidad acústica establecidos. Por otro lado, la estación MDP-P-25 presenta el nivel más bajo con 60.2 dBA, pero aun así supera el límite permitido. Estos datos sugieren una preocupación por la exposición al ruido en estas áreas, lo que puede afectar la salud y el bienestar de las personas que transitan o residen en ellas.

Tabla 2. Niveles de ruido para una zona de protección especial.

Estación	Este	Norte	Max	Eq	Min	Altitud
MDP-P-16	182079	9632580	83.5	64.4	48.3	183
MDP-P-18	182018	9632706	83.2	61.7	39.2	185
MDP-P-19	182092	9632731	72.1	55.7	37.5	186
MDP-P-20	182125	9632623	79.9	61.6	41.1	187
MDP-P-21	182526	9632892	76.9	59.6	40.1	188
MDP-P-22	182587	9632910	82.3	64.9	28.6	189
MDP-P-24	182422	9632840	73.0	55.6	34.5	191
MDP-P-25	182486	9632715	60.2	41.2	30.9	192
MDP-P-26	182281	9632761	80.5	62.3	40.4	193
MDP-P-32	181828	9632566	78.3	61.5	44.6	203
MDP-P-39	182082	9632912	90.8	60.3	35.9	210
MDP-P-40	182159	9632911	67.1	50.6	35.7	211

Nota: Resultados obtenido de una semana de medición.

La evaluación realizada para esta zona de protección especial en comparación de del estándar de calidad podemos observar que once de doce muestras superan el valor de 50 decibeles.

Los resultados de la Tabla 3, sobre los niveles de ruido en una zona residencial revelan variaciones notables entre las diferentes

estaciones de medición. La estación MDP-P-11 reporta el nivel máximo de 92.8 dBA, lo que supera considerablemente los límites recomendados para áreas residenciales. Otras estaciones, como MDP-P-43 y MDP-P-09, también presentan niveles elevados de 88.8 dBA y 83.4 dBA, respectivamente. En contraste, las estaciones

MDP-P-27 y MDP-P-23 muestran los niveles más bajos, con 57.3 dBA y 61.1 dBA, aunque aún por encima del umbral deseable. Estos resultados indican una preocupación por la calidad acústica en la zona, lo que podría afectar la calidad de vida de los residentes.

Tabla 3. Niveles de ruido para una zona residencial.

Estación	Este	Norte	Max	Eq	Min	Altitud
MDP-P-07	182307	9632273	73.3	56.0	38.5	174
MDP-P-08	182375	9632268	76.5	53.4	34.4	175
MDP-P-09	182520	9632242	83.4	63.3	35.3	176
MDP-P-11	181997	9632505	92.8	65.1	45.0	178
MDP-P-12	181969	9632474	79.2	60.2	45.3	179
MDP-P-13	181939	9632493	77.4	59.5	42.6	180
MDP-P-14	181927	9632534	75.6	54.2	47.4	181
MDP-P-15	181965	9632545	73.9	55.6	46.0	182
MDP-P-17	182116	9632505	68.5	47.0	34.0	184
MDP-P-23	182756	9632948	61.1	39.0	27.0	190
MDP-P-27	181386	9632474	57.3	43.8	32	198
MDP-P-28	181538	9632441	74.2	57.2	37.7	199
MDP-P-29	181696	9632414	77.2	58.5	35.7	200
MDP-P-30	181549	9632512	75.2	60.5	38.3	201
MDP-P-31	181699	9632560	61.5	44.2	34.8	202
MDP-P-33	181838	9632683	86.8	57.1	37.5	204
MDP-P-34	181827	9632806	69	53.4	45.1	205
MDP-P-35	181765	9632836	68.1	55.6	39.4	206
MDP-P-36	181805	9632930	61.9	51.1	41.4	207
MDP-P-37	181873	9632896	68.2	51	40.2	208
MDP-P-38	181914	9632998	59.8	53.4	42.7	209
MDP-P-41	181975	9632857	92.6	66.3	43.1	212
MDP-P-42	182186	9632773	66.4	48.5	36.3	213
MDP-P-43	182239	9632719	88.8	64.8	40.8	214
MDP-P-44	182324	9632619	69.4	50.6	35.2	215
MDP-P-45	181907	9632261	63.6	49.9	41.8	216

Nota: Resultados obtenidos de una semana de medición.

La evaluación realizada para esta zona residencial en comparación de del estándar de calidad podemos observar que seis de veinte seis muestras superan el valor de 60 Db.

Los resultados de la Tabla 4, sobre los niveles de ruido en una zona comercial se muestran considerablemente altos, reflejando la actividad típica de estas áreas. La estación MDP-P-02 registra el nivel máximo de 95.2 dB, lo que indica un entorno ruidoso que podría afectar la comodidad de los consumidores y trabajadores. Otras estaciones, como MDP-P-05 y MDP-P-01, también presentan niveles elevados de 93.7 dB y 82.2 dB, respectivamente. Sin embargo, las

estaciones MDP-P-10 y MDP-P-06 reportan valores más bajos, de 77.7 dB y 81.0 dB. En general, estos datos sugieren que las zonas comerciales pueden experimentar niveles de ruido que superan las

recomendaciones para ambientes saludables, lo que podría tener implicaciones para la salud auditiva y el bienestar general de las personas en estas áreas.

Tabla 4. Niveles de ruido para una zona de comercial.

Estación	Este	Norte	Max	Eq	Min	Altitud
MDP-P-01	181825	9632392	82.2	66.7	50.1	168
MDP-P-02	181942	9632369	95.2	70.2	46.3	169
MDP-P-03	182050	9632350	83.0	64.5	47.1	170
MDP-P-04	182187	9632315	83.9	65.4	41.7	171
MDP-P-05	182175	9632354	93.7	72.2	42.7	172
MDP-P-06	182149	9632322	81.0	67.8	46.0	173
MDP-P-10	182089	9632426	77.7	59.9	44.5	177

Nota: Resultados obtenido de una semana de medición.

La evaluación realizada para esta zona comercial en comparación de del estándar de calidad podemos observar que dos de siete muestras superan el valor de 70 decibeles.

La muestra evaluada reveló diferencias significativas en las puntuaciones medias del nivel de ruido ambiental entre las distintas zonas analizadas. En la zona de protección especial, se registró una media de 58.28 con una desviación estándar de 6.748, lo que indica una variabilidad

moderada en las mediciones. En contraste, la zona residencial mostró una media más baja de 54.58 y una desviación estándar de 6.871, sugiriendo que las puntuaciones están relativamente agrupadas alrededor de la media. Por otro lado, la zona comercial presentó la media más alta con 66.67 y una desviación estándar de 4.010, lo que sugiere menor variabilidad en los datos. Estos resultados reflejan cómo el entorno influye en la percepción del ruido ambiental en cada zona Tabla 5.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos para una muestra.

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Zona de protección especial				
Protección Especial	12	58.28	6.748	1.948
Zona residencial				
Residencial	26	54.58	6.871	1.347
Zona comercial				
Comercial	7	66.67	4.010	1.516

Los resultados de la Tabla 5, indican que la muestra normativa evaluada en la zona de protección especial presenta una diferencia significativa en los niveles de decibeles, superando el valor de referencia establecido en 50 dB. La prueba t reveló un valor de $t(11) = 4.25$ con un nivel de significancia $p < 0.001$, lo que sugiere que los niveles de ruido son considerablemente más altos en esta zona. En concreto, se observó que los decibeles exceden el valor de referencia en 8.28 dB, con un intervalo de confianza del 95% que oscila entre 4.00 y 12.57 dB, lo que refuerza la conclusión de que el ruido ambiental es un problema significativo en esta área.

En contraste, la zona residencial mostró un valor t de -4.019 y una significancia $p < 0.000$, indicando que los niveles de ruido son significativamente más bajos, con una diferencia media de -5.415 dB. El intervalo de confianza para esta diferencia se encuentra entre -8.19 y -2.64, lo que sugiere que las condiciones son más favorables para el bienestar auditivo en esta zona. Por otro lado, la zona comercial presentó un valor t de -2.196 con $p = 0.070$, lo que indica una tendencia hacia niveles más bajos de ruido, aunque no alcanza el umbral de significancia estadística convencional. Esto sugiere que, aunque hay una diferencia, no es lo suficientemente fuerte como para considerarse estadísticamente significativa en este análisis.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para una muestra.

Valor de prueba = 50	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Zona de protección especial						
Protección Especial	4.252	11	0.001	8.283	4.00	12.57
Zona residencial						
Residencial	-4.019	25	0.000	-5.415	-8.19	-2.64
Zona comercial						
Comercial	-2.196	6	0.070	-3.329	-7.04	0.38

Nota: Resultado en comparación del ECA.

El mapa utiliza curvas de nivel para representar los diferentes niveles de ruido, con tonalidades que van desde el verde (menor ruido) hasta el rojo (mayor ruido). Se pueden observar diversas zonas con concentraciones de ruido, asociadas a tráfico vehicular u otras fuentes de contaminación

acústica. Además, se incluyen tres fotografías que parecen representar el entorno urbano del distrito. Esta cartografía proporciona una representación visual de los niveles de contaminación acústica en Pebas, con el fin de identificar y analizar las áreas más afectadas.

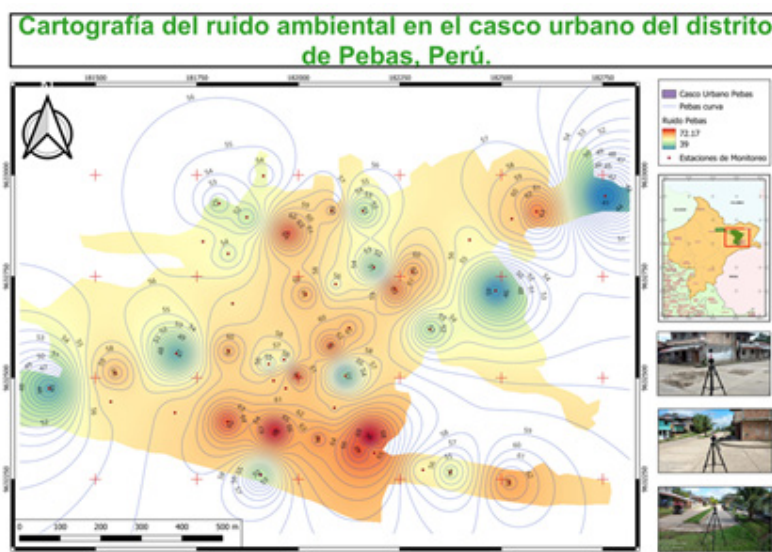


Figura 1. Modelamiento del ruido ambiental.

Discusión

El presente estudio sobre la caracterización y cartografía del ruido ambiental en el casco urbano del distrito de Pebas en Loreto, Perú, proporciona una visión detallada sobre la contaminación acústica, un problema creciente en muchas ciudades del mundo. Los resultados obtenidos indican que los niveles de ruido en Pebas superan los estándares establecidos por las normativas ambientales, lo que plantea serias preocupaciones sobre la salud pública y el bienestar de sus habitantes (20). En este contexto, es fundamental entender la magnitud del problema y sus implicaciones, así como las posibles estrategias de mitigación que podrían implementarse para abordar esta situación. La identificación de las principales fuentes de ruido es el primer paso hacia la formulación de políticas efectivas que puedan mejorar la calidad de vida de los residentes (21).

Al comparar estos resultados con estudios anteriores, se observa que la relación entre el tráfico vehicular y la contaminación acústica se mantiene constante en diversas localidades. Por ejemplo, Peixoto (22), realizaron un estudio en Brasil donde documentaron altos niveles de ruido en la ciudad de Fortaleza en el nordeste de Brasil, destacando el impacto del tráfico como fuente de contaminación y proporcionan valiosos conocimientos sobre cómo los diferentes materiales de pavimento y las estrategias de gestión del tráfico para influir en los niveles de ruido en áreas urbanas, abogando por un enfoque holístico en la planificación urbana que priorice tanto la movilidad como la calidad ambiental. De manera similar, en Pebas, el tráfico vehicular se identificó como la principal causa de los altos niveles de ruido, lo que sugiere que, independientemente del tamaño de la ciudad, el tráfico sigue siendo un factor determinante

en la contaminación acústica. Esta constatación para Orozco (23), es especialmente relevante en el contexto actual, donde el crecimiento urbano y el aumento del parque automovilístico son fenómenos comunes en muchas regiones del mundo, lo que agrava aún más el problema de la contaminación acústica.

En contraste, estudios realizados en ciudades más grandes, como el análisis de Murphy (1), revelaron que las actividades industriales y comerciales también contribuyen significativamente a la contaminación acústica. En el caso de Pebas, el impacto de estas actividades es menor, lo que resalta una diferencia clave: mientras que las grandes urbes enfrentan una combinación de fuentes de ruido, las ciudades más pequeñas pueden ver el tráfico como el principal responsable. Esta diferencia subraya la importancia de personalizar las estrategias de mitigación del ruido en función del contexto urbano. Por lo tanto, es vital que las políticas públicas se adapten a las características específicas de cada localidad, considerando no solo las fuentes de ruido, sino también el comportamiento de la población y el uso del suelo en el área (24).

Los niveles de ruido documentados en este estudio están alineados con investigaciones que han vinculado la exposición prolongada al ruido con efectos adversos para la salud. En esta dirección, Hernández (2) encontraron que la exposición al ruido está relacionada con problemas de salud como hipertensión, trastornos del sueño

y enfermedades cardiovasculares. En Pebas, los resultados indican que los niveles de ruido superan los umbrales recomendados, lo que podría tener implicaciones significativas para la salud de la población. La identificación de estos puntos críticos es crucial para el desarrollo de políticas públicas que aborden la contaminación acústica y protejan a los ciudadanos. Además, es importante que se realicen estudios adicionales que evalúen el impacto del ruido en la salud a largo plazo, ya que esto podría proporcionar datos valiosos para la formulación de estrategias de intervención.

La necesidad de implementar estrategias de mitigación efectivas se hace evidente a partir de los resultados obtenidos. En estudios como el de Rodríguez-Manzo (18), se sugieren varias medidas para reducir el ruido en áreas urbanas, como la instalación de barreras acústicas, el aumento de zonas verdes y la regulación del tráfico. En Pebas, estas estrategias podrían ser igualmente efectivas, pero requieren un enfoque adaptado a las características locales. Por ejemplo, la creación de zonas verdes no solo podría ayudar a reducir el ruido, sino que también podría mejorar la calidad de vida de los residentes al proporcionar espacios recreativos (20). Asimismo, la implementación de barreras acústicas en puntos críticos, especialmente cerca de áreas residenciales y educativas, podría ser una medida eficaz para reducir la exposición al ruido, contribuyendo así a un entorno más saludable y sostenible.

Además, el uso de tecnologías modernas, como sensores acústicos para el monitoreo continuo del ruido, podría facilitar la recolección de datos en tiempo real y permitir una respuesta más rápida a los problemas de contaminación acústica (16). La implementación de un sistema similar en Pebas podría ser beneficioso, permitiendo a las autoridades locales tener un control más preciso sobre los niveles de ruido y actuar de manera proactiva para mitigar sus efectos. Esto no solo ayudaría a mejorar la calidad del ambiente sonoro, sino que también podría fortalecer la confianza de la comunidad en la capacidad de sus autoridades para gestionar el problema del ruido.

Otro aspecto importante que debe abordarse es la educación y la sensibilización de la población sobre los efectos del ruido ambiental (25–27). En Pebas, se podrían organizar talleres y campañas informativas para educar a los ciudadanos sobre cómo reducir el ruido en su entorno y fomentar prácticas que minimicen su impacto. Involucrar a los residentes en el proceso de toma de decisiones puede aumentar la efectividad de las medidas adoptadas y fomentar un sentido de responsabilidad compartida hacia la reducción de la contaminación acústica.

A pesar de la relevancia de los hallazgos, es importante reconocer las limitaciones de este estudio. La investigación se centró en un periodo específico y en un número limitado de puntos de medición, lo que podría no representar

completamente la variabilidad del ruido en diferentes momentos del año o en diferentes condiciones climáticas. Estudios futuros deberían considerar una mayor cantidad de datos a lo largo del tiempo, así como la inclusión de más puntos de monitoreo para obtener una visión más completa de la contaminación acústica en Pebas. Además, la metodología utilizada para la recolección de datos, aunque rigurosa, podría beneficiarse de la inclusión de otras técnicas, como encuestas a los residentes sobre su percepción del ruido y su impacto en la calidad de vida (28). Esto permitiría una comprensión más holística de cómo la contaminación acústica afecta a la comunidad.

Finalmente, los resultados de este estudio subrayan la urgencia de abordar la contaminación acústica en Pebas. La identificación de niveles de ruido que superan los estándares recomendados, especialmente en zonas críticas, plantea serias preocupaciones sobre la salud pública. Al comparar estos hallazgos con investigaciones previas, se evidencia que el tráfico vehicular es una fuente común de contaminación acústica, independientemente del tamaño de la ciudad (29). Las estrategias de mitigación deben ser adaptadas al contexto local y deben incluir la participación de la comunidad, así como la implementación de tecnologías modernas para el monitoreo del ruido. Finalmente, la educación y la sensibilización de la población son cruciales para fomentar un entorno más saludable y sostenible.

CONCLUSIONES

El estudio sobre la contaminación acústica en el distrito de Pebas revela que los niveles de ruido superan los límites recomendados por las normativas ambientales, lo que plantea serias preocupaciones para la salud pública y el bienestar de los residentes. Se identificó el tráfico vehicular como la principal fuente de ruido, similar a lo observado en otras investigaciones en contextos urbanos. Las implicaciones para la salud, que incluyen problemas como hipertensión y trastornos del sueño, subrayan la necesidad urgente de implementar estrategias de mitigación adaptadas a las características locales. Esto incluye la creación de zonas verdes, la instalación de barreras acústicas y la sensibilización de la comunidad sobre los efectos del ruido. Además, se sugiere la adopción de tecnologías de monitoreo continuo para una gestión más efectiva del ruido. En conjunto, estas acciones son esenciales para mejorar la calidad de vida en Pebas y proteger la salud de sus habitantes.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Murphy E, King E. Environmental Noise Pollution, Noise Mapping, Public Health, and Policy. ELSEVIER; 2022. 368 p. <https://lc.cx/YNomc7>
2. Hernández O, Hernández G, López E. Ruido y salud. Rev Cuba Med Mil. 2019; 48(4). <https://lc.cx/eqUGH2>
3. Van Kempen E, Casas M, Pershagen G, Foraster M. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary. Int J Environ Res Public Health. 2018; 15(2):379. <https://lc.cx/FlpXs9>
4. Nieuwenhuijsen M, Ristovska G, Dadvand P. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Adverse Birth Outcomes. Int J Environ Res Public Health. 2017; 14(10):1252. <https://lc.cx/9Legq5>
5. Clark C, Paunovic K. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Quality of Life, Wellbeing and Mental Health. Int J Environ Res Public Health. 2018; 15(11):2400. <https://lc.cx/axSd13>
6. Kpang M, Dollah O. Monitoring noise level in cities: A step towards urban environmental quality management in Nigeria. World J Adv Res Rev. 2021; 10(3):348-57. <https://lc.cx/QxsYhE>
7. Agudelo O, Marín C, Crespo R. Sound measurement and automatic vehicle classification and counting applied to road traffic noise characterization. Soft Comput. 2021; 25(18):12075-87. <https://lc.cx/VqECpT>
8. Abeßer J, Götze M, Clauß T, Zapf D, Kühn C, Lukashevich H, et al. Urban Noise Monitoring in the Stadtlärm Project - A Field Report. 2019. <https://lc.cx/17be6i>
9. Domazetovska S, Anachkova M, Gavriloski V, Petreski Z. Influence of the traffic flow in urban noise pollution. INTER-NOISE NOISE-CON Congr Conf Proc. 2020; 261(4):2088-96. <https://lc.cx/HOzE5b>
10. Orga F, Alías F, Alsina-Pagès R. On the Impact of Anomalous Noise Events on Road Traffic Noise Mapping in Urban and Suburban Environments. Int J Environ Res Public Health. 2018; 15(1):13. <https://lc.cx/zRAKnA>

11. Zannin P, Engel M, Fiedler P, Bunn F. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. *Cities*. 2013; 31:317-27. <https://lc.cx/aLERvx>
12. Alademomi A, Okolie C, Ojebibile B, Daramola O, Onyegbula J, Adepo R, et al. Spatial and Statistical Analysis of Environmental Noise Levels in the Main Campus of the University of Lagos. *J Eng Res TJER*. 2020; 17(2):75-88. <https://lc.cx/Wo91PB>
13. Alsina-Pagès R, Garcia R, Vilella M, Pons M. Noise Events Monitoring for Urban and Mobility Planning in Andorra la Vella and Escaldes-Engordany. *Environments*. 2019; 6(2):24. <https://lc.cx/LSXbbL>
14. Ziv A, Solov'eva E. Approximate noise maps as instrument for evaluation of the city environment quality. *Noise Mapp*. 2021; 8(1):260-7. <https://lc.cx/FPm7vU>
15. Mydlarz C, Sharma M, Lockerman Y, Steers B, Silva C, Bello J. The Life of a New York City Noise Sensor Network. *Sensors*. 2019; 19(6):1415. <https://lc.cx/PBpqnj>
16. Lozano R, Hernández S. Revisión al estado del arte de la modelación geoespacial del ruido por tráfico de carreteras. *Rev Cuba Transform Digit*. 2022; 3(2). <https://acortar.link/R8F78V>
17. Forouhid A, Khosravi S, Mahmoudi J. Noise Pollution Analysis Using Geographic Information System, Agglomerative Hierarchical Clustering and Principal Component Analysis in Urban Sustainability (Case Study: Tehran). *Sustainability*. 2023; 15(3): <https://acortar.link/g4EGuQ>
18. Rodríguez-Manzo F, Vargas E, Rivera L, Ruiz G. Ruido ambiental y políticas públicas. Un presente y hacia el futuro en Azcapotzalco. *Espac Rev Temas Contemp Sobre Lugares Política Cult*. 2015; 6(1):72-103. <https://acortar.link/Mga9ZB>
19. García-Rivero A, Yuli-Posadas R, Romero W, Sánchez-Ccoyllo O, Bulege-Gutierrez W, Tasayco H, et al. Daytime perimeter environmental noise in the vicinity of four hospitals in the city of Lima, Peru. *Noise Mapp*. 2020; 7(1):239-47. <https://acortar.link/wY4qjT>
20. WHO. Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen Ø, Denmark; 2018. (Publications). <https://acortar.link/msgDo3>
21. Maya G, Correa O, Gómez M. Gestión para la prevención y mitigación del ruido urbano. *Prod Limpia*. enero de 2010; 5(1):75-94. <https://acortar.link/Uzx5R9>
22. Peixoto N de M, Alecrim C, Pinheiro G, Castelo Branco V, Zannin P. Noise mapping and acoustic evaluation of different pavements in the city of Fortaleza, northeast Brazil. *INTER-NOISE NOISE-CON Congr Conf Proc*. 2023; 265(4):3309-20. <https://acortar.link/uPAWDH>
23. Orozco C, Aguirre F. Contaminación acústica y sus efectos en la calidad ambiental del espacio urbano. *Tecnogestión Una Mirada Al Ambiente*. 2023; 20(1):114-45. <https://lc.cx/qxpSvz>
24. Alfie M, Salinas O. Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estud Demográficos Urbanos*. 2017; 32(1):65-96. <https://lc.cx/vyLKlt>
25. Bendezú S, Ríos A. Contaminación sonora y su efecto en la salud de los habitantes alrededor de la estación Naranjal durante la pandemia, Independencia, 2021. *Repos Inst - UCV*. 2021; <https://lc.cx/C03sQO>
26. Giraldo L. Diseño y aplicación de estrategias para la prevención y control del ruido, por medio de un diagnóstico de la contaminación acústica en las zonas de influencia de los establecimientos comerciales de venta y consumo de licor, en el municipio de Puerto Asís, departamento de Putumayo. Universidad Autónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria; 2017. <https://lc.cx/GU5lil>
27. Bernedo F. La contaminación sonora y sus efectos en la salud de la población de la ciudad de Arequipa. *Repos Inst - UCV*. 2021; <https://lc.cx/6BbdZB>

28. Marmolejo-Duarte C. La incidencia de la percepción del ruido ambiental sobre la formación espacial de los valores residenciales: un análisis para Barcelona. Rev Constr. 2008; 7(1):4-19. <https://lc.cx/vErHUu>

29. Guzmán-Piñeiro R, Barceló-Pérez C. Estimación de la contaminación sonora del tránsito en Ciudad de La Habana, 2006. Rev Cuba Hig Epidemiol. septiembre de 2008; 46(2):1-13. <https://lc.cx/9-NOVh>

ACERCA DE LOS AUTORES

Luis Antonio Flores Flores. Doctor en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Trujillo. Maestro en Ciencias Tecnologías Ambientales con mención en Industrias del Petróleo y Medio Ambiente. Ingeniero Químico y docente por la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Especialista Ambiental, por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Autor de investigaciones.

Arturo Seclén Medina. Doctor en Ciencias Empresariales. Maestro en Docencia en Investigación Universitaria por la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Licenciado en Física Pura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; Licenciado en Matemática y Física, Universidad Científica del Perú. Experiencia en Docencia a Nivel Pregrado y Postgrado. Autor de investigaciones.

Kosseth Marianella Bardales Grández. Doctora en Ingeniería Química Ambiental por la "UNT". Magister en Ecología y Desarrollo Sostenible por la "UNAP". Experiencia como docente en la UNAP. Autora de investigaciones.

Miguel Ángel Flores Flores. Maestro en Ciencias, mención en Salud Pública, Universidad Nacional de Cajamarca. Licenciado en Bromatología y Nutrición humano, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Experiencia en Salud Pública en la Dirección de Redes Integradas de Lima Centro y Lima Sur. Autor de investigaciones.

Maria Enith Alva Chirinos. Egresada de la Maestría en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Bióloga por la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, con experiencia estudio de monitoreo ambiental de fauna silvestre y fiscalización ambiental. Autora de investigaciones.



Capacidad antioxidante y contenido fenólico total del extracto acuoso del tallo de matico (*buddleja globosa*)

Antioxidant capacity and total phenolic content of aqueous extract from matico (*buddleja globosa*) stem

Capacidade antioxidante e teor fenólico total do extrato aquoso do caule de matico (*buddleja globosa*)

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.330>

Pedro Zamorano-Aguilar¹

pedro.zamorano.a@usach.cl

Astrid Seperiza Wittwer¹

astrid.seperiza@usach.cl

Rubén Bustos Cerda¹

ruben.bustos@usach.cl

Benjamín Rojano²

brojano@unal.edu.co

¹Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile

²Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia

Artículo recibido: 6 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Buddleja globosa (matico) es una planta medicinal nativa de Chile, ampliamente reconocida por las propiedades terapéuticas de sus flores y hojas. Sin embargo, su tallo ha sido poco explorado y generalmente descartado, a pesar de su potencial como fuente de compuestos bioactivos. El objetivo de este estudio fue investigar la concentración de polifenoles y la capacidad antioxidante del tallo de esta planta medicinal. Se cuantificaron compuestos bioactivos, como fenoles totales, flavonoides, vitamina C y catequina. La capacidad antioxidante se evaluó mediante las metodologías ABTS, DPPH y ORAC-H. Los resultados mostraron una elevada concentración de polifenoles totales (2749,78 mg de ácido gálico/100 g PS), flavonoides (2096,53 mg de catequina equivalente/100 g PS) y una significativa capacidad antioxidante en los ensayos ORAC-H (35661,73 μ mol Trolox equivalente/100 g PS), ABTS (13404,39 μ mol Trolox equivalente/100 g PS) y DPPH (8268,45 μ mol Trolox equivalente/100 g PS). Estos hallazgos destacan el valor del tallo de Matico como una rica fuente de compuestos bioactivos. Este es el primer reporte sobre la composición del tallo de *Buddleja globosa*, sugiriendo que partes de la planta comúnmente descartadas poseen un alto potencial para el desarrollo de productos antioxidantes y terapéuticos.

Palabras clave: Antioxidantes; *Buddleja globosa*; Capacidad antioxidante; Compuestos bioactivos; Hierbas medicinales

ABSTRACT

Buddleja globosa (matico) is a medicinal plant native to Chile, widely recognized for the therapeutic properties of its flowers and leaves. However, its stem has been little explored and generally discarded, despite its potential as a source of bioactive compounds. The aim of this study was to investigate the polyphenol concentration and antioxidant capacity of the stem of this medicinal plant. Bioactive compounds, such as total phenols, flavonoids, vitamin C and catechin, were quantified. The antioxidant capacity was assessed using ABTS, DPPH and ORAC-H methodologies. The results showed a high concentration of total polyphenols (2749.78 mg gallic acid/100 g DW), flavonoids (2096.53 mg catechin equivalent/100 g DW) and a significant antioxidant capacity in the ORAC-H (35661.73 μ mol Trolox equivalent/100 g DW), ABTS (13404.39 μ mol Trolox equivalent/100 g DW) and DPPH (8268.45 μ mol Trolox equivalent/100 g DW) assays. These findings highlight the value of Matico stem as a rich source of bioactive compounds. This is the first report on the stem composition of *Buddleja globosa*, suggesting that commonly discarded parts of the plant possess a high potential for the development of antioxidant and therapeutic products.

Key words: Antioxidants; Antioxidant capacity; Bioactive compounds; *Buddleja globosa*; Medicinal herbs

RESUMO

Buddleja globosa (matico) é uma planta medicinal nativa do Chile, amplamente reconhecida pelas propriedades terapêuticas de suas flores e folhas. Porém, seu caule tem sido pouco explorado e geralmente descartado, apesar de seu potencial como fonte de compostos bioativos. O objetivo deste estudo foi investigar a concentração de polifenóis e a capacidade antioxidante do caule desta planta medicinal. Compostos bioativos, como fenóis totais, flavonóides, vitamina C e catequina, foram quantificados. A capacidade antioxidante foi avaliada pelas metodologias ABTS, DPPH e ORAC-H. Os resultados mostraram uma alta concentração de polifenóis totais (2.749,78 mg de ácido gálico/100 g de peso corporal), flavonóides (2.096,53 mg de equivalente de catequina/100 g de peso corporal) e uma capacidade antioxidante significativa no ORAC-H (35.661,73 μ mol equivalente de Trolox/100 g de peso corporal).), ABTS (13404,39 μ mol equivalente Trolox/100 g DW) e ensaios DPPH (8268,45 μ mol equivalente a Trolox/100 g DW). Estas descobertas destacam o valor do caule do Matico como uma rica fonte de compostos bioativos. Este é o primeiro relato sobre a composição do caule de *Buddleja globosa*, sugerindo que partes da planta comumente descartadas possuem alto potencial para o desenvolvimento de produtos antioxidantes e terapêuticos.

Palavras-chave: Antioxidantes; *Buddleja globosa*; Capacidade antioxidante; Compostos bioativos; Ervas medicinais

INTRODUCTION

The exponential growth of the food industry has generated significant challenges, including food waste management (1). According to the Food and Agricultural Organization (FAO) (2), more than 1.5 billion tons of food produced are lost or wasted annually, generating a carbon footprint of more than 3.5 billion tons of carbon dioxide. A large part of this waste comes from the processing and transformation of raw materials (3), including waste of animal and plant origin (4). The plant-based food industry generates substantial horticultural waste, such as leaves, peels, pulps, seeds, roots and stems, which often contain valuable bioactive compounds (5).

In the case of medicinal plants, leaves and flowers are commonly used, while stems, bark and other inedible parts are discarded despite being rich in phytochemicals such as polyphenols, alkaloids, carotenoids, and vitamins (6,7). Phenolic compounds, in particular, have demonstrated antioxidant properties and protective effects against neurodegenerative, cardiovascular, and inflammatory diseases, as well as cancer, diabetes and autoimmune conditions (8,9,10). Globally, more than 30,000 medicinal plants with therapeutic properties have been documented, significantly boosting their commercialization (11).

According to the World Health Organization (WHO), up to 80% of the populations in developing countries use medicinal plants to treat various

conditions (12). In Europe, at least 25% of the population uses phytotherapy treatments (13), and a study in Germany revealed that 81% of respondents prefer home remedies, such as hot drinks, with lemon, honey and chamomile, instead of pharmaceutical drugs (14). Similarly, in Chile, medicinal herbs are integral to folk medicine, with 70% of the population using phytotherapy or complementary medicine (15). This importance is reflected in the recognition of 103 medicinal plant species by the Chilean Ministry of Health, documented in the "Traditional Herbal Medicines (MHT)" report (16), which includes boldo (*Peumus boldus*), cedrón (*Aloysia citrodora*), maitén (*Maytenus boaria*), and matico (*Buddleja globosa*).

Matico is a medicinal plant widely distributed in Chile and other South American countries, such as Argentina, Bolivia, and Perú (17). Previous studies have identified phenolic compounds in its flowers, such as catechins and epicatechins, associated with high antioxidant capacity (18). Additionally, extracts from its leaves have been traditionally used as a poultice for wound healing (19), as well as in the treatment of ulcers and gastric disorders (20). Nevertheless, the stem, which may represent a rich source of antioxidants and bioactive compounds, is often discarded. To our knowledge, no literature reports are available on the bioactive compound and antioxidant capacity of matico stems.

This study aims to address the underutilization of agricultural by-products by evaluating the polyphenol concentration and antioxidant capacity of matico stems using the ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC methods. The results of this research will not only contribute to the revalorization of an agricultural by-product but also open new perspectives for its application in the nutraceutical and food industries.

MATERIALS AND METHODS

Plant Material and sample preparation

The matico stem (*Budleja globosa*) was collected manually in the commune of Fresia, Los Lagos Region (Chile). After collection, the plant material was stored in perforated polypropylene bags. It was then freeze-dried and transported to the laboratory for the corresponding analyses. For the preparation of the extract, 1.0 g of freeze-dried matico stem was dissolved and homogenized in 20 mL of water acidified with 0.1% HCl, using an Ultra-Turrax (IKA-WERK©) for 45 seconds. The sample obtained was subjected to centrifugation at 5000 rpm for 12 minutes at room temperature. Finally, the supernatant was collected for use in subsequent analyses.

Reagents and equipment used

Reagent solvents were purchased from Sigma-Aldrich® (St. Louis, USA) and Merck (Germany). Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrum

measurements were performed on a Multiskan Spectrum spectrophotometer (Thermo Scientific®). For the ORAC assay, a Perkin-Elmer LS-55 spectrofluorometer (UK) was used. Chromatographic analyses were carried out on a Shimadzu® Prominence UFLC high-performance liquid chromatograph (HPLC) (Japan).

Quantification of bioactive compounds

Total phenols were quantified using the Folin-Ciocalteu colorimetric method, following the protocol described by (21). Results were expressed in gallic acid equivalents per 100 g of dry sample (mg GAE/100 g DW). The quantification of (+)-catechin and (-)-epicatechin was performed by HPLC-DAD (liquid chromatography with diode array detection). A Shimadzu LC-20AD/T HPLC was used, equipped with an SPD-6A UV detector and a C18 Pinnacle II column (5 µm, 250 × 4.6 mm, Restek®, USA). The mobile phase consisted of methanol (A) and water acidified with formic acid (0.1%) (B), using a gradient elution: 60% A at the beginning; 80% A between 5-12 minutes; and 60% A between 13-14 minutes. The mobile phase flow was 1.0 mL/min. Total flavonoids were determined following the colorimetric method proposed by (22). The results were expressed in quercetin equivalents per 100 g of dry sample (mg QE/100 g DW). Ascorbic acid determination was carried out by high-performance liquid chromatography (HPLC), following the protocol of (23). A mobile

phase composed of purified water acidified with 0.1% formic acid was used, with an isocratic elution system. The mobile phase flow was 0.8 mL/min, and the column was kept at a constant temperature of 35°C. Detection was performed at a wavelength of 245 nm. Identification and quantification of ascorbic acid was carried out using calibration curves prepared with standard solutions of known concentrations of the compound.

Determination of antioxidant activity

The antioxidant activity against the DPPH radical was evaluated according to the method of (24), with modifications. 10 µL of sample was mixed with 990 µL of DPPH solution, and left to react for 30 minutes at room temperature. The decrease in absorbance, associated with the reduction of DPPH, was measured at 517 nm. The results were expressed in trolox equivalents per 100 g of dry sample (µmol TE/100 g DW). The antioxidant activity by the ABTS assay was determined following the protocol of (25), with adaptations. 10 µL of sample was added to 990 µL of ABTS•+ solution. The reduction in absorbance was recorded after 30 minutes of reaction at 732 nm. The results were compared with a reference curve constructed with trolox, and reported as TEAC (trolox equivalents in µmol per 100 g DW). The ORAC assay was performed according to the methods described by (26, 27). Solutions were prepared with 30 µL of sample, 21 µL of fluorescein

(1×10^{-2} M) in PBS (75 mM) and 50 µL of AAPH (0.6 M) in PBS. The reaction was maintained at 37°C and pH 7.4. Readings were made at 493 nm (excitation) and 515 nm (emission). Antioxidant capacity was calculated as the difference in area under the curve (AUC) between the blank (no sample) and the sample, comparing with a trolox curve. Results were expressed in TEAC (µmol trolox per 100 g DW) according to equation 1.

$$ORAC = \frac{AUC - AUC^{\circ}}{AUC_{Trolox} - AUC^{\circ}} f[Trolox] \quad (1)$$

Where AUC is the area under the curve for the sample, AUC° area under the curve for the control, AUC_{Trolox} area under the curve for Trolox, f is the dilution factor for the extracts.

RESULTS AND DISCUSSION

The metabolite content is presented in Table 1, where the concentration of total phenols was determined as total gallic acid equivalents. Flavonoids, vitamin C and catechin were also quantified. The presence of epicatechin, p-coumaric acid or caffeic acid was not reported. The antioxidant capacity of matico stem was evaluated by different methodologies (ABTS, DPPH, ORAC-H), the results of which can be consulted in Table 2. It is worth mentioning that the results are presented as the mean ± standard deviation and are expressed in terms of dry basis (DW).

Tabla 1. Bioactive compounds quantified in matico steam.

Compound	Matico steam
Total phenols (mg gallic ac. Eq.)	2749.78
Flavonoids (mg catechin Eq.)	2096.53
Ascorbic acid (mg)	3,8
Catechin (mg)	266,61

*The results of each analysis are presented as the mean $\pm$ standard deviation (N = 3). **Results expressed in 100 g DW.

Tabla 2. Antioxidant activity in Matico steam

Compound	Matico steam
ABTS (μ mol Trolox Eq.)	13404.39
DPPH (μ mol Trolox Eq.)	8268.45
ORAC-H (μ mol Trolox Eq.)	35661,73

*The results of each analysis are presented as the mean $\pm$ standard deviation (N = 3). **Results expressed in 100 g DW.

Secondary metabolites

Several studies have documented high concentrations of metabolites in different parts of the matico plant (18) pointed out that the flower is a promising source of bioactive compounds with potent antioxidant capacity. Regarding the leaves, significant concentrations of polyphenols have been reported, which highlights the medicinal value of this plant species (28).

In our study, it was determined that the concentration of total polyphenols in the matico stem (2749.78 mg gallic acid/100 g DW) is comparable and even higher than that reported for several widely recognized medicinal plants. This finding is particularly relevant, since bioactive compounds, such as polyphenols, have been associated with chemoprotective, anti-inflammatory, antioxidant, and anticancer effects,

among others (29-31). For example, in East Asia, korean mint (*Agastache rugosa*) is known for both its medicinal and ornamental properties (32), standing out for its anticancer and antimicrobial action, which has been attributed to the presence of phenolic compounds (33,34). Reported that a stem extract of korean mint showed remarkable bactericidal and/or bacteriostatic capacity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus hemolyticus*, and *Cronobacter sakazakii* (35). These effects were mainly attributed to the presence of anthocyanins and flavonoids, with a total polyphenol concentration of 765 mg GAE/100 g DW. It should be noted that this amount is approximately 3 times lower than that determined in our study, suggesting a higher concentration of these compounds in the matico stem, with potential antioxidant and antimicrobial benefits. Furthermore, the

concentration of catechins quantified in our study (266.61 mg/100 g) was significantly higher than the 0.4 mg/100 g reported by (35) for korean mint. This finding is important, since catechins possess antioxidant properties, in addition to antimicrobial, anti-inflammatory, and UV protection effects (36-40).

Compared to *Jatropha curcas*, an Egyptian plant known for its therapeutic effects derived from its stem extracts, which have shown benefits in the treatment of pyorrhea, dental and gum problems (41,42), as well as in cases of malaria (43), dysentery (41), and in wound healing and relief of muscle pain (44), our values are slightly higher, since (45) reported a total polyphenol concentration of 2235 mg GAE/100 g. Similarly, the jarilla plant (*Barkleyanthus salicifolius* (Kumth) H. Rob & Brettell), is known for its anti-inflammatory, nephroprotective, and hepatoprotective properties (46). In aqueous and methanolic extracts of Jarilla, total polyphenol concentrations of 199 mg GAE/100 g DW and 1831 mg GAE/100 g DW, respectively, have been reported (47). These concentrations are considerably lower than those reported for matico stem. It is worth noting that, in the study carried out by (47), both extracts inhibited the growth of *Phytophthora capsici* and *Colleototrichum gloeosporioides*, which could indirectly suggest the potential of matico stem polyphenols in pathogen control. Regarding vitamin C, the concentration in the matico stem (3.8 mg ascorbic acid/100 g

DW) is similar to that reported by (48) for cherry stem, which presented values of 3.11 and 3.02 mg of ascorbic acid/100 g. However, in that same study, a concentration of total polyphenols of 11800 mg GAE/100 g was reported in the Cherry stem, a figure considerably higher than that of the matico stem. On the other hand, the determined amount of flavonoids determined in the matico stem (2096.53 mg catechin Eq/100 g DW) suggests that these compounds constitute one of the main groups of polyphenols present, contributing significantly to the antioxidant capacity detected in our study.

Antioxidant Capacity

In this research, the antioxidant capacity of matico stem was evaluated using 3 different methodologies (ABTS, DPPH, and ORAC). The combined application of these techniques is of great relevance, since it offers information and a comprehensive view on the nature and characteristics of the bioactive compounds present in the samples analyzed. The results are detailed in Table 2.

Using the ORAC assay, the antioxidant capacity of matico stem (35661.73 μ mol Trolox Eq/100 g DW) was of the order of magnitude or even higher than those Andean plants reported by (49), such as hierba santa (*Cestrum auriculatum*), alcachofa (*Cynara scolimus*), and cuturruzuma (*Rumex crispus* L.), whose antioxidant capacities

were reported at 12300, 33860, and 29800 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g DW}$, respectively. The ORAC method is particularly valuable because it measures the ability of phenolic compounds to capture the peroxy radicals generated in situ through a hydrogen atom transfer (HAT) proton transfer mechanism (50). Therefore, these results could indicate that the polyphenols present in the matico stem have a considerable potential to act specifically as ROO• peroxide radical scavengers.

On the other hand, the results obtained by the ABTS assay showed an antioxidant capacity of 13404.39 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$, a value significantly higher than those reported for other plant species of recognized medicinal importance. For example, (51), reported antioxidant capacities of 3347 and 4528 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$ for the stems of *Lonicera japonica* Thunb and *Morus alba* L., respectively. Comparatively, the values obtained for the matico stem are notably higher. For this reason, it is relevant to mention that *Lonicera japonica* Thunb is part of the Pharmacopoeia of the People's Republic of China, and that it is recognized for its antibacterial, anti-inflammatory, and antiviral properties, which have been directly related to its bioactive compounds (52,53). Similarly, stem extracts of *Morus alba* L. have shown anti-inflammatory, antibacterial properties, and positive effects in the treatment of antiosteoarthritis (54-56). Likewise, our results far exceed those reported for the stem of other important medicinal plants, such as *Perilla*

frutescens (L.) Britt (1680 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g DW}$) and *Stemona sessilifolia* (Miq.) Franch. (1543 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g DW}$) (51).

The high antioxidant capacity determined by the ABTS methodology suggests that the antioxidant compounds present in the matico stem are highly hydrophilic. Furthermore, it is important to take into account that the ABTS assay reacts with a broad spectrum of antioxidants, due to its high reactivity and low selectivity in reactions towards hydrogen donor atoms (57). This could, in certain cases, lead to an overestimation of the real antioxidant capacity of the samples, since ABTS can react with any hydroxylated aromatic compound, regardless of its true antioxidant potential (58).

In line with other investigations, in our study it was observed that the antioxidant capacity values measured by DPPH were considerably lower than those obtained with ABTS (Table 2). For example, (49), reported an antioxidant capacity of 2760 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g DW}$ for artichoke leaves using DPPH, while the value obtained with ABTS was significantly higher, reaching 33860 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g DW}$. This trend is commonly observed and is attributed to the greater selectivity and stability of the DPPH radical, since its molecular conformation and high steric hindrance limit its ability to interact with certain antioxidant compounds (59,26).

Finally, unlike what was pointed out by (18), who indicated that the antioxidant compounds present in the matico flower are predominantly lipophilic,

in this study we observed that the compounds present in the stem show greater solubility in aqueous media. This behavior is reflected in the greater sensitivity of the compounds to the ABTS methodology, which reinforces the idea that different parts of the plant present polyphenols with specific properties, structural characteristics, mechanisms and functions (60).

CONCLUSION

The present study successfully achieved its objective of evaluating the bioactive composition and antioxidant capacity of the often-discarded stem of matico (*Buddleja globosa*), demonstrating significant concentration of polyphenols, flavonoids, and vitamin C. The antioxidant assays (ABTS, DPPH, ORAC-H) confirmed its potential to neutralize free radicals, supporting its possible inclusion in food and medicinal applications. These findings provide a basis for re-evaluating the use of plant by-products, promoting sustainability, and reducing agricultural waste. The results contribute to the growing body of evidence supporting the valorization of underutilized plant parts in the nutraceutical and food industries. Future research should focus on optimizing extraction methods and conducting in-depth in vitro and in vivo studies to further elucidate their therapeutic potential and mechanisms of action.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that there is no conflict of interest for the publication of this scientific article.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

1. Nirmal N, Khanashyam A, Mundanat A, Shah K, Babu K, Thorakkattu P, et al. Valorization of fruit waste for bioactive compounds and their applications in the food industry. *Foods*. 2023;12(3):556. <https://lc.cx/4dacfa>
2. FAO. Food wastage foot print impacts on natural resources. 2013. <https://lc.cx/PkoTHo>
3. Trigo J, Alexandre E, Saraiva J, Pintado M. High value-added compounds from fruit and vegetable by-products: characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020;60(8):1388-1416. <https://lc.cx/nhqjMF>
4. Galanakis C. Recovery of high added-value components from food wastes: conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends Food Sci Technol*. 2012; 26:68-87. <https://lc.cx/JRly3>
5. Rifna E, Misra N, Dwivedi M. Recent advances in extraction technologies for recovery of bioactive compounds derived from fruit and vegetable waste peels: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2021;1-34. <https://lc.cx/Pnpq8R>
6. Mármol I, Quero J, Ibarz R, Ferreira-Santos P, Teixeira J, Rocha C, et al. Valorization of agro-food by-products and their potential therapeutic applications. *Food Bioprod Process*. 2021; 128:247-258. <https://lc.cx/QDbvOq>
7. Singh P, Gupta A, Qayoom I, Singh S, Kumar A. Orthobiologics with phytoactive cues: a paradigm in bone regeneration. *Biomed Pharmacother*. 2020; 130:110754. <https://lc.cx/k2uHI3>
8. Aires V, Delmas D. Common pathways in health benefit properties of resveratrol in cardiovascular diseases, cancers and degenerative pathologies. *Curr Pharm Biotechnol*. 2015;16(3):219-244. <https://lc.cx/hDPD1b>
9. Han L, Fu Q, Deng C, Luo L, Xiang T, Zhao H. Immunomodulatory potential of flavonoids for the treatment of autoimmune diseases and tumour. *Scand J Immunol*. 2021; 95:16-34. <https://lc.cx/A7ABqI>

- 10.** Sureda A, Tejada S, Bibiloni M, Tur J, Pons A. Polyphenols: well beyond the antioxidant capacity: polyphenol supplementation and exercise-induced oxidative stress and inflammation. *Curr Pharm Biotechnol.* 2014;15(4):373-379. <https://lc.cx/eRMW4X>
- 11.** Allkin B. Useful plants as medicines: at least 28,187 plant species are currently recorded as being of medicinal use. In: Willis K, editor. *State of the world's plants.* London (UK): Royal Botanic Gardens, Kew; 2017. 22-29. https://lc.cx/qYPE_F
- 12.** WHO. The world medicines situation 2011: traditional medicines: global situation, issues and challenges. Geneva: WHO; 2011. 3:1-14. <https://lc.cx/qw7hxX>
- 13.** Kemppainen L, Kemppainen T, Reippainen J, Salmenniemi S, Vuolanto P. Use of complementary and alternative medicine in Europe: health-related and sociodemographic determinants. *Scand J Public Health.* 2018; 46(4):448-455. <https://lc.cx/MXPnhm>
- 14.** Parisius L, Stock-Schröer B, Berger S, et al. Use of home remedies: a cross-sectional survey of patients in Germany. *BMC Fam Pract.* 2014; 15:116. https://lc.cx/dg78E_
- 15.** Avello M, Cisternas I. Fitoterapia, sus orígenes, características y situación en Chile. *Rev Med Chil.* 2010;138(10):1288-1293. <https://lc.cx/CfRHdc>
- 16.** Ministerio de Salud de Chile (MINSAL). Medicamentos herbarios tradicionales: 103 especies vegetales. 2009. <https://lc.cx/E80pur>
- 17.** Houghton P. Ethnopharmacology of some *Buddleja* species. *J Ethnopharmacol.* 1984;11(3):293-308. <https://lc.cx/s79qJz>
- 18.** Zamorano-Aguilar P, Morales M, Rivillas Y, López J, Rojano B. Antioxidant activity and cytotoxic effect of Chilean *Buddleja globosa* (Matico) and *Ribes magellanicum* (Zarzaparrilla) flower extracts. *Acta Sci Pol Horticult Cultus.* 2020;19(6):59-70. <https://lc.cx/KM4IG6>
- 19.** Houghton P, Manby J. Medicinal plants of the Mapuche. *J Ethnopharmacol.* 1985;13(1):89-103. <https://lc.cx/ISNAh1>
- 20.** Muñoz M, Salas E. Use of a standardized dry extract of leaves of *Buddleja globosa* hope, BG-126, for the treatment and prevention of gastrointestinal disorders caused by treatment with nitrofurantoin and other antimicrobials. Google Pat. 2014;1-19. <https://lc.cx/BdA9Qc>
- 21.** Singleton V, Rossi J. Colorimetría de fenoles totales con reactivos de ácido fosfomolibdico-fosfotúngstico. *Am J Enol Vitic.* 1965; 16:144-58. <https://lc.cx/-diX9u>
- 22.** Marinova D, Ribarova F, Atanassova M. Fenólicos totales y flavonoides totales en frutas y verduras búlgaras. *J Univ Chem Technol Metall.* 2005;40(3):255-60. <https://lc.cx/PZNkcU>
- 23.** Kelebek H, Selli S, Canbas A, Cabaroğlu T. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kosa. *Microchem J.* 2009;91(2):187-92. <https://lc.cx/DV2EXF>
- 24.** Brand-Williams W, Cuvelier M, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci Technol.* 1995; 28:25-30. <https://lc.cx/gxoRma>
- 25.** Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med.* 1999; 26(9-10):1231-7. <https://lc.cx/qnbtZP>
- 26.** Prior R, Wu X, Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J Agric Food Chem.* 2005; 53(10):4290-4302. https://lc.cx/8_i8MY
- 27.** Romero M, Rojano B, Mella J, Pessoa C, Lissi E, López C. Antioxidant capacity of pure compounds and complex mixtures evaluated by the ORAC-Pyrogallol red assay in the presence of Triton X-100 micelles. *Molecules.* 2010; 15(9):6152-67. <https://lc.cx/iPflKM>
- 28.** Vogel H, Razmilic I, González B. Matico (*Buddleja globosa* Hope): evaluación de diferentes accesiones, número de cosechas, humedad del suelo y extracción de nutrientes. *Agric Téc.* 2004; 64(4):413-420. https://lc.cx/28d_oU
- 29.** Zhang H, Tsao R. Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Curr Opin Food Sci.* 2016; 8:33-42. https://lc.cx/_AJX9

30. Zhou Y, Zheng J, Li Y, Xu D, Li S, Chen Y, et al. Natural polyphenols for prevention and treatment of cancer. *Nutrients*. 2016; 8:515. https://lc.cx/sR_3K5
31. Khurana S, Venkataraman K, Hollingsworth A, Piche M, Tai T. Polyphenols: benefits to the cardiovascular system in health and in aging. *Nutrients*. 2013; 5:3779-3827. <https://lc.cx/tMrCaZ>
32. Jun H, Chung M, Dawson K, Rodriguez R, Houg S, Cho S, et al. Nutrigenomic analysis of hypolipidemic effects of *Agastache rugosa* essential oils in HepG2 cells and C57BL/6 mice. *Food Sci Biotechnol*. 2010; 19:219-227. <https://lc.cx/wwG1gq>
33. Song J, Kim M, Kwon H, Park I. Antimicrobial activity and components of extracts from *Agastache rugosa* during growth period. *J Food Sci Nutr*. 2001; 6:10-15.
34. Min B, Hattori M, Lee H, Kim Y. Inhibitory constituents against HIV-1 protease from *Agastache rugosa*. *Arch Pharm Res*. 1999; 22:75-77. <https://lc.cx/BF4COa>
35. Park C, Yeo H, Baskar T, Park Y, Park J, Lee S, et al. In vitro antioxidant and antimicrobial properties of flower, leaf, and stem extracts of Korean mint. *Antioxidants (Basel)*. 2019;8(3):75. <https://lc.cx/WpsC7x>
36. de Oliveira C, Hensel A, Mello J, Pinha A, Panizzon G, Lechtenberg M, et al. Flavan-3-ols and proanthocyanidins from *Limonium brasiliense* inhibit the adhesion of *Porphyromonas gingivalis* to epithelial host cells by interaction with gingipains. *Fitoterapia*. 2017; 118:87-93. <https://lc.cx/Bxa5Ol>
37. Foyet H, Tsala D, Zogo J, Carine A, Heroyne L, Oben E. Anti-inflammatory and anti-arthritis activity of a methanol extract from *Vitellaria paradoxa* stem bark. *Pharm Res*. 2015; 7:367-377. <https://lc.cx/AK97eO>
38. Ohmori Y, Ito M, Kishi M, Mizutani H, Katada T, Konishi H. Antiallergic constituents from oolong tea stem. *Biol Pharm Bull*. 1995; 18:683-686. <https://lc.cx/qhj3Hk>
39. Spizzirri U, Iemma F, Puoci F, Cirillo G, Curcio M, Parisi O, et al. Synthesis of antioxidant polymers by grafting of gallic acid and catechin on gelatin. *Biomacromolecules*. 2009; 10:1923-1930. <https://lc.cx/mPDoc3>
40. Yoshino S, Mitoma T, Tsuruta K, Todo H, Sugibayashi K. Effect of emulsification on the skin permeation and UV protection of catechin. *Pharm Dev Technol*. 2013; 19:395-400. <https://lc.cx/5ILQ20>
41. Jain S, Srivastava S. Traditional use of some Indian plants among islanders of the Indian Ocean. *Indian J Tradit Knowl*. 2005; 4:345-357. <https://lc.cx/43QCF7>
42. Dolui A, Sharma H, Marein T, Lalhriatpuii T. Folk herbal remedies from Meghalaya. *Indian J Tradit Knowl*. 2004; 3:358-364. <https://lc.cx/qiQxjs>
43. Neuwinger H. African ethnobotany: poisons and drugs: chemistry, pharmacology, toxicology. New York: Chapman and Hall; 1996. 500-509. <https://lc.cx/rn3cxl>
44. Balangcod T, Balangcod A. Ethnomedical knowledge of plants and healthcare practices among the Kalanguya tribe in Tinoc, Ifugao, Luzon, Philippines. *Indian J Tradit Knowl*. 2011; 10:227-238. <https://lc.cx/yFPSOY>
45. Diwani G, Rafie S, Hawash S. Antioxidant activity of extracts obtained from residues of nodes, leaves, stem and root of Egyptian *Jatropha curcas*. *Afr J Pharm Pharmacol*. 2009; 3:521-530. <https://lc.cx/2-usME>
46. Pérez-Ochoa M, Chávez-Servia J, Vera-Guzmán E, Aquino-Bolaños A, Carrillo-Rodríguez J. Medicinal plants used by indigenous communities of Oaxaca, Mexico, to treat gastrointestinal disorders. In: Perveen S, editor. *Pharmacognosy medicinal plants*. London: IntechOpen; 2016. 1-13. <https://lc.cx/1cmK6D>
47. Joaquín-Ramos A, López-Palestina C, Pinedo-Espinoza J, Altamirano-Romo S, Santiago-Saenz Y, Aguirre-Mancilla C, et al. Phenolic compounds, antioxidant properties and antifungal activity of jarilla (*Barkleyanthus salicifolius* [Kunth] H. Rob & Brettell). *Chil J Agric Res*. 2020; 80(3):352-360. <https://lc.cx/uyO60B>
48. Bursal E, Köksal E, Gülçin I, Bilsel G, Gören A. Antioxidant activity and polyphenol content of cherry stem (*Cerasus avium* L.) determined by

LC-MS/MS. Food Res Int. 2013; 51:66-74. <https://lc.cx/omWPf3>

49. Chirinos R, Pedreschi R, Rogez H, Larondelle Y, Campos D. Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. Ind Crops Prod. 2013; 47:145-152. https://lc.cx/IB_UV4

50. Prior R, Hoang H, Gu L, Wu X, Bacchiocca M, Howard L, et al. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity) of plasma and other biological and food samples. J Agric Food Chem. 2003; 51(11):3273-3279. <https://lc.cx/YxORU3>

51. Li S, Li S, Gan R, Song F, Kuang L, Li H. Antioxidant capacities and total phenolic contents of infusions from 223 medicinal plants. Ind Crops Prod. 2013; 51:289-298. <https://lc.cx/b0Ba-F>

52. Shang X, Pan H, Li M, Miao X, Ding H. *Lonicera japonica* Thunb.: ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional Chinese medicine. J Ethnopharmacol. 2011; 138(1):1-21. <https://lc.cx/ltcYi8>

53. Wang L. The study progress of *Lonicera japonica*. Med Inf. 2010; 8:2293-2296.

54. Yiemwattana I, Chaisomboon N, Jamdee K. Antibacterial and anti-inflammatory potential of *Morus alba* stem extract. Open Dent J. 2018; 12:265-274. <https://lc.cx/RbWfmd>

55. Wang W, Zu Y, Fu Y, Efferth T. In vitro antioxidant and antimicrobial activity of extracts from *Morus alba* L. leaves, stems and fruits. Am J Chin Med. 2012; 40(2):349-356. <https://lc.cx/uuV2c2>

56. Khunakornvichaya A, Lekmeechai S, Pham P, Himakoun W, Pitaksuteepong T, Morales N, Hemstapat W. *Morus alba* L. stem extract attenuates pain and articular cartilage damage in the anterior cruciate ligament transection-induced rat model of osteoarthritis. Pharmacology. 2016; 98:209-216. <https://lc.cx/putOZi>

57. Stratil P, Klejdus B, Kubán V. Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. Talanta. 2007; 71(4):1741-1751. <https://lc.cx/wi11o8>

58. Campos A, Lissi E. Kinetics of the reaction between 2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) derived radical cations and phenols. Int J Chem Kinet. 1997;29(3):219-224. <https://lc.cx/1ehOOX>

59. Osman A, Wong K, Fernyhough A. ABTS radical-driven oxidation of polyphenols: isolation and structural elucidation of covalent adducts. Biochem Biophys Res Commun. 2006;346(1):321-329. <https://lc.cx/BKFitP>

60. Krishnan V, Ahmad S, Mahmood M. Antioxidant potential in different parts and callus of *Gynura procumbens* and different parts of *Gynura bicolor*. Biomed Res Int. 2015;1-7. <https://lc.cx/3YIHwK>

ACERCA DE LOS AUTORES

Pedro Zamorano-Aguilar. Candidato a Doctor en Farmacia y Salud, Universidad de Salamanca. Magíster en Ciencia de los Alimentos, Universidad Austral de Chile. Experiencia y participación en diversos proyectos asociados a compuestos funcionales, antioxidantes, y su actividad biológica. Asociado a la investigación en neurociencia cognitiva nutricional, a través del modelo biológico *Caenorhabditis elegans*, utilizado como proxy de la enfermedad del Alzheimer.

Astrid Seperiza Wittwer. Ingeniera comercial y médico veterinaria. Directora del Centro de Estudios en Llanquihue, Universidad de Santiago de Chile (CEUS, Llanquihue). Directora de diferentes proyectos de innovación social y educacionales relacionados a la alimentación saludable. Experiencia a cargo de desarrollos de dietas experimentales con énfasis en alimentación saludable. Experta en manejo presupuestario y actividades críticas propias de los proyectos de investigación aplicada.

Rubén Bustos Cerda. Bioquímico de la Universidad de Santiago de Chile. Ph.D. en Ingeniería Química de la Queen's University de Belfast, Reino Unido. Académico jornada completa en el Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos de la Universidad de Santiago de Chile. Sus líneas de investigación son texturización humedad de proteínas de legumbres para desarrollo de análogos de cortes enteros de carne, y suprareciclaje de subproductos agrícolas para uso en alimentos funcionales veganos y vegetarianos. Participación en congresos nacionales e internacionales, patentes de invención.

Benjamín Rojano. MSc en Ciencia y tecnología de los alimentos. Ph. D en Química. Docente Titular Adscrito a la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Sede Medellín. Líneas de investigación están asociadas a la química de antioxidantes, fenómenos oxidativos, síntesis química, productos naturales y biodiversidad colombiana. Publicación de artículos científicos publicados.



Biocida macerado de tabaco nicotina tabacum, control de pulguilla epitrix spp. en cultivo de papa

Biocide macerate of tobacco nicotine tabacum, control of flea epitrix spp. in potato crop

Biocida de macerado de tabaco nicotina tabacum, controlo da traça da pulga epitrix spp. na cultura da batata

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.331>

Flor Yenny Tucto Ortega
ftuctoo@undac.edu.pe

Favio Máximo Mena Osorio
fmena@undac.edu.pe

Tito Marcial Arias Arzapalo
tarias@undac.edu.pe

Iris Sánchez Baldeón
isanchezb@undac.edu.pe

Gabriela Rosenda Miranda Anticona
gmiranda@undac.edu.pe

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco, Perú

Artículo recibido: 8 de octubre 2024 / Arbitrado: 20 de noviembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del macerado de tabaco en el control de la pulguilla de la papa, la muestra fueron número de pulguillas existentes en el área neta experimental (3.2 m²). Se utilizó el diseño experimental de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 3 repeticiones, 4 tratamientos con 12 unidades experimentales. Las observaciones realizadas fueron: número de pulguilla, porcentaje de daño, grado de daño y peso de tubérculos en kilogramos por área neta experimental que posteriormente se transformó a hectárea. resultados indican el menor número de poblaciones de Epitrix spp. se obtuvieron con el tratamiento T1 con dosis de 4 litros del macerado de tabaco por 20 litros de agua, a 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días diferencias estadísticas significativas con el testigo con promedios de 1,63 a 4,17. Testigo de 5,75 a 14,31 pulguillas por planta; el daño a folíolos en promedios fue 4,16 a 18,74% y testigo 10,42 a 59,37. El daño al follaje fueron 1 a 1,87 y testigo de 1,64 a 3,12. el rendimiento por hectárea fueron 32,781.25 kg/ha, conclusions. El mayor promedio de peso de tubérculos y rendimiento estimado por hectárea, fueron de 32,781.25 kg/ha obtenidos con el tratamiento T1 con la dosis de 4 Litros de macerado de tabaco por 20 litros de agua.

Palabras clave: Biocida; Macerado; Pulguilla; Productividad; Protección sanitaria

ABSTRACT

The objective of the research work was to evaluate the effect of tobacco macerate on the control of the potato flea, the sample was the number of existing fleas in the net experimental area (3.2 m²). A completely randomized block experimental design (CSBD) was used with 3 replications, 4 treatments with 12 experimental units. The observations made were: number of flea, percentage of damage, degree of damage and weight of tubers in kilograms per experimental net area, which was later transformed to hectare. The results indicate the lowest number of populations of Epitrix spp. were obtained with the T1 treatment with a dose of 4 liters of tobacco macerate per 20 liters of water, at 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days, with significant statistical differences with the control with averages of 1.63 to 4.17. The control had an average of 5.75 to 14.31 fleas per plant; the average damage to leaflets was 4.16 to 18.74% and the control 10.42 to 59.37%. The yield per hectare was 32,781.25 kg/ha, conclusions The highest average tuber weight and estimated yield per hectare were 32,781.25 kg/ha obtained with treatment T1 with the dose of 4 liters of tobacco macerate per 20 liters of water.

Key words: Biocide; Macerate; Flea; Productivity; Sanitary protection; Health protection

RESUMO

O objetivo do trabalho de investigação foi avaliar o efeito do macerado de tabaco no controlo da pulga da batata, a amostra foi o número de pulgas existentes na área experimental líquida (3,2 m²). Foi utilizado o delineamento experimental de Blocos Completamente Casualizados (DBCA) com 3 repetições, 4 tratamentos com 12 unidades experimentais. Os resultados indicam que o menor número de populações de Epitrix spp. foi obtido com o tratamento T1 com uma dose de 4 litros de macerado de tabaco por 20 litros de água, aos 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias com diferenças estatísticas significativas em relação ao controlo com médias de 1,63 a 4,17. O controlo de 5,75 a 14,31 pulgas por planta; os danos nos folhetos em média foram de 4,16 a 18,74% e o controlo de 10,42 a 59,37. O rendimento por hectare foi de 32.781,25 kg/ha, conclusões O peso médio mais elevado dos tubérculos e o rendimento estimado por hectare foram de 32.781,25 kg/ha obtidos com o tratamento T1 com a dose de 4 litros de macerado de tabaco por 20 litros de água.

Palavras-chave: Biocida; Maceração; Pulgas; Produtividade; Proteção à saúde

INTRODUCCIÓN

La agricultura sostenible busca soluciones efectivas y amigables con el medio ambiente para el manejo de plagas que afectan la producción de cultivos esenciales. En el caso de la papa (***Solanum tuberosum***), uno de (***Epitrix spp.***). La pulguilla de la papa (*Epitrix spp.*) Conocido como también como pulguilla saltona es una especie coleóptera de la familia *Chrysomelidae* ampliamente distribuido por todo el mundo propagándose fácilmente sea por acción humana (a través del transporte de especie vegetal). Contribuye una serie plagapor los daños indirectamente (1) La pulguilla adultos se alimenta del follaje prefiriendo plantas jóvenes, en las que hace pequeñas perforaciones redondeadas en las hojas afecta la actividad fotosintética de la planta, esto origina un debilitamiento de la planta, la detención del desarrollo o perdida de la hoja se traduce en una reducción de la producción final.

En la etapa de la tuberización las larvas minan (raspan) la corteza de los tubérculos lo que desmerece su calidad comercial; además estas lesiones favorecen el ingreso de otros parásitos. Estos insectos pueden presentarse durante todo el período vegetativo del cultivo, principalmente en ciertos lugares de la sierra, aunque son más abundantes en la primera etapa, especialmente en épocas de calor, bajo clima seco y en ausencia de lluvias (2) En el trabajo de investigación, se identificó el problema el cual se percibe la necesidad de, nos centramos en el desarrollo de la investigación, la población y muestra utilizadas, así

como las técnicas de investigación. Los Resultados más relevantes de la investigación, con aplicación de la estadística como instrumento de medida. Discusión, mostrando número de pulguillas de la Papa por planta, porcentaje de folíolos dañados, grado de daño en follaje y rendimiento en las conclusiones y recomendaciones, realizamos un comprendido en relación con la investigación, el objetivo Evaluar el efecto del biocida macerado de tabaco *Nicotiana tabacum* en el control de la pulguilla ***Epitrix spp.*** Del cultivo de papa ***Solanum tuberosum L.*** variedad canchan en condiciones edafoclimáticas de la Estación Experimental de Canchan-Huánuco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de Investigación fue: Aplicada por que generó conocimientos tecnológicos expresados en la dosis óptima (4 litros, 3 ½ litros y 3 litros / mochila de 20 litros) en el control de la pulguilla de la papa a través del biocida macerado de tabaco que permitió disminuir el daño en el cultivo, que ocasiona pérdidas a los agricultores dedicados al cultivo de papa. Nivel de Investigación. Experimental porque se manipuló la variable biocida macerado de tabaco a través de dosis y se midió los efectos en el control de la pulguilla de la papa comparándose con el testigo sin aplicación del biocida. Diseño de la Investigación Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres repeticiones, cuatro tratamientos y doce unidades experimentales.

Metodología para la Preparación. Mezclar las hojas picadas de tabaco en agua, macerar por 10 días, colar sobre un recipiente, se obtuvo el macerado de tabaco para terminar siendo aplicado al cultivo con la ayuda de una mochila de fumigar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de Evaluar el efecto del biocida macerado de tabaco *Nicotiana tabacum* en el control de la pulguilla *Epitrix spp.* Del cultivo

de papa *Solanum tuberosum L.* variedad canchan en condiciones edafoclimáticas de la Estación Experimental de Canchan – Huánuco. Los datos estadísticos fueron procesados con el Análisis de Varianza (ANDEVA) a fin de establecer las diferencias significativas entre bloques y tratamientos. Para la comparación de los promedios de los tratamientos se utilizó la prueba de significación de Duncan a los niveles de significación de 5 y 1 %.

Número de pulgillas de la papa (*epitrix spp.*) por planta

Tabla 1. Niveles de ruido para una zona de comercial.

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					0,05	0,01
Repeticiones	2	0,53	0,26	1,08 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamientos	3	31,35	10,45	42,78**	4,76	9,78
Error Exp.	6	1,47	0,24			
Total	11	33,35				

(CV) es 12,00% (Sx) 0,39.

Según indica en la Tabla 1, los resultados respecto al número de pulguilla de la papa por planta a los 15 días de la siembra indican que no existe significación estadística para la fuente de

variabilidad repeticiones y alta significación para tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) es 12,00% y la desviación estándar (Sx) 0,39.

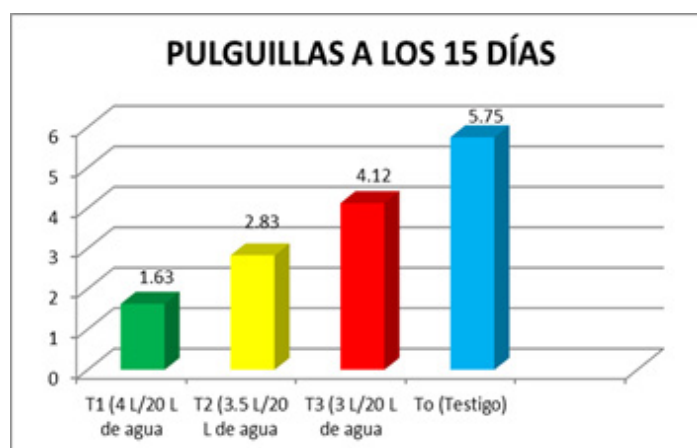


Figura 1. Número de pulgillas de la papa por planta a 15 días de la siembra.

Según la Figura 1. Indica el mayor número de pulguitas de la papa por planta se obtuvo en el tratamiento T0 (5,75), siendo el tratamiento T1 el más eficaz, quien reportó el menor número de pulguitas (1,63), indica la efectividad del tratamiento.

Foliolos dañados por área neta experimental

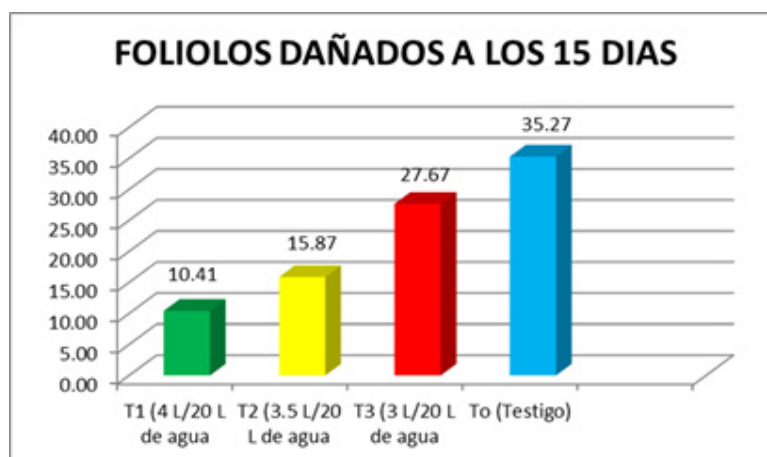


Figura 2. Porcentaje de foliolos dañados a los 15 días.

Según la Figura 2, indica el porcentaje de foliolos dañados a los 15 días lo obtuvo el tratamiento T0 (testigo) alcanzando el 35,27 % y el T1 reportó el menor porcentaje de daño con 10,41 %, siendo más eficaz su control.

Grado de daño en follaje por área neta experimental

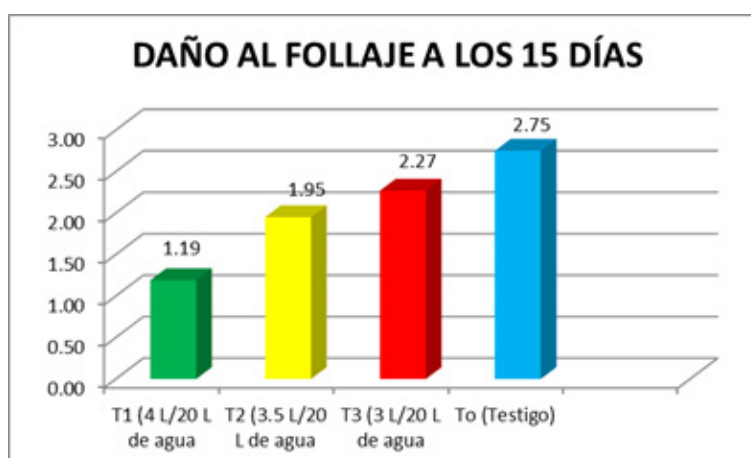


Figura 3. Grado de daño en follaje por área neta experimental a los 15 días de la siembra.

Peso de tubérculos por área neta experimental

Tabla 2. Análisis de varianza para rendimiento por área neta experimental.

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	Ft	
					0,05	0,01
Repeticiones	2	0,43	0,21	0,58 ^{ns}	5,14	10,92
Tratamiento	3	42,64	14,21	39,20 ^{**}	4,76	9,78
Error Exp.	6	2,23	0,37			
Total	11	45,30				

C.V. = 4,69% Sx: = 0,35

Según indica la Tabla 2, Se muestra Los resultados respecto al peso de tubérculos por área neta experimental indican que no existe significación estadística para la fuente de

variabilidad repeticiones y alta significación para tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) es 4,69% y la desviación estándar (Sx) 0,35.

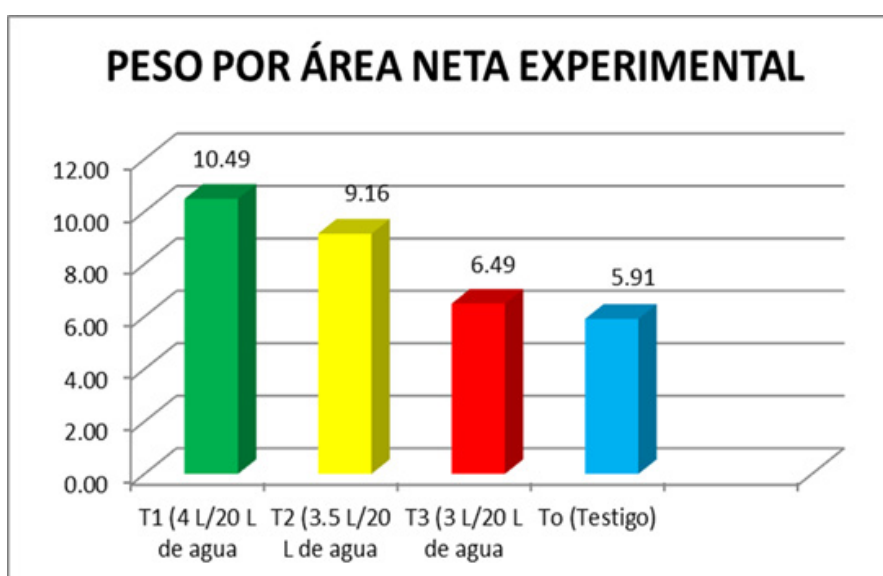


Figura 4. Peso de papa por área neta experimental.

Según se indica en la Figura 4, la prueba de Significación de Duncan confirma los resultados del Análisis de Varianza donde al nivel del 0,05 de nivel de significación el tratamiento T_1 supera

estadísticamente a los demás tratamientos. Al nivel del 0,01 de nivel de significancia los tratamientos T_1 y T_2 estadísticamente son iguales y superan a los demás tratamientos.

Discusión

Los resultados indican que existe diferencias estadísticas significativas en número de pulguillas de papa por planta, evaluados cada 15 días (6 evaluaciones) donde el tratamiento T1 (Dosis 4 Litros de macerado de tabaco por 20 litros de agua) reportó 1,63; 3,54; 3,91; 4,17; 3,25 y 3,71 pulguillas por planta respectivamente, obteniendo los promedios más bajos respecto a los demás tratamientos. El efecto del biocida en el control de la pulguilla de la papa donde la aplicación del macerado de tabaco ejerce control sobre la población de *Epitrix*., lo cual coincide (3) menciona que los insecticidas naturales son sustancias tóxicas que se pueden extraer de las hojas, tallos, semillas o raíces de varias plantas que se encuentran en nuestro campo.

El control ecológico de plagas y enfermedades es restablecer el equilibrio biológico del agroecosistema, mediante el uso de prácticas que se basen en el conocimiento del ecosistema agrícola y de los factores socioeconómicos y de la toma de decisión de los productores. Esto es confirmado por (4) quién indica que la protección sanitaria es un conjunto de decisiones y medidas que adopta el productor para evitar que la población o cantidad de plagas y enfermedades superen el umbral del daño económico. El tratamiento T1 (dosis de 4 Litro de macerado de tabaco por 20 litros de agua) evaluados cada 15 días (6 evaluaciones) obtuvo resultados de

10,41%; 18,74%; 14,59%; 10,41%; 8,33% y 4,16% de folíolos dañados por área neta experimental que son los promedios más bajos de todos los tratamientos; mientras que el tratamiento testigo T0 obtuvo los porcentajes más altos de folíolos dañados con: 35,17 %; 59,37 %; 54,15 %; 43,72 %; 68,62 % y 10,42 %.

El daño más alto se produjo a los 30 días después de la siembra confirmando (5) el adulto de *Epitrix spp.* se alimenta del follaje prefiriendo plantas jóvenes, en las que hace pequeñas perforaciones redondeadas en las hojas. Estos insectos pueden presentarse durante todo el período vegetativo del cultivo, principalmente en ciertos lugares de la sierra, aunque son más abundantes en la primera etapa, especialmente en épocas de calor, bajo clima seco y en ausencia de lluvias. (7) menciona las diferentes prácticas culturales para reducir la población de la pulguilla de la papa en el campo. Roturación del suelo en campos recién cosechados, roturación del suelo en campos con cultivos de papa abandonados y empleo de barreras vegetales (plantas biocidas).

El tratamiento T₁ obtuvo los grados de daños más bajos en las seis evaluaciones que fueron: 1,19; 1,87; 1,32; 1,20; 1,00 y 1,00. Por área neta experimental que según la escala de evaluación está considerado como ausencia de daño. El tratamiento testigo T₀ obtuvo los resultados más altos en todas las evaluaciones: 2,75; 3,12; 2,87; 2,55; 1,75 y 1,64. Según la escala de evaluación, a

los 30 días después de la siembra alcanzó el grado de daño más alto, ubicándose en la categoría de daño moderado. De igual manera Sánchez (2003) quien recomienda para el control de las pulgillas de la papa aplicar insecticidas poco después de la emergencia para evitar la disminución del rendimiento. (8) el adulto de *Epitrix spp.*, se alimenta de los cogollos y al expandirse la hoja se observan huecos de diferentes tamaños, o bien cicatrices redondas y claras en el haz de la hoja, cuando son muy abundantes y las plantas recién germinadas, destruyen gran parte del área foliar y el cultivo sufre daños considerables.

Resultados sobre el efecto de los biocidas son confirmados por Cárdenas (6) quién realizó un estudio en la Estación experimental agrícola “San Camilo”, utilizando una mezcla del sustrato de cola de caballo y ortiga para el control de mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*) en el cultivo de papa var. Canchán; concluyendo que el sustrato preparado con las plantas biocidas tuvo efecto bastante rápido en el control de adultos produciéndoles la muerte y el porcentaje de daño en el follaje sólo llegó a un 10 – 12%, frente a un 40% de daño foliar para el caso del testigo.(9) en experimento a nivel de campo en la provincia de Lima, evaluó la efectividad del extracto de cinco plantas; concluyendo que el jugo de la pepa de palto tuvo mayor efecto sobre *Epitrix subcrinita*, (44,72) Chamico sobre *Empoasca kraemery*, (70,64) *Lobelia ducurrents* en *Myzus persicae* (69,83) y

Chocho sobre *Diabrotica undecipunctata*, con (53,65) porcentaje de mortalidad respectivamente.

Rendimiento

Los resultados indican que el tratamiento T1 reportó 10,49 kg y para el tratamiento To 5,91 kg, resultados que al ser transformados a hectárea se obtuvo 32,781.25 kg/ha para el tratamiento T1 y 18,468.75 para el testigo T0. Los resultados fueron superiores a los reportados por Vega (2010), quien al evaluar el efecto del manejo fisionutricional en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad Canchán INIAA en condiciones agroecológicas de Huacrachuco, Marañón Huánuco, concluye que el mejor rendimiento de tubérculos de primera por hectárea fue de 27,603.4 kg/ha, de segunda 10,069.2 y de tercera 9,652.5. (10), quien al evaluar el efecto de la fertilización en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad Canchán INIAA en condiciones agroecológicas de Huacrachuco, Marañón”; concluye que el mejor rendimiento por hectárea de tubérculos de primera fue de 28,645.07, de segunda 9,687.23 y de tercera 9,374.74 kg/ha

CONCLUSIONES

El desarrollo del trabajo de investigación se obtuvo las conclusiones con dosis de 4 Litros de macerado de tabaco por 20 litros de agua tuvo efecto significativo al obtener el menor número de

pulguillas *Epitrix* spp adultos vivos en el cultivo de papa. Con dosis de 4 Litros de macerado de tabaco por 20 litros de agua tuvo efecto significativo al obtener el menor porcentaje de foliolos dañados en el cultivo de papa. El tratamiento de la dosis de 4 litros de macerado de tabaco por 20 litros de agua tuvo efecto significativo al obtener el menor grado de daño en follaje del cultivo de papa. El mayor promedio de peso de tubérculos y rendimiento estimado por hectárea, fueron de 32,781.25 kg/ha, obtenidos con el tratamiento T₁ con la dosis de 4 Litros de macerado de tabaco por 20 litros de agua.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico porque es autorizado por la tesista como responsable de la ejecución del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar F. Apuntes sobre el control biológico y el control integrado de plagas agrícolas en el Perú. Revista Peruana de Entomología, 1980; 23 (1)83.110. <https://lc.cx/ceUpZk>
2. Avendaño E. Cuidemos el Medio Ambiente "Control de Plagas y Enfermedades con Plantas Biocidas y Repelentes" DONOSO Huaral – Perú.2005; 205.
3. Bonilla R. Consideraciones generales y específicas para la obtención de los componentes activos de plantas con propiedades biocidas. UNMSM – Perú. 1993;80.
4. Calai R. Manejo Agronómico de la Papa, experiencia Chilena. Primer festival y Conferencia Internacional de la Papa. Santiago – Chile. 2001; 180
5. Capillo P. Efecto del biocida sumo de cabuya Agave americana L. en el control de la pulgilla *Epitrix* spp. del cultivo de papa *Solanum tuberosum* L. variedad Canchan en condiciones agroecológicas de Huacrachuco. Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco. 2010; 95 p.
6. Cárdenas G. Control de adultos de mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*) en el cultivo de papa variedad Canchan a base de insecticidas de origen vegetal. Estación Experimental "San Camilo" ICA – Perú.1993; 65.
7. Centro Internacional de la Papa. Serie Manual N° 07. Control de Plagas y Enfermedades en Cultivos de Importancia. Lima – Perú.2006; 123.
8. Cisneros V. Principios del Control de las plagas agrícolas. UNALM – Lima. Perú. Edit. Universitaria. 1980; 150. <https://lc.cx/q6P54Q>
9. Contreras L. Uso de la penca azul para el control de polillas y ranca en el cultivo de papa DIACONIA.1993.2; 23.
10. Dale E. Bases para el descubrimiento y la utilización de productos naturales derivados de las plantas en el control de plagas. UNALM, Lima – Perú.1993; 68.

ACERCA DE LOS AUTORES

Flor Yenny Tucto Ortega. Doctor en medio ambiente y Desarrollo Sostenible. Docente en la en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco, Escuela de formación profesional de Agronomía, Perú.

Favio Máximo Mena Osorio. Doctor en Geología de la escuela profesional de ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cerro de Pasco. Experiencia en el mundo de la investigación en el área de la Geología. Docente de planta nombrado de categoría principal, Perú.

Tito Marcial Arias Arzapalo. Doctor en Ingeniería Ambiental de la escuela profesional de ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cerro de Pasco. Experiencia en el mundo de la investigación en el área de medio ambiente Desarrollo sostenible, docente de planta nombrado de categoría principal, con cargo de Decano, Perú.

Iris Sánchez Baldeón. Docente en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco, Escuela de formación profesional de Agronomía, Perú.

Gabriela Rosenda Miranda Anticona. Magister en medio ambiente y Desarrollo Sostenible. Docente en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco, Escuela de formación profesional de Agronomía, Perú.



Efecto de la hora de colecta e índice temperatura-humedad sobre las características seminales porcinas

Effect of collection time and temperature-humidity index on porcine semen characteristics

Efeito do tempo de coleta e do índice de temperatura e umidade nas

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.332>

Adrian Israel Vergara-Moncayo
adrian.vergara@espam.edu.ec

Carlos Octavio Larrea-Izurietta
clarrea@espam.edu.ec

Jexon Stalin Centeno-Mendoza
jexon.centeno@espam.edu.ec

Marco Antonio Alcívar-Martínez
marco.alcivar@espam.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López". Calceta, Ecuador

Artículo recibido: 6 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

La calidad seminal en porcinos es un campo de investigación en la producción porcina, ya que tiene un impacto directo en la eficiencia reproductiva y, por consiguiente, en la rentabilidad de las granjas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del índice de temperatura y humedad (ITH) sobre las características seminales porcinas colectadas en diferentes horarios. El enfoque es cuantitativo, descriptivo, diseño experimental. Se realizó en la Unidad de Docencia, Investigación y Vinculación Hato Porcino de la ESPAM-MFL. Materiales y métodos: Se usaron tres verracos mestizos y se extrajo un eyaculado de cada animal semanalmente durante 14 semanas. La unidad experimental fue el eyaculado extraído individualmente. Se evaluó volumen de eyaculado, concentración espermática, motilidad masal, motilidad individual y rectilínea, vitalidad, pH y morfología espermática. Se aplicó un modelo lineal general mixto considerando la hora de colecta e ITH como efectos fijos y los verracos como efecto aleatorio. Las horas de colecta fueron a las 8:00 h, 12:00 h y 16:00 h. Los resultados registraron una temperatura ambiental promedio de $29,24 \pm 3,13$ °C, acompañada de una humedad relativa promedio de $81,14 \pm 13,02$. El ITH presentó un valor promedio de $80,69 \pm 3,25$, lo que indica presencia de estrés calórico durante el experimento. Sin embargo, las variables macroscópicas y microscópicas del eyaculado porcino no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$), a pesar de ello, se observó que el volumen del semen variaba en función del horario de colecta. Se concluye que el ITH dentro del rango evaluado en este estudio, no afecta la calidad espermática.

Palabras clave: Biotecnología; Colecta; Macroscópico; Reproducción; Termorregulación

ABSTRACT

Semen quality in pigs is a field of research in pig production, as it has a direct impact on reproductive efficiency and, consequently, on farm profitability. The objective of the study was to evaluate the effect of the temperature and humidity index (THI) on the characteristics of pig semen collected at different times. The approach is quantitative, descriptive, experimental design. It was carried out at the Teaching, Research and Pig Herd Linkage Unit of ESPAM-MFL. Materials and methods: Three crossbred boars were used and an ejaculate was extracted from each animal weekly for 14 weeks. The experimental unit was the ejaculate extracted individually. Ejaculate volume, sperm concentration, mass motility, individual and rectilinear motility, vitality, pH and sperm morphology were evaluated. A mixed general linear model was applied considering the collection time and THI as fixed effects and the boars as a random effect. The collection times were 8:00 h, 12:00 h and 16:00 h. The results recorded an average environmental temperature of 29.24 ± 3.13 °C, accompanied by an average relative humidity of 81.14 ± 13.02 . The THI presented an average value of 80.69 ± 3.25 , which indicates the presence of heat stress during the experiment. However, the macroscopic and microscopic variables of the boar ejaculate did not show significant differences ($p > 0.05$), despite this, it was observed that the semen volume varied depending on the collection time. It is concluded that the THI within the range evaluated in this study does not affect sperm quality.

Key words: Biotechnology; Collection; Macroscopic; Reproduction; Thermoregulation

RESUMO

A qualidade do sêmen em suínos é um campo de pesquisa na produção suína, pois tem impacto direto na eficiência reprodutiva e, consequentemente, na lucratividade da fazenda. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do índice de temperatura e umidade (ITU) nas características do sêmen suíno coletado em diferentes momentos. A abordagem é quantitativa, descritiva, de delineamento experimental. Foi realizado na Unidade de Ensino, Pesquisa e Articulação Suinocultor da ESPAM-MFL. Materiais e métodos: Foram utilizados três javalis mestiços e um ejaculado foi extraído de cada animal semanalmente durante 14 semanas. A unidade experimental foi o ejaculado extraído individualmente. Foram avaliados o volume ejaculado, a concentração espermática, a motilidade da massa, a motilidade individual e retilínea, a vitalidade, o pH e a morfologia espermática. Foi aplicado um modelo linear geral misto considerando o tempo de coleta e o ITH como efeitos fixos e os javalis como efeito aleatório. Os horários de coleta foram às 8h, 12h e 16h. Os resultados registraram uma temperatura ambiente média de $29,24 \pm 3,13$ °C, acompanhada de uma umidade relativa média de $81,14 \pm 13,02$. O ITH apresentou valor médio de $80,69 \pm 3,25$, o que indica a presença de estresse térmico durante o experimento. Entretanto, as variáveis macroscópicas e microscópicas do ejaculado suíno não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$), apesar disso, observou-se que o volume do sêmen variou em função do momento da coleta. Conclui-se que o ITH dentro da faixa avaliada neste estudo não afeta a qualidade do esperma.

Palavras-chave: Biotecnologia; Coleção; Macroscópico; Reprodução; Termorregulação

INTRODUCCIÓN

El estudio de la calidad seminal en porcinos es un campo de investigación de gran relevancia en la producción porcina, ya que tiene un impacto directo en la eficiencia reproductiva y, por ende, en la rentabilidad de las granjas. En este contexto, la hora de colecta y las condiciones ambientales, específicamente el índice temperatura-humedad, han sido identificadas como factores que pueden influir significativamente en las características seminales.

La frecuencia e intensidad de los cambios climáticos se ha convertido actualmente en una de las principales problemáticas que afrontan las producciones porcinas (1). Aquello se puede evidenciar mediante los resultados de un estudio (2) en el cual se pudo evidenciar que los cerdos son hipersensibles a las altas temperaturas ambientales por su elevada producción de calor metabólico basal, el rápido crecimiento en la etapa de desarrollo y también por sus glándulas sudoríparas funcionales atrofiadas. Esto se ve agravado por sus pulmones relativamente pequeños, por lo cual utilizan el jadeo como mecanismo para disipar el calor corporal a través de la respiración (3, 4).

En este sentido, algunos autores (5) manifestaron que en las regiones cálidas del mundo los cerdos están sometidos a un estrés térmico. Dicho esto, la rentabilidad de las granjas porcinas se vería afectadas en sus costos e ingresos de inversión (6). En función de lo planteado, las

nuevas líneas genéticas de cerdos producen casi un 20% más de calor que las razas de principios de los años 1980 (7, 8). Asimismo, por medio de un estudio efectuado (9) se expuso que, el aumento de la productividad porcina a través del tiempo enfrenta un mayor riesgo de sufrir estrés térmico, considerando que uno de los principales signos del estrés calórico es la disminución del consumo voluntario de alimento (10).

Cabe resaltar, que en las regiones ecuatoriales los efectos de la temperatura y la humedad dominan la estacionalidad, con un impacto limitado atribuido a los cambios en la duración del día (11, 12). Por lo tanto, estos efectos en la parte reproductiva de los verracos pueden desencadenar el síndrome de sufrimiento testicular que se manifiesta por la disminución de espermatozoides viables, reducción en la motilidad, aumento en la aglutinación y una mayor incidencia de células anormales que repercute severamente en su fertilidad (13, 14).

Ahora bien, la descripción de los factores adversos tiene un impacto significativo en las funciones reproductivas de los cerdos, lo que conlleva directamente a un detrimento en el bienestar del animal (15). Por otra parte, la alta humedad también provoca la propagación de bacterias y enfermedades infecciosas (16). En este contexto, resulta fundamental adoptar estrategias de mitigación más eficaces frente a los efectos perjudiciales de las altas temperaturas y la humedad. Así pues, existen dos métodos

(enfriamiento nasal y refrescamiento por goteo) que permiten el flujo de aire a la temperatura circundante posibilite a los cerdos la humectación de su piel, lo cual se ha demostrado como un procedimiento efectivo (17).

Los estudios llevados a cabo por Olivera, et al. (18) exponen cómo el estrés calórico ejerce efectos perjudiciales en la industria porcina, provocando pérdidas económicas y de productividad significativas. De manera similar, en una investigación realizada por Ek-Mex (19), sugieren la implementación de técnicas de enfriamiento para reducir el estrés térmico en ambientes de altas temperaturas, lo que a su vez contribuye a alcanzar niveles óptimos en la producción porcina. Con base a lo planteado, se comprueba que estas técnicas de ventilación garantizan una mejor condición de bienestar, permitiendo expresar comportamientos naturales que a su vez ofrece un ambiente dentro de los límites de termorregulación (20).

Ante lo anterior expuesto, este estudio se justifica por la necesidad de generar conocimiento científico sobre el efecto del ITH en la calidad seminal de verracos bajo condiciones tropicales, donde las altas temperaturas y humedad son comunes, por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento del índice temperatura- humedad sobre las características seminales porcinas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación es de enfoque cuantitativo, descriptivo, de diseño experimental, se realizó en

la Unidad de Docencia Investigación y Vinculación (UDIV) Hato Porcino y en el Laboratorio de Biotecnología de la Reproducción Porcina de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” (ESPAM- MFL) ubicada en el Limón, cantón Bolívar, parroquia Calceta, situado geográficamente entre las coordenadas 00 49’45” de Latitud Sur 800 11’08” de Longitud Oeste, y a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar. Además, presenta las características climáticas de precipitación media anual 996,7 mm, temperatura media anual 26,05 °C, humedad relativa anual 81,40% y heliofanía anual de 1109,80 horas/sol (Estación Meteorológica de la ESPAM MFL, 2024). La unidad experimental se consideró la dosis seminal que se extrajo de tres verracos mestizos de 18 meses de edad y 150 kg de peso vivo promedio que rotaron semanalmente en función de las horas de extracción del eyaculado durante 14 semanas, en total se obtuvieron 42 unidades experimentales. El material seminal se colectó a las 8:00 h, 12:00 h y 16:00 h.

Procedimiento experimental

Los valores de temperatura ambiental en bulbo seco (TDW) y humedad relativa (HR) se obtuvieron con un termómetro/hidrómetro de doble sonda modelo IAT50 antes y después de la colecta; para calcular la temperatura ambiental en bulbo húmedo (TWB), se aplicó la ecuación (21) como sigue:

$$T_{WB} = T_{DB} * \tan^{-1}(0,151977 * \sqrt{(HR + 8,313659)}) + \tan^{-1}(T_{DB} + HR) - \tan^{-1}(HR - 1.676331) + 0,00391838 * HR^{3/2} * \tan^{-1}(0,023101 * HR) - 4,686035$$

Donde:

T_{DB} = Temperatura ambiental en bulbo seco (°C)

T_{WB} = Temperatura ambiental en bulbo húmedo (°C)

HR= Humedad relativa (%)

Los datos obtenidos de las condiciones climáticas, como la temperatura seca (T_{DB}), la temperatura húmeda (T_{WB}) y la humedad relativa (HR), se utilizaron para calcular el índice de temperatura y humedad (ITH). Según Licona (22), el umbral de confort para los cerdos se define cuando el ITH es inferior a 75 unidades. Valores superiores a este se clasifican en tres niveles: leve ($75 \leq ITH < 79$), moderado ($79 \leq ITH < 83$) y peligroso ($ITH \geq 83$). Este valor combina la temperatura ambiente y la humedad relativa, se aplicó la ecuación indicada por De Prekel et al. (21,22) como sigue:

$$ITH = 0,72 * T_{DB} + 0,72 * T_{WB} + 40,6$$

Donde:

ITH= Índice temperatura-humedad

T_{DB} = Temperatura ambiental en bulbo seco (°C)

T_{WB} = Temperatura ambiental en bulbo húmedo (°C)

A la hora prevista, se realizaron las colectas de semen programadas de cada verraco según el horario que le correspondió en la rotación semanal en área de colecta. Para la recolección de semen, se utilizó la técnica de mano enguantada, siguiendo un protocolo establecido por Córdova et al. (23), que abarca los siguientes pasos: asegurar que el recipiente (termo) esté identificado con el número del verraco; esperar que el pene sobresalga del prepucio mientras el verraco se excita sobre el potro; tomar el pene con la mano (sin apretar) para que el verraco se acostumbre al contacto; mantener el pene horizontalmente para evitar derrames sobre las manos, capaces de contaminar la colecta; excitar la extremidad del pene con los dedos pulgar o meñique; cuando el pene sobresalga del prepucio, apretar la extremidad del pene teniendo la precaución de dejar sobrepasar la punta fuera de la mano.

Al comienzo de la eyaculación se debe seguir apretando la extremidad del pene, aplicando presión discontinua para estimular la eyaculación. Desechar la primera parte del eyaculado (fracción pre-espermática: fluido claro, acuoso y con elevado recuento bacteriano). Recoger la fracción siguiente

(fracción espermática, rica en espermatozoides, reconocible como un fluido blanquecino) en un vaso de cartón tapado con gasa. Esta porción contiene el 80-90% de todas las células espermáticas presentes en el eyaculado. La emisión deberá ser recolectada hasta que su aspecto cambie a un fluido más claro y acuoso (fracción post-espermática), el cual deberá ser desechado. Es necesario llegar siempre al final de la eyaculación, que dura de 5 a 20 minutos, y esperar la retractación del pene. Una vez colectado el semen, se tapó el vaso de colecta con tapa enroscable para evitar que ingresen microorganismos que puedan contaminar el material genético. Las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio de la UDIV y se llevó a cabo la evaluación macroscópica, la cual se determinó mediante varios parámetros:

Volumen total: se interpreta como la suma del volumen de la fracción rica en espermatozoides, siguiendo el método de Sorensen (24). Para esto, se colocó la muestra seminal en una probeta graduada con capacidad de 500 mL, y se utilizó una balanza digital para medir el volumen total del eyaculado.

Concentración espermática: Cantidad de espermatozoides presentes en un mililitro de semen. Para determinar esta concentración, se tomó una gota de 0.5 µl de semen utilizando una jeringa y se depositó en una microcubeta. Esta microcubeta se ubicó en el fotómetro digital mini lüb® para determinar la cantidad de espermatozoides presentes en el eyaculado, lo cual es un indicador importante para evaluar la calidad y fertilidad del semen (25).

Motilidad masal: refiere al movimiento masivo de los espermatozoides, el cual se caracteriza por la aparición y desaparición rápida de remolinos, también conocidos como olas espermáticas. Para llevar a cabo esta evaluación, se colocó 0.5 µl de eyaculado en un portaobjetos temperado, observándose sin cubreobjetos bajo un aumento de 10x en un microscopio de campo claro. Durante la observación, se registraron los movimientos ondulatorios de los espermatozoides, los cuales fueron calificados de acuerdo con la velocidad de desplazamiento, siguiendo las categorías definidas en la Tabla 1 (26).

Tabla 1. Evaluación del eyaculado de cerdo según la motilidad masiva según Holý.

Motilidad masal	Descripción	Porcentaje de espermatozoides vivos (%)
MM	En el campo microscópico no se encuentran remolinos. Los espermatozoides están sin movimiento, o está muy débil.	Menos de 10
MM+	Los remolinos son muy lentos y suaves y la vitalidad está muy disminuida o hay gran cantidad de espermatozoides muertos.	10 – 40
MM++	Movimientos masivos bien definidos, formación rápida de remolinos.	40 – 60
MM+++	Movimiento masivo muy intenso con formación y desaparición rápida de remolinos.	Más 60

Fuente: Holý (26).

pH: refiere a la medida de acidez o alcalinidad del líquido seminal, y un eyaculado recién obtenido puede presentar valores de pH que oscilan entre 6.4 y 7.4, sin embargo, esta medida puede variar debido al tiempo transcurrido, contaminación bacteriológica, manipulación y concentración y está influenciado por lo que aportan las glándulas anexas. (27). Para determinar el pH, se realiza la lectura en la fracción rica utilizando una cinta pH, para lo cual se toma una pequeña cantidad de semen y se sumerge la cinta en la muestra. Tras unos segundos, se compara el color resultante con la escala de referencia proporcionada en el envase de la cinta, lo que permite establecer el pH exacto.

Motilidad individual y rectilínea: refieren a la capacidad de movimiento de los espermatozoides. Para evaluar esta motilidad, se colocó una gota de 0.5 µl de eyaculado sobre un portaobjeto precalentado a 37 °C., cubriendo la gota con una lámina cubreobjeto para ser llevada al microscopio

MEIJI® y observar los movimientos rectilíneos normales de los espermatozoides y se clasificó de acuerdo con lo indicado en la Tabla 2. Además, se evaluó el porcentaje de células con movimiento individual progresivo en la muestra de acuerdo con la escala propuesta por Zemjanis (28).

Vitalidad espermática: refleja la proporción de espermatozoides vivos en una muestra de semen. Para determinar este parámetro, se tomó una gota de 0.5 µl de semen, la cual se colocó en una lámina portaobjetos junto con una gota de eosina-nigrosina para realizar un frotis; posteriormente, se dejó secar durante unos minutos antes de observar la muestra bajo el microscopio MEIJI® con un aumento de 40x. Se contabilizaron 100 células espermáticas, considerando vivos a los espermatozoides que tienen su membrana celular intacta y a los muertos se los reconocerá cuando su membrana se tiñe de color rosa o rojo (29).

Tabla 2. Clasificación de la calidad del movimiento individual progresivo de los espermatozoides.

Descripción	%
Muy buena	80 – 100
Buena	60 – 80
Regular	40 – 60
Pobre	20 – 40

Morfología espermática: refiere a la forma, estructura y características de los espermatozoides presentes en el semen de los cerdos. Para ello, se colocó una gota de eosina-nigrosina en un extremo de una lámina portaobjeto precalentada

a 37 °C. A continuación, se añadió 0.5 µl de semen y se mezcló cuidadosamente para obtener una muestra homogénea; luego, se extendió la muestra siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la evaluación de la vitalidad y mortalidad espermática.

Análisis estadístico

Se obtuvo los estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos y coeficiente de variación) de cada variable, se comprobó los supuestos de normalidad con el test de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas con el test de Levene. Para el análisis de las variables de temperatura ambiental e índice de temperatura-humedad se aplicó un diseño completamente al azar y se separó las medias con la prueba de Tukey al 95% de confianza y se aplicó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta

μ = Promedio general

T_i = Efecto i-ésima hora de colecta

e_{ij} = Efecto residual

Para la humedad relativa se aplicó la prueba de Kruskal -Wallis y se separó las medianas con la prueba de Dunn y para el análisis de las variables macro y microscópicas de semen se aplicó un modelo lineal general mixto considerando los horarios de colecta y el índice temperatura-humedad en forma categórica como efectos fijos y los verracos como efecto aleatorio.

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta

μ = Promedio

A_i = Efecto aleatorio i-ésimo verraco

B_j = Efecto fijo del j-ésimo tratamiento.

C_k = Efecto fijo de k-ésimo del índice temperatura-humedad categórica (ITH)

e_{ijkl} = Efecto residual

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables climáticas

En la Tabla 3, se observa los estadísticos descriptivos de las variables climáticas: temperatura (Ta), humedad relativa (HR) e índice de temperatura y humedad (ITH). Durante las 14 semanas del estudio, la Ta promedio fue de $29,24 \pm 3,13$ °C; en zonas tropicales, la evaluación del semen porcino en entornos controlados con temperaturas que oscilan entre 26 y 34 °C permite obtener una calidad seminal óptima, aunque se observa un ligero incremento en las anormalidades morfológicas, las cuales se mantienen dentro de límites aceptables (30). La HR presentó un promedio del $81,14 \% \pm 13,02$, estos resultados se mantuvieron dentro de los rangos normales, excepto durante la semana 7, en la cual la humedad se situó por debajo del rango aceptable de 60 a 90 % (31).

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de las variables climáticas e índice de temperatura-humedad.

Variable	N	Media	DE	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
Ta (°C)	42	29,24	3,13	24,00	35,00	29,50	27,00	32,00
HR (%)	42	81,14	13,02	55,00	99,00	79,50	72,50	92,25
ITH	42	80,69	3,25	75,09	86,31	80,53	78,44	83,47

Ta = Temperatura ambiental; HR = Humedad relativa; ITH = Índice de temperatura-humedad; n = Número de datos; DE= Desviación estándar; Min= Valor mínimo; Max=Valor máximo; Q1 = Primer cuartil; Q3 = Tercer cuartil.

Variables climatológicas e índice de temperatura-humedad

En la Tabla 4, se observa el análisis estadístico de las variables climáticas en función de la hora de colecta de semen durante el tiempo que duró la investigación, las variables Ta e ITH cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, mientras que la HR no cumplió con la normalidad;

todas las variables climatológicas y el índice de ITH presentaron diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) durante la recolección de datos en los diferentes horarios. El horario óptimo para la recolección se identificó a las 08:00 a.m. con promedios de Ta de $26,14 \pm 2,03$ °C, ITH de $77,40 \pm 2,18$ y una mediana de $99,00 \pm 18,00\%$ de HR, además, este horario difirió de los demás.

Tabla 4. Análisis de las variables climatológicas e índice de temperatura-humedad.

Hora	N	Ta (°C)			HR (%)			ITH	
		Media	DE		Mediana	RIC		Media	DE
8:00	14	26,14	2,03	b	99,00	18,00	B	77,40	2,18
12:00	14	31,64	2,27	a	77,00	7,00	A	83,39	2,15
16:00	14	29,93	2,13	a	76,00	20,00	A	81,28	1,98

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia altamente significativa; Ta = Temperatura ambiental; HR = Humedad relativa; ITH = Índice de temperatura-humedad; n = Número de datos; DE= Desviación estándar; RIC = Rango intercuartílico.

Se observó antagonismo entre los resultados de la Ta y la HR y tienden a aumentar el ITH, otras investigaciones explican que cuando aumenta la Ta, también aumenta la HR y el ITH (32-34). En un estudio publicado por Peña (35), tuvieron valores con mayor humedad a las 6 am durante la parte más fría del día, en comparación a los valores reportados a las 3 pm, que fue la más calurosa para todas las estaciones. En este sentido, la temporada

alta de lluvias tuvo mañanas más húmedas que la temporada seca tardía y tardes más húmedas que la temporada seca temprana.

Los verracos necesitan condiciones ambientales con Ta de 18 a 22 °C y una HR del 75 % para garantizar una óptima producción de semen. Además, en muchas zonas tropicales, donde las temperaturas promedio superan los 34 °C en las horas más calurosas, cumplir con estos parámetros

es un desafío, ya que resulta difícil reducir la temperatura por debajo de los 28 °C en el período más cálido del día de 10:00 a.m. a 16:00 p.m. (36). Sin embargo, no existe evidencia clara del efecto del clima sobre las características seminales de reproductores porcinos alojados en ambiente tropical cálido por periodos prolongados (37).

Parámetros macroscópicos del semen porcino

Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 5, es importante mencionar que no se observan diferencias significativas ($p>0,05$) en los parámetros macroscópico en semen porcino en relación con la hora de colecta. Esto indica que,

a lo largo de las 14 semanas, la temperatura y la humedad relativa no tuvieron un impacto en las variables macroscópicas evaluadas, como el volumen, concentración, número de dosis por eyaculado y pH en los diferentes horarios de colecta. Además, este estudio determinó que el volumen y la concentración son factores clave para establecer cuántas dosis seminales pueden obtenerse de un eyaculado. Se observó también que el volumen a las 16:00 horas está asociado a un ITH de riesgo, mientras que la concentración a las 12:00 horas, el número de dosis a las 16:00 horas y el pH también presentan variaciones bajo estas condiciones.

Tabla 5. Promedio y desviación estándar del efecto de la hora de colecta sobre los parámetros macroscópicos del semen

Hora	n	Volumen (mL)	Concentración	Dosis	pH
08:00	14	175,29±56,83	366,50±78,12	18,43±5,09	7,39±0,45
12:00	14	177,43±73,06	389,14±67,56	18,07±6,75	7,50±0,48
16:00	14	160,43±51,97	368,64±71,88	17,14±6,63	7,57±0,55
p-valor		0,4479	0,7074	0,5286	0,5795

n= Número de datos; p-valor = Valor de probabilidad.

En este estudio se obtuvo un promedio de un volumen moderado de 169.59 ml, ubicado dentro del rango normal de 150- 200 ml (38). Sin embargo, en un estudio efectuado señalaron que el volumen disminuye en los meses cálidos de mayo, junio, julio y agosto, mientras que en los meses fríos de octubre, noviembre y diciembre se presentó un incremento del mismo (39). Esto representa, que en

los meses cálidos el volumen seminal experimenta un descenso debido a la afectación de la temperatura sobre la espermatogénesis, mientras que unas investigaciones realizadas indicaron que la producción total de espermatozoides es mayor durante los meses fríos, esto significa, que los cambios de temperatura pueden influir en la actividad reproductiva de los machos (40). Además,

el volumen, aunque no parece estar relacionado con la fertilidad sí condiciona el número total de espermatozoides (41).

Sin embargo, los resultados obtenidos de la concentración espermática no coinciden con el estudio realizado por Colenbrander y Kemp quienes sostienen que, en los meses cálidos presentaron una disminución (42). Esto indica que todas estas variaciones están relacionadas estrechamente con la temperatura y humedad ambiental, asimismo, es importante indicar que la cantidad de espermatozoides está directamente asociada con la tasa de dilución seminal y el número de dosis obtenidas de un eyaculado.

Por otro lado, los promedios obtenidos del pH se encontraron dentro de los valores normales que fluctúa entre 7.2 y 7.5 (43), mientras que a las 16 horas si se observa un ligero incremento en el pH. Sin embargo, se encontró un aumento de pH en el eyaculado de los cerdos que estuvieron en clima cálido (44). Esto es debido a que el plasma seminal está constituido por las secreciones de las vesículas seminales (10% a 25%) con un pH alcalino y por el fluido prostático (50% a 70%) con un pH ácido y la mayor frecuencia de colección seminal repercute en el aumento del pH por la menor secreción del fluido prostático (45).

Tabla 6. Promedio y desviación estándar del efecto del índice de temperatura-humedad sobre los parámetros macroscópicos del semen.

ITH	N	Volumen (mL)	Concentración	Dosis	pH
Leve	14	167.64±52.08	366.07±65.6	17.71±4.63	7.43±0.47
Moderado	21	177.33±71.41	377.67±79.73	18.1±7.42	7.45±0.5
Peligro	7	159±40.08	383.43±65.02	17.57±4.69	7.71±0.49
p-valor		0,6092	0,5757	0,5655	0,3848

n= Número de datos; p-valor = Valor de probabilidad.

Los resultados de esta investigación son contradictorios respecto a los obtenidos en una observación que afirma que, un índice de temperatura-humedad (ITH) en la temporada cálida y húmeda con mayor ITH afecta negativamente los diversos atributos seminales, en el caso del búfalo macho (46). Mientras que, en otro estudio (47) encontraron que el porcentaje de espermatozoides vivos, la concentración y el volumen del semen disminuyen a medida que el ITH aumenta, siendo los valores más altos a un ITH medio de 68,42.

Parámetros microscópicos del semen porcino

El efecto del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) sobre las características microscópicas del eyaculado en cerdos no mostró diferencias significativas ($p>0,05$) en las variables analizadas, lo que sugiere que el ITH no influye en las características microscópicas del semen, según se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Promedio y desviación estándar del efecto de la hora de colecta sobre los parámetros microscópicos del semen.

ITH	N	Motilidad Masal (%)	Motilidad Individual (%)	Vitalidad (%)	Morfología Espermática (%)
08:00	14	93,21±3,17	89,21±5,71	90,36±6,34	9,00±9,73
12:00	14	92,86±3,78	86,50±5,95	93,57±3,06	9,29±8,24
16:00	14	93,21±3,72	87,64±5,83	91,79±5,41	9,43±8,46
p-valor		0,8358	0,5067	0,4416	0,4345

n= Número de datos; p-valor = Valor de probabilidad.

En este estudio, tanto la morfología espermática como la motilidad masal se mantuvieron dentro de los rangos normales. La morfología no superó el 5% (48), en contraste con Rodríguez y Wallgren (49), quienes hallaron un 7% de anormalidades. La motilidad masal también se mantuvo en niveles considerados normales, superiores al 70%. Sin embargo, estos resultados difieren de estudios previos, que sugieren que altas temperaturas corporales pueden causar síndrome de sufrimiento testicular, afectando la motilidad y aumentando las anormalidades (42, 50, 51).

El promedio de motilidad individual en esta investigación, con valores entre 80% y 100%, coincide con los resultados de estudios previos (52, 53), donde se describe un movimiento progresivo rectilíneo normal de los espermatozoides. De igual manera, La vitalidad espermática se mantuvo en valores normales (80%-100%), de acuerdo con investigaciones previas (38, 24, 53), que establecen una relación entre la vitalidad y la motilidad individual.

La producción de semen en los verracos puede verse influenciada por la hora del día. A

las 8:00 horas, se obtiene la mayor cantidad de espermatozoides móviles y activos. A las 12:00 horas, el rendimiento puede variar debido a un descenso en la libido o en la calidad seminal. A las 16:00 horas, la calidad del semen podría verse afectada por el cansancio acumulado del animal o por un aumento en la temperatura, lo que repercute negativamente en la motilidad y viabilidad de los espermatozoides.

Los hallazgos de esta investigación difieren con resultados obtenidos en una investigación donde se reportaron cambios significativos en diversas características microscópicas del semen a lo largo del año, vinculados a periodos con temperaturas e índices de temperatura-humedad más elevados (54). En su estudio, se observaron diferencias en la motilidad progresiva (13,1 ± 4,0 frente a 12,0 ± 3,6), la morfología espermática (35,5 ± 11,4 frente a 27,6 ± 11,6) y la concentración espermática (21,6 ± 16,8 frente a 13,4 ± 10,6). De manera similar, encontraron que la motilidad espermática está estrechamente relacionada con factores ambientales como la temperatura, la humedad y la presión atmosférica, los cuales también influyen en

la concentración espermática (55). Asimismo, los resultados obtenidos contrastan con los reportados (46), quienes observaron que en búfalos machos

un índice de temperatura-humedad (ITH) de 78-84 tiene un impacto negativo en la motilidad espermática.

Tabla 8. Promedio y desviación estándar del efecto del índice de temperatura-humedad sobre los parámetros microscópicos del semen.

ITH	N	Motilidad Masal (%)	Motilidad Individual (%)	Vitalidad (%)	Morfología Espermática (%)
Leve	14	93.57±3.06	88.71±5.76	90.71±6.46	8.21±10.07
Moderado	21	92.86±3.73	87±6.13	92.14±4.89	8.57±5.29
Peligro	7	92.86±3.93	88.29±5.28	93.57±2.44	10.14±8.73
p-valor		0,7679	0,9429	0,6258	0,2561

n= Número de datos; p-valor = Valor de probabilidad.

Discusión

El índice de temperatura y humedad (ITH) observado en esta investigación supera los valores considerados óptimos para la calidad seminal. Las características ideales del semen se presentan cuando el ITH se encuentra entre 72 y 78 (46). Por su parte, Das et al. (34) señalan que un ITH superior a 72 provoca alteraciones fisiológicas que afectan tanto la producción animal como su fisiología.

De igual forma, el análisis del ITH reveló valores bajos a las 08:00 a.m., con un promedio de 77.40 ± 2.18 , y aumentaban considerablemente a las 12:00 p.m. y vuelve a descender a las 16:00 p.m., con valores que superan las 80 unidades, lo que señala un mayor riesgo de estrés térmico en ese horario, el ITH se ajusta a la clasificación establecida como peligro (22), ya que la mayoría de los valores del índice son superiores a 80, lo que indica que el nivel de riesgo es alto (37); esta variación sugiere que realizar la colecta de semen en horas con

un ITH más bajo en horas de la mañana, podría disminuir los efectos negativos del calor sobre la calidad seminal, optimizando así las condiciones de reproducción y producción en climas cálidos.

Estos hallazgos contrastan con los resultados de un estudio que confirma los factores como la temperatura máxima y mínima, el rango térmico, la humedad relativa y la precipitación del día de recolección de semen y de los 45 días previos tuvieron un efecto mínimo sobre las características seminales (54,55). No obstante, se observaron variaciones estacionales en los eyaculados, con una disminución en la calidad seminal durante los meses de mayor temperatura y un alto índice de temperatura y humedad, lo que afecta negativamente la calidad del semen en verracos. De manera similar, en una investigación sobre la termorregulación y las respuestas reproductivas de carneros bajo estrés por calor, se destaca que las elevadas temperaturas características del

verano en regiones cálidas afectan negativamente la capacidad reproductiva de los animales domésticos, ya que estas condiciones provocan alteraciones que comprometen su fertilidad (56).

CONCLUSIONES

El índice de temperatura y humedad (ITH) dentro del rango evaluado en este estudio, no afecta la calidad espermática, por lo tanto, no tiene un impacto significativo en las características macroscópica y microscópicas del semen porcino. Estos resultados sugieren que las condiciones ambientales evaluadas no alteran los parámetros seminales dentro de los rangos normales reportados en estudios previos. No obstante, es importante considerar variaciones en otros factores relacionados con la producción y manejo de los animales para optimizar la eficiencia reproductiva en granjas porcinas.

Esta investigación sobre el efecto del índice de temperatura y humedad (ITH) y las características seminales porcina proporciona información para las ciencias veterinarias y zootécnicas, porque ayuda a comprender cómo las condiciones ambientales pueden afectar la calidad reproductiva de los verracos. Sin embargo, es importante destacar que este estudio se centró en un rango específico de ITH y otras variables pueden influir en la calidad seminal. Por lo tanto, se recomienda continuar investigando el impacto de las condiciones ambientales en la reproducción porcina, considerando factores como la genética

de los animales, la nutrición y las prácticas de manejo.

Finalmente, los hallazgos de este estudio pueden ser útiles para los productores porcinos, ya que proporcionan evidencia de que, dentro de ciertos límites, las variaciones en el ITH no comprometen significativamente la calidad del semen. No obstante, es fundamental implementar buenas prácticas de manejo para garantizar el bienestar de los animales y optimizar la producción.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zhong Z, Li R, Wang Z, Tian S, Xie X, Wang Z, Na W, Wang Q, Pan Y, Xiao P. Genome-wide scans for selection signatures in indigenous pigs revealed candidate genes relating to heat tolerance. *The international journal of animal biosciences*. 2023; 17(7). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100882>
2. Pardo Z, Seiquer I, Lachica M, Nieto R, Lara L, Fernández I. Exposure of growing Iberian pigs to heat stress and effects of dietary betaine and zinc on heat tolerance. *Journal of Thermal Biology*. 2022. 106. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103230>
3. D'Allaire S, Drolet R, Brodeur D. Sow mortality associated with high ambient temperatures. *The Canadian Veterinary Journal*. 1996; 37(4): 237-239. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1576357/pdf/canvetj00101-0047.pdf>
4. Omotosho O, Fowowe O, Olusoji J, Adetokunbo A, Olutayo T. High Environmental Temperature Induces Oxidative Stress, Reduced Sow Productivity and Increased Piglet Mortality. *Journal of Applied Veterinary Sciences*. 2024; 9 (2). <https://javs.journals.ekb.eg>

5. Brandt P, Bjerg B, Pedersen P, Sørensen K, Rong L, Huang T, Zhang G. The effect of air temperature, velocity and humidity on respiration rate and rectal temperature as an expression of heat stress in gestating sows. *Journal of Thermal Biology*. 2022; 104. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103142>
6. Pexas G, Mackenzie S, Jeppsson K, Olsson A, Wallace M, Kyriazakis I. Environmental and economic consequences of pig-cooling strategies implemented in a European pig-fattening unit. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 290. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125784>
7. Brown-Brandl T, Nienaber J, Xin H, Gates R. A literature review of swine heat production. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 2004; 47:259-270. <https://doi.org/10.13031/2013.15867>
8. Mutua J, Marshall K, Paul B, Notenbaert A. A methodology for mapping current and future heat stress risk in pigs. *Animal*. 2020; 14 (9):1952- 1960. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000865>
9. Huang T, Zhang G, Brandt P, Bjerg B, Pedersen P, Rong L. An effective temperature derived from a mechanistic thermophysiological model for sows reared in hot climates. *Biosystems Engineering*. 2022; 220:19-38. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.05.015>
10. Sánchez B. Repercusión y manejo del estrés calórico en la producción porcina. BM Editores. 2021. <https://bmeditores.mx/porcicultura/repercusion-y-manejo-delestrescalorico-en-la-produccion-porcina/>
11. Flowers W. Management of boars for efficient semen production. *Journal of reproduction and fertility. Supplement*. 1997; 52:67-68. <https://www.bioscioproceedings.org/bp/0015/bp0015cpr5.pdf>
12. Knox R. Swine fertility in a changing climate. *Animal Reproduction Science*. 2024; 269. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2024.107537>
13. Flowers W. Genetic and phenotypic variation in reproductive traits of AI boars. *Theriogenology*. 2008; 70 (8): 1297-1303. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.016>
14. Chinchilla J, Kerns K, Rothschild M. Lunar and climatic effects on boar ejaculate traits. *Animal Reproduction Science*. 2018;193:117-125. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.04.006>
15. Xie Q, Wu M, Bao J, Zheng P, Liu W, Liu X, Yu H. A deep learning-based detection method for pig body temperature using infrared thermography. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023; 213. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108200>
16. Hu Z, Yang Q, Tao Y, Shi L, Tu J, Wang Y. A review of ventilation and cooling systems for large-scale pig farms. *Sustainable Cities and Society*. 2023; 89. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104372>
17. Bjerg B, Brandt P, Pedersen P, Zhang G. Sows' responses to increased heat load – A review. *Journal of Thermal Biology*. 2020; 94. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102758>
18. Oliveira A, González J, Asmar S, Batllori N, Vera I, Valencia U, Lizardo R, Borges T, García E, Riera N, Costa L, Dalmau A. The effect of feeder system and diet on welfare, performance and meat quality, of growing-finishing Iberian × Duroc pigs under high environmental temperatures. *Livestock Science*. 2020; 234. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103972>
19. Ek-Mex J, Correa J, López A, López R. Environmental factors affecting some reproductive traits of sows in the tropics of Mexico. *Archivos de medicina veterinaria*. 2015; 47(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2015000100009>
20. Nascimento J, Tavares S, Sayori L, Machado V, Steidle A, Menezes E, Silva A, Freitas. Thermal comfort of sows in free-range system in Brazilian Savanna. *Journal of Thermal Biology*. 2020; 88. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102489>
21. De Prekel L, Maes D, Van den Broeke A, Ampe B, Aluwé M. Evaluation of a heating protocol and stocking density impact on heatstressed fattening pigs. *Animal*. 2024; 18 (6). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101172>
22. Licona F. Efecto de estrés por diferentes factores en cerdas lactantes: Revisión de literatura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 2020. <https://bdigital.zamorano.edu/server/>

api/core/bitstreams/4874e550-69f7-4762-bf0a-242a6f692748/content

23. Córdova A, Pérez J, Méndez W, Villa A, Huerta R. Obtención, evaluación y manipulación del semen de verraco en una unidad de producción mexicana. *Revista veterinaria*. 2015; 26 (1). https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-68402015000100013

24. Sorensen A. *Reproducción Animal: principios y prácticas*. México: MacGraw Hill. 539. 1982. <https://bit.ly/4hdIGUy>

25. Köning I. *Inseminación de la cerda*. Zaragoza: Acibia. 1979; 181. https://www.editorialacibia.com/libro/inseminacion-de-la-cerda_53865/

26. Holý L. *Biología de la reproducción bovina, Introducción al proceso del examen de la fertilidad de la hembra y el macho*. Trad. R. Barnet. 2 ed. La Habana. Ed. CientíficoTécnica. 1987; 344 p. <https://bit.ly/40fseuZ>

27. Intriago J, Vargas M. Efecto de la coenzima Q10 como antioxidante sobre las características espermáticas del semen fresco porcino. <http://repositorio.espm.edu.ec/handle/42000/1147>

28. Zemjanis R. *Reproducción Animal. Diagnósticos y técnicas terapéuticas*. Trad. D. Pacheco. D.F. México. Ed. Limusa, S.A. 1987; 253. https://books.google.com/books/about/Reproducci%C3%B3n_animal.html?id=xNhoNAAACAAJ

29. Barth A, Oko R. *Abnormal morphology of bovine spermatozoa*. Ed. Iowa University Press. 1989; 285. <https://catalogue.nla.gov.au/catalog/657873>

30. Quintero A. Aspectos clave en la cría del verraco. Laboratorio de Andrología, Unidad de Investigación en Producción Animal (UNIPA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia. 2016. <https://acortar.link/c8Lecy>

31. Montesdeoca I. Mejoras en los procesos de producción para la crianza de cerdos en la granja de Monpal ubicada en el cantón Baba. Repositorio Institucional UPS. 2022. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23206>

32. Bova T, Chiavaccini L, Cline G. Environmental stressors influencing hormones and systems physiology in cattle. *Reprod Biol Endocrinol*. 2014;

12(58). <https://doi.org/10.1186/1477-7827-12-58>

33. Godde C, Mason-D'Croz D, Mayberry D, Thornton P, Herrero M. Impacts of climate change on the livestock food supply chain: A review of the evidence. *Global Food Security*. 2021; 28, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>

34. Das R, Sailo L, Verma N, Bharti P, Saikia J, Imtiwati, Kumar R. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World*. 2016; 9(3), 260-268. <https://www.veterinaryworld.org/Vol.9/March-2016/7.pdf>

35. Peña T, Stone F, Gummow B, Parker A, Paris D. Tropical summer induces DNA fragmentation in boar spermatozoa: implications for evaluating seasonal infertility. *Reproduction, Fertility and Development*. 2019; 31, 590-601. <https://doi.org/10.1071/RD18159>

36. Morales B, Quintero-Moreno A, Osorio C, Rubio J. Valoración de la biometría de la cabeza del espermatozoide mediante análisis computarizado en semen de cerdo recién colectado y refrigerado. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2012; 29: 413-431. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27064/27688>

37. Restrepo G, Trujillo L, Buritacá M, Sierra C, Correa G, González Ó. Efecto del clima sobre las características seminales de porcos en una zona de bosque húmedo tropical. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2004; 57(2): 2355-2372. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0304-28472004000200001&lng=en&nrm=iso&tlng=es

38. Hafez B, Hafez E. *Reproducción e Inseminación artificial en animales* (7 th Ed.), South Carolina, USA, McGraw-Hill Interamericana. 2000; 99. https://dama.umh.es/discovery/fulldisplay/alma991000606689706331/34CVA_UMH:VU1

39. Rodríguez D, Macenat R, Abeledo C, Gutiérrez M. Valoración de la calidad espermática de sementales cc21 y l35 en una granja porcina. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 2010; 17(1):1-3. http://pigtrop.cirad.fr/FichiersComplementaires/RCP171/171_05artDRguez.pdf

- 40.** Tretipskul C, Am-in N, Tummaruk P, Techakumphu M. Season and breed effects on sperm production in PRRS free boars. *Thai J Vet Med.* 2012; 42(4): 471–476. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20133056439>
- 41.** Tardif S, Laforest J, Cormier N, Bailey J. The importance of porcine sperm parameters on fertility in vivo. *Theriogenology.* 1999; 52(3), 447-459. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00142-9](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00142-9)
- 42.** Colenbrander B, Kempt B. Factors influencing semen quality in pigs. *Journals of Reproduction & Fertility Ltd.* 1990; 40:105-115. <https://www.bioscioproceedings.org/bp/0013/bp0013cpr8.pdf>
- 43.** Córdova I, Fermín M, Lajud C, Perea G, Rojas M, Saltijeral J, Muñoz C. Efecto del pH en la conservación del semen de verraco diluido. Departamento de Producción Agrícola y Animal, Ecodesarrollo de la Producción Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. 2016. https://www.amvec.com/memories/memorias/2003/2003_084.pdf
- 44.** Trudeau V, Sanford L. Effect of season and social environment on testis size and semen quality of the adult landrace boar. *Journal of Animal Science.* 1986; 63:1211-1219. <https://www.researchgate.net/publication/19391338>
- 45.** Buxadé C. Ganado Porcino: sistemas de explotación y técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa. 2: 3ª Edición. 2013. 640. <https://n9.cl/gln95d>
- 46.** Sharma M, Singh A, Yaqoob B, Maithani M, Rawat S, Sharma N. Efecto del índice de temperatura y humedad en las características del semen de búfalos machos. *Revista internacional de microbiología y ciencias aplicadas actuales.* 2018. 7(8). doi:10.20546/IJCMAS.2018.708.504
- 47.** Sharma M, Yaqoob B, Singh A, Sharma N, Rawat S. Efecto del índice de temperatura y humedad en la calidad del semen de bovinos de toro. *Revista internacional de microbiología y ciencias aplicadas actuales.* 2017; 6:1822-1830. <https://www.ijcmas.com/6-12-2017/Mridula%20Sharma,%20et%20al.pdf>
- 48.** Almaguer Y, Font H, Rosell R, Quirino C, Montes I. Evaluación de la calidad seminal en sementales porcinos en un Centro de Inseminación Artificial. *Revista Electrónica de Veterinaria.* 2015; 16(5): 1-7. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63638742006.pdf>
- 49.** Rodríguez H, Wallgren M. Factores que influyen la calidad espermática en verracos en inseminación artificial en suinos. En: III Simposio Internacional MINITUB. Flores da Cunha – RS – Brasil. 2000; 34-41. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914073001.pdf>
- 50.** Le Dividich J. Journées Rech. Porcine en France. 1996; 28: 201-208. https://www.3tres3.com/latam/articulos/consumos-normales-y-posibles-variaciones-segun-la-temperatura-ambiente_10767/
- 51.** Hernández J, Alemán R. Effect of the time of the year in some characteristics of the one ejaculated of different boars genotypes. *Revista electrónica de Veterinaria.* 2008; 9 (11). <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617112006.pdf>
- 52.** Fuentes A. Effect of season on semen traits of boar in the tropics. En: *Zootecnia Tropical.* 1992; 10(1): 51-64 <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v57n2/a01v57n2.pdf>
- 53.** Henao G, Trujillo L, Buriticá M, Sierra C, Correa G, González Ó. Effect of climate on the seminal characteristics of boars in a region of humid tropical forest. *Facultad Nacional de Agronomía Medellín.* 2004;57(2). <https://n9.cl/lrncns>
- 54.** Freneau G, Ferreira J, Sobestiansky J. Avaliação das características seminais de verrões mantidos em centrais de inseminação artificial com ambiente climatizado e não climatizado durante 12 meses. *Ciencia Animal Brasileira.* 2012; 13: 466-478. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5658702.pdf>
- 55.** Kowalewski D, Kondracki S, Górski K, Bajena M, Wysokińska A. Efecto del microclima de la porqueriza sobre el rendimiento eyaculado de verracos de inseminación artificial. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi.* 2016;

22:225-232. https://www.researchgate.net/publication/302289500_Effect_of_Piggery_Microclimate_on_Ejaculate_Performance_of_Artificial_Insemination_Boars

56. Barragán A, Avendaño-Reyes L, Hernández J, Vicente-Pérez R, Correa-Calderón A, Mellado M, Meza-Herrera C, Macías-Cruz U. Termorregulación y respuestas reproductivas de carneros bajo estrés por calor. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2021. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5624>

ACERCA DE LOS AUTORES

Adrian Israel Vergara-Moncayo. Estudiante de Medicina Veterinaria en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López". Experiencia en producción animal, especialmente en nutrición, genética y manejo de pastizales. Participación como ponente en el XVII Congreso Latinoamericano y Caribeño de Extensión Universitaria – Proyección Social, realizado en Armenia, Quindío, Colombia.

Jexon Stalin Centeno-Mendoza. Estudiante de Medicina Veterinaria en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, con experiencia en reproducción bovina y porcina y mejoramiento genético.

Carlos Octavio Larrea-Izurieta. Ingeniero Zootecnista. Magister en Producción Animal, con experiencia en producción equina y bovina, estadística y mejoramiento genético. Docente de grado y posgrado en Medicina Veterinaria en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Marco Antonio Alcívar-Martínez. Médico Veterinario, Magister en Producción y Nutrición Animal, con experiencia en producción Porcina y Andrología Animal, Micología y Virología veterinaria Docente de la carrera de Medicina Veterinaria en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Poseo varias poblaciones relacionadas a temas de producción y nutrición alternativa y andrología animal.



Diversidad e inventario de orquídeas de los bosques de neblina: Carpish y La Divisoria, Perú

Diversity and inventory of orchids from cloud forests: Carpish and La Divisoria, Peru

Diversidade e inventário de orquídeas de floresta nublada: Carpish e La Divisoria, Perú

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.333>

Fernando Pérez Tarazona¹
fernatingof@gmail.com

José Kalión Guerra Lu¹
guerralu2@yahoo.com

Leiwer Flores Flores²
lflores@unc.edu.pe

¹Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú

²Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú

Artículo recibido: 17 de octubre 2024 / Arbitrado: 25 de noviembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Los bosques de neblina son ecosistemas únicos que se caracterizan por estar cubiertos de neblina durante gran parte del año, lo que favorece la adaptación de diversas especies, incluyendo una notable cantidad de orquídeas. En particular, las áreas de Carpish y La Divisoria, ubicadas en los ramales de la Cordillera Azul, son especialmente ricas en biodiversidad, aunque su atractivo para la agricultura ha llevado a la fragmentación de estos ecosistemas y a la pérdida de especies. Para evaluar la diversidad biológica en estas zonas, se utilizó una metodología adaptada de Gentry, que consistió en transeptos (cinco parcelas continuas de 2 X 100 m) continuos en diferentes rangos altitudinales. Los resultados mostraron que Carpish tiene un índice de diversidad media según el Índice de Shannon y Weaver, mientras que La Divisoria presenta una diversidad media en varios rangos, pero alta en otros. En total, se registraron 73 especies, siendo *Epidendrum* sp y *Maxillaria* sp las más representativas. Estos hallazgos subrayan la importancia de promover medidas de conservación para proteger estas orquídeas.

Palabras clave: Biodiversidad biológica; Bosques de niebla; Ecosistemas únicos; Inventario de orquídeas

ABSTRACT

Cloud forests are unique ecosystems characterized by being covered by fog for much of the year, which favors the adaptation of various species, including a notable number of orchids. In particular, the areas of Carpish and La Divisoria, located on the branches of the Cordillera Azul, are especially rich in biodiversity, although their attractiveness for agriculture has led to the fragmentation of these ecosystems and the loss of species. To assess biological diversity in these areas, a methodology adapted from Gentry was used, which consisted of continuous transects (five continuous plots of 2 X 100 m) in different altitudinal ranges. The results showed that Carpish has a medium diversity index according to the Shannon and Weaver Index, while La Divisoria presents a medium diversity in several ranges, but high in others. In total, 73 species were recorded, with *Epidendrum* sp and *Maxillaria* sp being the most representative. These findings underline the importance of promoting conservation measures to protect these orchids

Key words: Biological biodiversity; Cloud forests; Unique ecosystems; Orchid inventory

RESUMO

As florestas nubladas são ecossistemas únicos que se caracterizam por estarem cobertos de neblina durante grande parte do ano, o que favorece a adaptação de diversas espécies, incluindo um notável número de orquídeas. Em particular, as áreas de Carpish e La Divisoria, localizadas nos braços da Cordilheira Azul, são especialmente ricas em biodiversidade, embora a sua atratividade para a agricultura tenha levado à fragmentação destes ecossistemas e à perda de espécies. Para avaliar a diversidade biológica nessas áreas foi utilizada uma metodologia adaptada de Gentry, que consistiu em transeptos contínuos (cinco parcelas contínuas de 2 X 100 m) em diferentes faixas altitudinais. Os resultados mostraram que Carpish possui um índice de diversidade médio de acordo com o Índice de Shannon e Weaver, enquanto La Divisoria apresenta uma diversidade média em diversas faixas, mas alta em outras. No total foram registradas 73 espécies, sendo *Epidendrum* sp e *Maxillaria* sp as mais representativas. Estas descobertas sublinham a importância de promover medidas de conservação para proteger estas orquídeas.

Palavras-chave: Biodiversidade biológica; Florestas nubladas; Ecossistemas únicos; Inventário de orquídeas

INTRODUCCIÓN

La familia Orchidaceae es el segundo grupo más diverso de plantas con flores en el mundo, con alrededor de 28,000 especies, solo superada por la familia Asteraceae. Esta familia es la más representativa en varias regiones de América Tropical. La mayoría de las orquídeas neotropicales se caracterizan por ser epífitas, un hábito que se encuentra en aproximadamente el 70% de las especies a nivel global. Estas plantas están presentes en diversos ecosistemas neotropicales, desde bosques lluviosos hasta montañas nubladas, y juegan un papel crucial en las interacciones con polinizadores en asociaciones micorrízicas. Sin embargo, a nivel mundial, las orquídeas enfrentan amenazas significativas debido a la pérdida de hábitat, el cambio climático y el comercio ilegal de especies ornamentales. Por lo tanto, es fundamental implementar medidas de conservación para proteger esta valiosa diversidad biológica (1).

Por lo que, las orquídeas, especialmente las epífitas, muestran su mayor diversidad y abundancia en los bosques montanos nubosos tropicales. Estos bosques se encuentran en una franja de elevación relativamente estrecha y se caracterizan por la presencia continua o estacional de nubes sobre la vegetación. La cobertura nubosa altera las condiciones atmosféricas al reducir la radiación solar y el déficit de vapor, lo que puede llegar a suprimir la evapotranspiración. Además,

la precipitación en estos ecosistemas se ve incrementada por la captura directa de humedad de las nubes por el dosel forestal. Los bosques nubosos neotropicales se sitúan principalmente en las zonas altas de las montañas y enfrentan amenazas debido a la disminución de su área. Su naturaleza aislada los hace vulnerables a los efectos biológicos de la fragmentación y el aislamiento del hábitat. Asimismo, las condiciones climáticas específicas de temperatura y humedad hacen que estos bosques sean susceptibles a los impactos del cambio climático, lo que podría afectar negativamente la supervivencia de las especies y la composición de las comunidades vegetales (2).

En el caso de la región en estudio, los bosques de niebla las áreas que cuentan con una alta biodiversidad y endemismos, Para las zonas de Carpish y la Divisoria en el Perú el paisaje está constituido por cerros colinas con una fisiografía accidentada que proporcionan una diversidad de hábitats para el desarrollo de plantas y animales, con una característica en común como es la presencia continua de niebla que genera una alta humedad. Dando origen a una gran diversidad de epífitas, siendo las orquídeas una de las familias mejor representadas (3), y que debido a las características particulares sobre todo de sus flores se han realizado algunos estudios taxonómicos, florísticos y ecológicos de la familia Orchidaceae.

De ahí que, es fundamental considerar que los cambios adaptativos altamente especializados

de las orquídeas epífitas han facilitado su éxito en la colonización de diversas condiciones dentro de los estratos forestales (4). Entre estos cambios, la provisión de agua a través de la niebla y los nutrientes que esta humedad aporta, junto con la descomposición de la materia orgánica de los árboles, son cruciales (5). Sin embargo, los bosques de neblina, como Carpish y La Divisoria, están experimentando graves alteraciones debido a la tala de árboles y las actividades agrícolas, lo que conlleva a una pérdida significativa de biodiversidad. Esta situación afecta especialmente a la familia Orchidaceae. Por lo tanto, es urgente implementar medidas de conservación para proteger estos ecosistemas vulnerables y su rica diversidad biológica (6).

Además, es importante tener en cuenta que los cambios adaptativos altamente especializados de las orquídeas epífitas les han permitido adaptarse al medio aéreo, con requisitos específicos de humedad, temperatura, nutrientes y luz. Estas adaptaciones han facilitado su éxito en la colonización de diversas condiciones en los estratos forestales, siendo fundamental la provisión de agua a través de la niebla, así como los nutrientes que esta humedad transporta y la descomposición de la materia orgánica aportada por los árboles (7). Sin embargo, una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad y los cambios ambientales es la fragmentación de los ecosistemas boscosos. Los bosques de niebla,

que se caracterizan por su alta biodiversidad, albergan un grupo muy importante: las orquídeas. Este hábitat enfrenta constantes perturbaciones que impactan negativamente en su diversidad, disminuyendo las poblaciones de orquídeas, alterando sus interacciones y rompiendo el equilibrio necesario para la polinización (8).

Por lo que, al alterarse estos ecosistemas y las orquídeas al no contar con pelos absorbentes son más frágiles a estos cambios, presentan requerimientos muy especiales referente a las características del suelo ya que estos pueden limitar su desarrollo especialmente las características de textura, capacidad de infiltración, y estos factores son los que mayormente están siendo alterados en estos ecosistemas (9). Se sabe muy poco sobre la diversidad de orquídeas de los bosques de nieblas, por lo que, el objetivo de la presente investigación es determinar la diversidad de especies de las orquídeas presentes en los bosques de neblinas de Carpish y de La Divisoria, Perú.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló en el tramo Tingo María – Carpish y el tramo Tingo María – La Divisoria, en ambos márgenes de la carretera Fernando Belaunde Terry en los espacios y delimitaciones de estos bosques de nieblas, Provincia Leoncio Pardo, Perú, coordenadas 9°22'37"S 75°59'53"O. Carpish se ubica en dirección

sur tomando como referencia Tingo María, está en un ramal de la cordillera azul caracterizado por una fisiografía accidentada montañosa llegando

a una altitud de 2 700 m.s.n.m., reportándose un contrafuerte andino con más de 3 000 m.s.n.m., con llovizna frecuente en casi todo el año Figura 1.

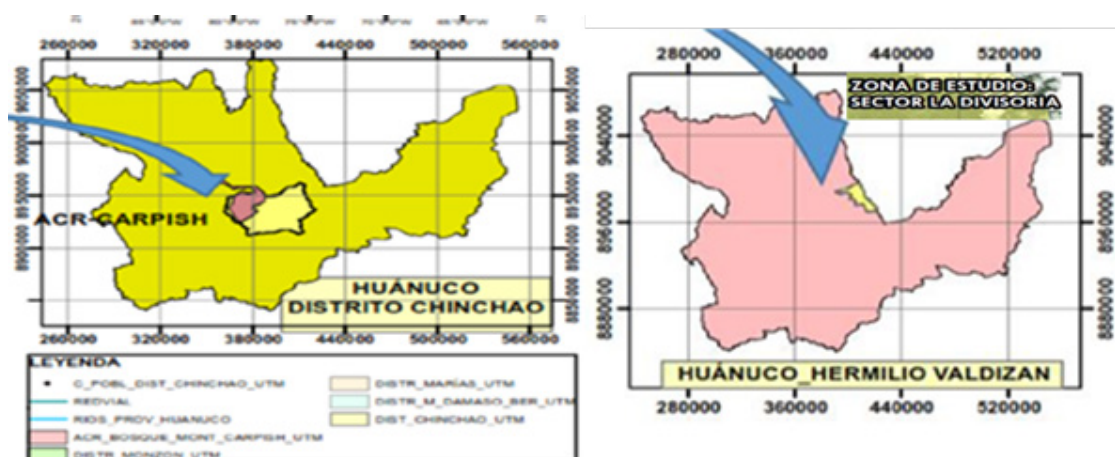


Figura 1. Zona de estudio.

Características edafoclimáticas: En estos bosques de niebla se caracteriza por presentar temperaturas bajas que se dan al atardecer y en las noches, con una neblina persistente que se da en las mañanas y en las tardes y noches cuando desciende la temperatura, los régimen de lluvia y estiajes en los últimos años han sufrido grande variaciones en su intensidad lo que ha ocasionado muchos deslizamientos en la áreas de estudio, con una escorrentía fuerte que ha ocasionado la creciente de los ríos y la inundación de las riberas, y en la estación de verano que para la zona corresponde a los meses de junio, julio y agosto las fuertes sequias que han afectado los ecosistemas.

La fisiografía es accidentada propia de la cordillera azul que inicia su proceso de descenso de altitud, con pendientes que superan el 25° de inclinación,

con áreas accidentadas áreas, colinosas altas y bajas presentado diferencias entre los bosques de nieblas de Carphish y de La Divisoria y que se da sobre todo en la altitud ya que esta última es más baja y se orienta ya hacia la región amazónica y los bosques de niebla de Carphish presentan mayor altitud con un relieve más accidentado y escarpado superando en la mayor parte los 45° de inclinación.

Población en estudio: La población que forma parte del estudio son plantas pertenecientes a la familia Orchidaceae, que se encuentran distribuidas en los bosques de neblinas de los espacios de las áreas de Carphish y de la Divisoria, tanto epifitas, terrestres y rupícolas.

Muestra y tipo de investigación: En la muestra en estudio están considerados a las especies

de la familia Orchidaceae, que se encuentra en floración durante el periodo de investigación, especies distribuidos en los bosques de niebla de las áreas de Carpish y de la Divisoria, tanto epifitas, terrestres y rupícolas. Con investigación descriptiva, como variable independiente el rango altitudinal (m.s.n.m) y como dependiente la diversidad de especies de orquídeas con muestreo probalístico.

Manejo experimental: En esta etapa se seleccionaron las áreas a ser muestreadas, dentro de los Rango altitudinales, considerando el área de estudio los espacios de bosque de nieblas en Carpish y La Divisoria, teniendo los siguientes criterios presencia de nubes en forma frecuente y persistente, orientación y exposición a los vientos húmedos, presencia de orquídeas, que se encuentre dentro de las rutas de muestreo y fácil acceso, para definir los transeptos en los rangos altitudinales se consideró las recomendaciones de Gentry, buscando que estos se encontraran paralelos a las trochas carrózales o caminos de herradura, utilizando transeptos lineales paralelos a las trochas carrózales o caminos de

herradura, cada rango altitudinal se demarcó un transepto modificado de Gentry con cinco parcelas continuas de 2 x 100 m., teniendo consideraciones de fisiografía, se seleccionaron cinco rangos altitudinales que se encuentran en la ruta Tingo María – Carpish , y cinco rangos altitudinales en la ruta de Tingo María – La Divisoria Tabla 1, las dos rutas se enmarcan dentro de los ramales de la cordillera Azul, Provincia Leoncio Pardo, Perú.

La ubicación de los puntos de muestreo fue aleatorio considerando un promedio de la composición florística, la modalidad que se empleó en la realización de los trabajos de campo fue por censo completo, considerando la totalidad del área de estudio siguiendo la metodología propuesta por Gentry modificado, en donde la orquídeas reportadas solamente fueron la que se encontraban en floración, se tubo consideraciones sobre la época de floración, y las estaciones, para las salidas de campo, donde se programó 12 salidas entre los meses de marzo del 2021 y marzo del 2022.

Tabla 1. Rango altitudinal para carpish y divisoria.

Rango	Altitud	
	Carpish	Divisoria
1	1000 - 1300	800 - 900
2	1300 - 1600	900 - 1000
3	1600 - 1900	1000 - 1100
4	1900 - 2200	1100 - 1200
5	2200 - 2500	1200 - 1300

De las especies ubicadas en floración y con ayuda del registro fotográfico se realizaron la identificación taxonómica con la ayuda de claves botánica o por comparación en reportes de libros especializados, así como las diversas publicaciones de la flora del área de estudio. Las especies en floración con reporte fotográfico que no sea posible su identificación se consulta con los especialistas para su identificación. Las especies identificadas fueron agrupadas de acuerdo al género y ordenadas alfabéticamente. Para la validación y verificación de la identificación de las especies de orquídeas se realizó a través de herbarios virtuales. También se contó con el apoyo de los especialistas de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

Determinación de diversidad: Para la determinación de la diversidad se utilizaron el índice de riqueza(s), índice de Simpson, Índice de Margalef, Índice de Shannon-.

Riqueza específica (S): Según Moreno (10), se expresa mediante la suma de todas las especies que se han registrado en cada uno de los transeptos, es decir es el número total de especies obtenido de una recolección de datos de una comunidad

o hábitat en estudio. Se puede clasificar las especies de acuerdo a lo siguiente: a) Forma de vida; b) Hábitat, en el caso de animales, habito de alimentación

Diversidad alfa: Índice de dominancia de Simpson: indica la probabilidad de que dos individuos al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influenciado por las especies dominantes.

$$\delta = \sum Pi^2$$

Donde:

δ = Índice de dominancia

Pi = Proporción de los individuos registrados en cada especie (n/N)

n=Número de individuos de la especie

N= Número total de especies

Entonces, el índice de diversidad de Simpson es:

$$\lambda = 1 - \delta$$

Donde:

λ = Índice de diversidad de Simpson

δ = Índice de dominancia

Tabla 2. Matriz recomendada para organizar la información y calcular el índice de Simpson

Especie	Número de individuos	Pi(n/N)	Pi ²
Especie	n		
Total	N		$\sum Pi^2$

Para la interpretación de los resultados se utilizó la siguiente escala de significancia entre 0-1, así:

Tabla 3. Escala de significancia para el índice de Simpson.

Rangos	Significado
0 – 0,33	Diversidad baja
0,34 – 0,66	Diversidad media
Mayor a 0,67	Diversidad alta

Diversidad de Shannon –Wiener: El índice une dos componentes, equitativita y riqueza. La ecuación es la siguiente:

$$H' = - \sum_{p=1}^S (p_i)(\log_n p_i)$$

Donde:

H= Índice de la diversidad de la especie

S= Numero de especie

Pi = Proporción de la muestra que corresponde a la especie. Ln= Logaritmo natural

Tabla 4. Matriz recomendada para organizar la información y calcular el índice de Shannon.

Especie	Número de individuos	$P_i=n/N$	$\ln .P_i$	$P_i * \ln P_i$
Especie	n			
Total	N			$-\sum P_i * \ln P_i$

La suma de la columna $P_i * \ln p_i$, es el resultado del índice, para el valor final no se debe de olvidar el valor el símbolo negativo (-):

$$H' = (-) - \sum P_i \ln P_i$$

Donde:

E= Equitatividad

H'=Índice de Shannon

H max=Ln del total de especies (S)

Tabla 6. Escala de significancia para el índice de Simpson.

Valores	Significancia	Nivel de diversidad
0 – 0,33	Heterogéneo en abundancia	Baja
0,34 – 0,66	Ligeramente heterogéneo en abundancia	Media
>0,67	Homogéneo en abundancia	Alta

Índice de Margalef

$$D_{mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

S= Número de especies

N= Número total de individuos

Cambia el número de especies por cada muestra a una proporcionalidad a la cual las especies son agregadas por expansión de la muestra. Se asume que una relación funcional entre el número total de individuos y número de especies $S = k\sqrt{N}$; donde k, es la constante. Si este cambia, entonces el índice va a variar con el tamaño de la muestra de forma que se desconoce, usando s-1, en lugar de s, da $D_{mg}=0$, cuando hay una sola especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo rangos altitudinales considerados para la zona de Carpish Tabla 7, el rango tres (1 800 – 2 100 m.s.n.m), es el que muestra el mayor número de especies con 40 de las 54 reportadas para la zona de Carpish, esto se debe a la fisiografía accidentada que dificulta la extracción ilegal de estas especies, seguido de rango dos (1 500 – 1 800) con 35 especies de la 54 reportadas, y el que presenta en menor número de especies es el rango uno, con tan solo 15 especies.

Tabla 7. Número de especies por rango altitudinal en Carpish, Perú.

Rango	Altitud	Nº de Especies
1	1 200 – 1 500	15
2	1 500 – 1 800	35
3	1 800 – 2 100	40
4	2 100 – 2 400	31
5	2 400 – 2 700	22

Mientras que, para los índices de Margalef, Menhinick, Simpson, Shannon y Weaver en Carpish Tabla 8, los mayores índices se alcanzaron en altitudes entre 1500-2100 m.s.n.m con 5.95-6.34;

0.95 y 3.20-3.24, respectivamente; de acuerdo con estos índices en dichas altitudes se encuentra una diversidad de media a alta.

Tabla 8. Índices de Margalef, Simpson, Shannon y Weaver en Carpish, Perú.

Altitud	Margalef	Índices Simpson	Shannon y Weaver
1 200 – 1 500	2,96	0,90	2,43
1 500 – 1 800	5,95	0,95	3,20
1 800 – 2 100	6,34	0,95	3,24
2 100 – 2 400	4,88	0,93	2,94
2 400 – 2 700	4,39	0,90	2,67

Tabla 9. Número de especies por rango altitudinal en La Divisoria, Perú.

Rango	Altitud	N° de Especies
1	800 - 900	8
2	900 - 1000	25
3	1000 - 1100	34
4	1100 - 1200	35
5	1200 - 1300	21

Para la región de La Divisoria Tabla 9, se encontraron el mayor número de especies a altitudes de 1000-1100 y 1100-1200 m.s.n.m con 34 y 35 especies, respectivamente. Mientras que, para los índices de Margalef, Simpson, Shannon y Weaver, también a estas altitudes se mostraron

los mayores valores con 5.99-6.02; 0.95 y 3.20-3.21, vale destacar que de 900-1000 m.s.n.m se reportaron 3.53 para Shannon y Weaver, aunque las diversidades para esta región resultaron de media a alta.

Tabla 10. Índices de Margalef, Simpson, Shannon y Weaver en La Divisoria, Perú.

Altitud	Margalef	Índices Simpson	Shannon y Weaver
800 - 900	1.70	0.75	1.66
900 - 1000	4.88	0.63	3.53
1000 - 1100	5.99	0.95	3.21
1100 - 1200	6.02	0.95	3.20
1200 - 1300	3.71	0.91	2.66

Como se puede observar en las Tabla 11 y 12, se tiene que los géneros más representativos son *Epidendrum* y *Maxillaria*, cada uno con diez

especies, le sigue en los géneros *Masdevallia* y *Oncidium* cada uno con cinco especies.

Tabla 11. Inventario de orquídeas en Carpish, Perú.

N°	Especies	N°	Especies
1	<i>Acianthera lojae</i>	28	<i>Maxillaria alba</i>
2	<i>Acianthera rubroviridis</i>	29	<i>Maxillaria brunnea</i>
3	<i>Acianthera sicaria</i>	30	<i>Maxillaria cucullata</i>
4	<i>Anguloa uniflora</i>	31	<i>Maxillaria discolor</i>
5	<i>Bletia catenulata</i>	32	<i>Maxillaria rufescens</i>
6	<i>Brassia koehlerorum</i>	33	<i>Maxillaria sanderiana</i>
7	<i>Brassia wagneri</i>	34	<i>Maxillaria variabilis</i>
8	<i>Catasetum saccatum</i>	35	<i>Oncidium baueri</i>
9	<i>Chaubardia heteroclita</i>	36	<i>Oncidium fuscum</i>
10	<i>Cynoches peruvianum</i>	37	<i>Oncidium hebraicum</i>
11	<i>Elleanthus capitatus</i>	38	<i>Oncidium laeve</i>
12	<i>Epidendrum flexuosum</i>	39	<i>Oncidium viperinum</i>
13	<i>Epidendrum ibaguense</i>	40	<i>Phragmipedium boessirianum</i>
14	<i>Epidendrum inguiculatum</i>	41	<i>Phragmipedium caudatum</i>
15	<i>Epidendrum musciferum</i>	42	<i>Pleurothallis floribunda</i>
16	<i>Epidendrum paniculatum</i>	43	<i>Pleurothallis guttulata</i>
17	<i>Epidendrum radicans</i>	44	<i>Pleurothallis perijaensis</i>
18	<i>Epidendrum rasemosum</i>	45	<i>Prosthechea crassilabia</i>
19	<i>Epidendrum secundum</i>	46	<i>Prosthechea vespa</i>
20	<i>Epidendrum splendens</i>	47	<i>Rudolfiella floribunda</i>
21	<i>Erycina pusilla</i>	48	<i>Sobralia biflora</i>
22	<i>Gongora aromatica</i>	49	<i>Sobralia fimbriata</i>
23	<i>Gongora bufonia</i>	50	<i>Sobralia macrantha</i>
24	<i>Heterotaxis superflua</i>	51	<i>Sobralia virginalis</i>
25	<i>Masdevallia jarae</i>	52	<i>Stelis argentata</i>
26	<i>Masdevallia kuhniorum</i>	53	<i>Stelis nuscifera</i>
27	<i>Masdevallia peristeria</i>	54	<i>Stelis vulcanica</i>

Tabla 12. Inventario de orquídeas del bosque de neblinas en La Divisoria, Perú.

N°	Especies	N°	Especies
1	<i>Acianthera lojae</i>	25	<i>Masdevallia jarae</i>
2	<i>Acianthera rubroviridis</i>	26	<i>Masdevallia kuhniorum</i>
3	<i>Acianthera rubroviridis</i>	27	<i>Masdevallia peristeria</i>
4	<i>Acianthera sicaria</i>	28	<i>Masdevallia rolfeana</i>
5	<i>Anguloa uniflora</i>	29	<i>Maxillaria alba</i>

N°	Especies	N°	Especies
6	<i>Bletia catenulata</i>	30	<i>Maxillaria brunnea</i>
7	<i>Comparettia falcata</i>	31	<i>Maxillaria discolor</i>
8	<i>Cranichis candida</i>	32	<i>Maxillaria variabilis</i>
9	<i>Cranichis muscosa</i>	33	<i>Oncidium fuscatum</i>
10	<i>Dichaea muricata</i>	34	<i>Oncidium laeve</i>
11	<i>Elleanthus capitatus</i>	35	<i>Phragmipedium boessirianum</i>
12	<i>Epidendrum flexuosum</i>	36	<i>Pleurothallis perijaensis</i>
13	<i>Epidendrum inguiculatum</i>	37	<i>Polystachya foliosa</i>
14	<i>Epidendrum isomerum</i>	38	<i>Prosthechea crassilabia</i>
15	<i>Epidendrum musciferum</i>	39	<i>Prosthechea vespa</i>
16	<i>Epidendrum radicans</i>	40	<i>Rodriguezia batemanii alba</i>
17	<i>Epidendrum secundum</i>	41	<i>Scaphyglottis graminifolia</i>
18	<i>Epidendrum splendens</i>	42	<i>Sobralia biflora</i>
19	<i>Erycina pusilla</i>	43	<i>Sobralia fimbriata</i>
20	<i>Habenaria monorrhiza</i>	44	<i>Sobralia virginalis</i>
21	<i>Habenaria repens</i>	45	<i>Stelis argentata</i>
22	<i>Kefersteinia jarae</i>	46	<i>Stelis nuscifera</i>
23	<i>Lycaste macrophylla</i>	47	<i>Stelis vulcanica</i>
24	<i>Masdevallia floribunda</i>	48	<i>Stenia jarae</i>

Discusión

Para preservar la diversidad de esta familia y de las poblaciones silvestres, así como garantizar la disponibilidad de recursos genéticos, es fundamental comprender su ecología y su composición florística. Resulta urgente y necesario llevar a cabo estudios taxonómicos y florísticos, ya que la pérdida de biodiversidad está ocurriendo a un ritmo más acelerado que los avances científicos realizados. Cada año se describen numerosas nuevas especies de plantas; sin embargo, aunque se observa un progreso en la investigación de ciertos grupos vegetales (como

Pteridophyta, *Solanaceae*, *Loasaceae*, *Urticaceae*, *Grossulariaceae* y *Asteraceae*), gran parte de la flora aún no ha sido estudiada, especialmente las orquídeas, debido a su complejidad morfológica y ecológica. Una evaluación del número de especies registradas en varios bosques relictos indica que la documentación en los herbarios sigue siendo incompleta (9).

En el Perú, las orquídeas están representadas por alrededor de 2120 especies; de las cuales, alrededor de una tercera parte son endémicas. Las orquídeas son, además, el grupo de plantas con mayor control para su comercialización en

el país, ya que casi todas las especies reportadas para Perú se encuentran en alguno de los apéndices CITES. Sin embargo, este número no se refleja en los listados producidos por el estado peruano, donde solo 301 especies de orquídeas han sido reconocidas dentro de alguna categoría de amenaza por el estado peruano (14.2% de las especies de orquídeas peruanas), el cual no ha variado desde el 2006. Desde hace unos años se ha venido planeando un Plan de Conservación de las Orquídeas del Perú por SERFOR, pero, al parecer, aún no existe fecha para su elaboración y/o publicación (6).

La cantidad de especies encontradas Tablas 7 y 8, esto se podría atribuir para las altitudes entre 1000-2100 m.s.n.m, que estas especies están siendo conservadas en forma natural por la fisiografía de la zona que no permite actividades agrícolas en cambio para el rango uno la actividades agrícola con la siembra de maíz, café, es muy frecuente así como en el rango cinco acá se tiene también la actividad agrícola con la siembra de granadilla, rocoto, col, zapallo entre otros, lo que ocasiona la fragmentación los ecosistemas presentes. En este sentido, Baltazar et al. (4), en condiciones de Tamaulipas, México; encontraron La riqueza de orquídeas presentó variación a lo largo del año: de las 29 especies registradas en Conrado Castillo, 11 se encontraron en la temporada de sequía previa a las lluvias (enero-abril), 14 durante las lluvias (mayo-

octubre) y siete después de las lluvias (noviembre-diciembre); algunas fueron registradas en más de una temporada. En tanto que, de las 18 especies reportadas en Los San Pedros, diez se hallaron en la época de sequía previa a las lluvias, ocho durante las lluvias y cinco en la temporada de sequía posterior a las lluvias; durante el muestreo, algunos taxones se encontraron en distintas épocas del año.

Por su parte, Reina Rodríguez y Hernández Riascos (11), estimaron en 71 el número de especies de orquídeas, distribuidas en 44 géneros presentes en este territorio RFPNESC en el pacífico colombiano, donde la relación de especies, su rango de distribución nacional, el rango altitudinal, los primeros reportes para el departamento y el país y la detección de endemismos. Además, notificaron que los géneros de Orchidaceae con mayor riqueza fueron *Epidendrum* (15 especies), seguido por *Maxillaria* (3 especies), *Platystele* (3 especies), *Vanilla* (3 especies) y *Scaphyglottis* (3 especies). A pesar de ello, el 45,8 % de los géneros presentes están representados por una sola especie. Por su parte, los géneros de *Bromeliaceae*, con mayor riqueza de especies, fueron *Guzmania* (10 especies), seguido por *Pitcairnia* y *Tillandsia* (cada uno con 4 especies), *Aechmea* y *Werauhia* (2 especies) y *Ronnbergia* y *Vriesea* (1 especie cada uno), resultados que coinciden con los encontrados en la región estudiada en el Perú.

Así, Rosado Martínez et al., (12), indican que, dentro del sistema tropical, uno de los principales gradientes que pueden ejercer grandes diferencias en la composición y diversidad de las especies vegetales es la altitud. En este contexto, Krömer et al. (13) identificaron un rango de elevación media (500 - 1200 metros sobre el nivel del mar) donde se observa una mayor diversidad de epífitas vasculares en los bosques montañosos de Bolivia, dentro del intervalo de 350 a 2200 m.s.n.m. Kuper et al. (14) sugieren que la rotación de especies entre las epífitas neotropicales de montaña es más elevada que en las de las tierras bajas. Los sitios de muestreo que están ubicados a solo unos kilómetros de distancia suelen presentar diferencias significativas en sus inventarios de especies de epífitas.

Por su parte, Cadena y Oña (15) menciona que actualmente hay un registro de 4187 especies de orquídeas en Ecuador, con un notable nivel de endemismo que incluye 1707 especies reportadas para el país; un total de 3035 especies de orquídeas han sido recolectadas y conservadas en herbarios. Las orquídeas se distribuyen desde el nivel del mar hasta los 4500 m.s.n.m., con una mayor diversidad entre los 1000 y 3000 m.s.n.m., alcanzando su máximo pico de diversidad entre los 1500 y 2500 m.s.n.m.

CONCLUSIÓN

Los índices de diversidad alfa, calculados mediante el método de Simpson, revelan que los bosques de neblina de Carpish y La Divisoria

presentan altos niveles de diversidad. En contraste, los índices obtenidos a través del método de Shannon y Weaver indican una diversidad media en estos bosques, excepto en el rango altitudinal 2 de La Divisoria, donde se observa una alta diversidad. Las orquídeas están bien representadas en ambos ecosistemas, destacando los géneros *Epidendrum* y *Maxillaria*, que albergan el mayor número de especies. Además, los bosques de neblina de Carpish superan a los de La Divisoria en cuanto a la riqueza de especies. Estos hallazgos subrayan la importancia ecológica de estos bosques y su papel en la conservación de la biodiversidad, así como la necesidad de realizar estudios adicionales para comprender mejor su dinámica y composición.

CONFLICTO DE INTERESES. No existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cascante-Marín A, Trejos C. Diversidad y vulnerabilidad de la flora orquideológica de un bosque montano nuboso del Valle Central de Costa Rica. *Lankesteriana*, 2019. 19(1): 31-55. https://lc.cx/iu_QnO
2. Califa S, Bravo L. Patrones de distribución de orquídeas en un relicto de bosque altoandino, Cundinamarca-Colombia. *Colombia forestal*. 2020. 23(1): 5-19. <https://lc.cx/n5BPUY>
3. Arias-Sapa A, Sánchez-Solís N, Calatayud-Hermoza G, Huamantupa-Chuquimaco I. Sinopsis taxonómica y patrones fenológicos del género *Sobralia* Ruiz & Pav. (Orchidaceae) provenientes del bosque Amazónico del Valle de Kosñipata, Cusco, sur peruano. *GENTRYANA*. 2023. 2(1): 20-33. <https://lc.cx/UkfGrP>

4. Baltazar S, Solano R. Diversidad y rasgos funcionales de orquídeas terrestres en bosques de un área natural protegida del noreste de México. *Botanical Sciences*. 2020. 98(4): 468-485. <https://lc.cx/VC0Gc4>
5. Gale S, Fischer G, Cribb P, Fay M. Orchid conservation: bridging the gap between science and practice. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2018. 186:425-434. <https://lc.cx/3TUOBW>
6. Martel C. Análisis de la categorización del estado de conservación de las orquídeas en el Perú: el caso del género *Telipogon*. *Revista peruana de biología*. 2020. 27(2): 267-270. <https://lc.cx/n0G-b1>
7. Pérez M, Yalerqué C. Foto libro para generar conciencia sobre el tráfico ilícito de las orquídeas a través del conocimiento del circuito comercial formal. *Zincografía*. 2024. 8(15): 67-76. <https://lc.cx/HBvzzA>
8. Baltazar S, Herrera M, Solano R. Diversidad de Orchidaceae en un área de la Sierra Madre Oriental en Tamaulipas, México. *Acta botánica mexicana*. 2023. (130). <https://lc.cx/BwflYJ>
9. Araujo V, Villar J, Araujo E, Quispe J. Estudio sobre diversidad de orquídeas y el estado de sus poblaciones en Huachocolpa Huancavelica, como base de su desarrollo sostenible. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2022. 6(3): 3632-3641. <https://lc.cx/693XQw>
10. Moreno C. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, .1. Zaragoza. 2001. 84(922495): 2. <https://lc.cx/dXVlvB>
11. Reina G, Hernández Y. Primer catálogo de orquídeas y bromelias de la Reserva Forestal Protectora Nacional de los ríos Escalerete y San Cipriano, Pacífico colombiano. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 2021. 17(2): 71-90. <https://lc.cx/hilYit>
12. Rosado M, Santos-Murgas A, Cobos-Hernández R, Carrero D, Flórez-Villamizar I. Diversidad taxonómica de abejas de las orquídeas (apidae: Euglossini) y su relación con factores ambientales en áreas periurbanas de Yopal, Casanare, Colombia. *Biotempo*. 2024. 21(2). <https://lc.cx/U4P20y>
13. Krömer T, Gradsein S, Acebey A. Diversity and ecology of vascular epiphytes in natural montane forests and fallows of Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 2007. 42(1): 22-33. <https://lc.cx/xPDWcE>
14. Küper W, Kreft H, Nieder J, Köster N, Barthlott W. Large-scale diversity patterns of vascular epiphytes in Neotropical montane rain forests. *Journal of Biogeography*. 2004. 31(9): 1477-1487. https://lc.cx/l_L9LO
15. Cadena M, Oña E. Diversidad de Orquídeas de los Bosques Deciduo y Siempre Verde Estacional en Manabí, Ecuador. *Revista Científica Hallazgos*. 2018. 3(2): 154-168. https://lc.cx/D1_vGb

ACERCA DE LOS AUTORES

Fernando Pérez Tarazona. Ingeniero Agrónomo, UNAS - Perú. Economista, UIG - Perú. Maestría en Agricultura Sustentable, UNA La Molina, Perú. Director de Medio Ambiente, Coordinador, Supervisor y Facilitador de Programa de Desarrollo Alternativo en cuencas cocaleras de Perú. Especialista en producción agrícola para cultivos tropicales, Proyectos Productivos y Planes de Negocio, Perú.

José Kalión Guerra Lu. Bachiller en Ciencias biológicas. Biólogo en la Universidad Nacional de Trujillo. Maestría en Recursos Naturales, Mención Recurso Vegetal, Universidad Nacional de Cajamarca. Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Post Doctorado en

Ciencia, en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Docente principal a Dedicación Exclusiva en la Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María, docente invitado de la escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan; publicaciones en revistas indexadas en Scopus y Scielo. Investigador RENACYT Nivel VI, especializado en Biodiversidad, recursos Naturales y Medio Ambiente, con participación como ponente en eventos nacionales e internacionales, Perú.

Leiwer Flores Flores. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables de la UNAS. Maestro en Gestión Ambiental – UNC. Docente en la Universidad Nacional de Cajamarca. Ponente en Congresos y Simposio Nacionales, Perú.



Efecto del manitol y sorbitol en la conservación in vitro de *Solanum tuberosum* L.

Effect of mannitol and sorbitol on the in vitro conservation of *Solanum tuberosum* L.

Efeito do manitol e sorbitol na conservação in vitro de *Solanum tuberosum* L.

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.334>

Jorge Manuel Montalvo Otivo
jorge.montalvo@unh.edu.pe

Juan Luis Mancilla Condor
juan.mancilla@unh.edu.pe

Rodolfo Leon Gomez
rodolfo.leon@unh.edu.pe

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica-Perú

Candelaria Flores Miranda
candelaria.flores@unh.edu.pe

Leonor Neda Carbajal Cuadros
carbajalleonor95@gmail.com

Artículo recibido: 17 de octubre 2024 / Arbitrado: 25 de noviembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

La conservación in vitro supera limitaciones de métodos convencionales, ofreciendo plantas libres de patógenos con mayor uniformidad genética. El propósito de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de manitol y sorbitol en el desarrollo de los microtubérculos producidos a partir de explantes in vitro de *Solanum tuberosum* L., con el fin de optimizar las condiciones para su conservación. Se diseñó un experimento completamente aleatorizado con arreglo factorial, que incluyó tres niveles de concentración, 0%, 2% y 4%, de ambos agentes osmóticos. Los hallazgos indican que concentraciones bajas, 2%, de manitol y sorbitol favorecieron un crecimiento moderado de los explantes como osmoprotectores. Sin embargo, al 4% se observó una disminución significativa en el desarrollo por estrés osmótico excesivo. La interacción entre ambos agentes a altas concentraciones tuvo un efecto sinérgico negativo en el crecimiento. Este estudio resalta la importancia de optimizar manitol y sorbitol en cultivos in vitro para ralentizar el crecimiento sin toxicidad y conservar el germoplasma.

Palabras clave: Conservación in vitro; Manitol; Sorbitol; Osmoprotección; *Solanum tuberosum* L.

ABSTRACT

In vitro conservation overcomes limitations of conventional methods, offering pathogen-free plants with greater genetic uniformity. The purpose of the present research was to evaluate the effect of different concentrations of mannitol and sorbitol on the development of microtubers produced from in vitro explants of *Solanum tuberosum* L., in order to optimize the conditions for their conservation. A completely randomized experiment with a factorial arrangement was designed, which included three concentration levels, 0%, 2% and 4%, of both osmotic agents. The findings indicate that low concentrations, 2%, of mannitol and sorbitol favored moderate growth of the explants as osmoprotectants. However, at 4% a significant decrease in development was observed due to excessive osmotic stress. The interaction between both agents at high concentrations had a negative synergistic effect on growth. This study highlights the importance of optimizing mannitol and sorbitol in in vitro cultures to slow growth without toxicity and conserve germplasm.

Key words: In vitro preservation; Mannitol; Sorbitol; Osmoprotection; *Solanum tuberosum* L.

RESUMO

A conservação in vitro supera as limitações dos métodos convencionais, oferecendo plantas livres de patógenos e com maior uniformidade genética. O objetivo da presente investigação foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de manitol e sorbitol no desenvolvimento de microtubérculos produzidos a partir de explantes in vitro de *Solanum tuberosum* L., a fim de otimizar as condições para sua conservação. Foi delineado um experimento inteiramente casualizado com arranjo fatorial, que incluiu três níveis de concentração, 0%, 2% e 4%, de ambos os agentes osmóticos. Os resultados indicam que baixas concentrações, 2%, de manitol e sorbitol favoreceram o crescimento moderado dos explantes como osmoprotetores. No entanto, a 4% foi observada uma diminuição significativa no desenvolvimento devido ao estresse osmótico excessivo. A interação entre ambos os agentes em altas concentrações teve um efeito sinérgico negativo no crescimento. Este estudo destaca a importância de otimizar o manitol e o sorbitol em culturas in vitro para retardar o crescimento sem toxicidade e preservar o germoplasma.

Palavras-chave: Conservação in vitro; Manitol; Sorbitol; Osmoproteção; *Solanum tuberosum* L.

INTRODUCCIÓN

La conservación *in vitro* de especies vegetales es una estrategia fundamental para preservar la biodiversidad y mantener la viabilidad y la calidad genética de las especies vegetales a largo plazo. Según Almeida y Díaz (1), esta técnica se utiliza ampliamente para conservar especies agrícolas y forestales, asegurando que se puedan recuperar en el futuro. La capacidad de conservar germoplasma *in vitro* no solo protege las variedades locales, sino que también facilita el mejoramiento genético y la investigación agronómica (2).

Esta técnica se basa en la manipulación de tejidos vegetales en condiciones controladas, permitiendo su mantenimiento a largo plazo y evitando riesgos asociados al deterioro genético y fitosanitario. Las técnicas de conservación a corto plazo se emplean principalmente en bancos de germoplasma, donde se utilizan medios de cultivo con agentes osmóticos para inducir un crecimiento lento de los explantes, disminuyendo su metabolismo y prolongada viabilidad (3). El medio Murashige and Skoog (MS), ampliamente reconocido como estándar, puede modificarse con reguladores de crecimiento y carbohidratos específicos para optimizar su uso en la conservación *in vitro* (4, 5).

La conservación a largo plazo incluye la crioconservación, una técnica que consiste en el almacenamiento de tejidos vegetales en nitrógeno líquido a una temperatura de -196°C. Este método

permite preservar el material genético por tiempo indefinido, asegurando la viabilidad de los tejidos tras el proceso de descongelación, siempre que se sigan protocolos adecuados para evitar daños por formación de cristales de hielo o estrés osmótico. La crioconservación es especialmente útil para la preservación de recursos genéticos valiosos y especies en peligro, proporcionando una solución eficaz para la conservación *ex situ* a largo plazo (6).

Por ello, el cultivo de tejidos *in vitro* se ha convertido en una herramienta esencial en la biotecnología agrícola, permitiendo la propagación y conservación de especies de interés, como la papa *Solanum tuberosum* L., que constituye uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, tanto por su valor nutricional como por su versatilidad en la producción de alimentos. Este tubérculo, originario de los Andes, representa un recurso clave para la seguridad alimentaria global, al ocupar el cuarto lugar en producción detrás del trigo, el arroz y el maíz (7).

Este cultivo ofrece ventajas significativas, como la reducción del espacio necesario para el crecimiento de las plantas y la posibilidad de mantener condiciones controladas que favorecen el desarrollo de los explantes (8). Sin embargo, su cultivo enfrenta desafíos significativos como el estrés osmótico causado por condiciones ambientales adversas, el cual puede afectar negativamente su desarrollo y rendimiento y el manejo del crecimiento de los explantes (9).

En este contexto, la adición de agentes osmóticos como el manitol y el sorbitol en los medios de cultivo ha emergido como una estrategia prometedora para simular condiciones de estrés y promover respuestas fisiológicas que mejoren la tolerancia de las plantas (10). Estos compuestos contribuyen al control del potencial osmótico y la estabilización del metabolismo celular, reduciendo el estrés hídrico y oxidativo, además de facilitar la conservación de recursos genéticos bajo condiciones controladas (11).

En estudios recientes, como los desarrollados por Wada (12) y Sajid y Aftab (13), se ha demostrado que estos compuestos son efectivos para ralentizar el crecimiento de los explantes y mantener la estabilidad genética, minimizando el riesgo de mutaciones somanucleares. Además, son reguladores de crecimiento y se han utilizado ampliamente para controlar el desarrollo de brotes y la inducción de microtubérculos *in vitro*. Estos reguladores actúan promoviendo la división y elongación celular, así como el desarrollo de estructuras específicas según las condiciones de cultivo.

En consecuencia, la aplicación práctica del uso de manitol y sorbitol en la conservación *in vitro* tiene implicaciones significativas para la agricultura moderna. Con el aumento del interés por la sostenibilidad y la conservación de recursos genéticos, estas técnicas ofrecen soluciones viables para mantener variedades locales y

mejorar la seguridad alimentaria. La capacidad para conservar germoplasma durante períodos prolongados permite a los investigadores realizar estudios genéticos y agronómicos sin comprometer las variedades originales (14).

Además, estas técnicas son especialmente relevantes en contextos donde las condiciones ambientales se están modificando rápidamente debido al cambio climático. La posibilidad de conservar variedades adaptadas a condiciones específicas puede ser clave para garantizar que los cultivos sigan siendo productivos frente a nuevos desafíos ambientales (15).

Independientemente de las ventajas expuestas, la conservación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. enfrenta diversas limitaciones que abarcan aspectos técnicos, económicos y ambientales, a nivel global y en América Latina, que afectan su implementación y eficacia y deben ser considerados para mejorar las prácticas de conservación (16). Por otra parte, la conservación *in vitro* requiere condiciones específicas que pueden ser difíciles de mantener. La técnica implica la modificación del medio de cultivo y el control riguroso de factores como la temperatura y la concentración de nutrientes, lo que puede resultar en un crecimiento subóptimo si no se manejan adecuadamente. Además, existe el riesgo de que los explantes sufran daños por condiciones inadecuadas, como la alta concentración osmótica o el oscurecimiento de los tejidos, lo que puede

comprometer la viabilidad del material conservado (17).

De igual manera, la implementación de estas técnicas puede ser costosa debido a la necesidad de equipamiento especializado y condiciones controladas. Esto es especialmente relevante en países en desarrollo donde los recursos pueden ser limitados. La dependencia de insumos importados para la producción de cultivos también incrementa los costos, lo que puede limitar la disposición de los agricultores para adoptar estas tecnologías. En adición, existe una brecha en el conocimiento técnico sobre las mejores prácticas para la conservación *in vitro* entre los agricultores y técnicos en muchas regiones. La falta de capacitación adecuada limita la capacidad para implementar efectivamente estos métodos, afectando la calidad y la cantidad del material conservado (18).

En América Latina, las condiciones climáticas pueden ser un factor limitante significativo. El cultivo de *Solanum tuberosum* L. requiere temperaturas específicas para su crecimiento óptimo; variaciones extremas pueden afectar negativamente tanto su desarrollo como su conservación *in vitro*. Además, el cambio climático presenta nuevos desafíos al alterar estos patrones climáticos, complicando aún más las prácticas agrícolas (19).

Así mismo, muchos países latinoamericanos dependen en gran medida de fertilizantes químicos para maximizar la producción agrícola.

Sin embargo, el uso excesivo de estos insumos puede llevar a problemas ambientales y de salud pública, además de afectar negativamente la calidad del suelo, lo que a su vez impacta la efectividad de las técnicas *in vitro*. Esto crea un ciclo vicioso donde se requiere más insumo para mantener rendimientos, lo cual no es sostenible a largo plazo. A esta situación se añade la falta de incentivos gubernamentales o apoyo financiero, que limita las iniciativas para establecer bancos de germoplasma y programas de conservación *in vitro* que podrían beneficiar a los agricultores locales (20).

Abordar estos desafíos requiere un enfoque integral que incluya mejoras técnicas, capacitación adecuada y políticas favorables que promuevan prácticas sostenibles. Es por ello pertinente considerar ¿cuál es el efecto de diferentes concentraciones de manitol en el crecimiento y desarrollo de explantes de *Solanum tuberosum* L. durante la conservación *in vitro*?, ¿existen interacciones significativas entre las concentraciones combinadas de manitol y sorbitol que afecten el rendimiento de los explantes durante el cultivo *in vitro*?

Teniendo en cuenta este contexto, el propósito de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de manitol y sorbitol en el desarrollo de los microtubérculos producidos a partir de explantes *in vitro* de *Solanum tuberosum* L., con el fin de optimizar las condiciones para su conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un diseño experimental completamente aleatorizado con un arreglo factorial de dos factores, cada uno con tres niveles, 2x3, permitiendo evaluar de manera integral el efecto de ambos en el fenómeno estudiado. El factor 1 consistió en las concentraciones de manitol, que incluyeron los niveles del 0%, 2% y 4%. El factor 2 correspondió a las concentraciones de sorbitol, también con niveles del 0%, 2% y 4%.

Los explantes utilizados en esta investigación fueron obtenidos de brotes axilares de plantas madre de la especie vegetal *Solanum tuberosum* L., variedad Mariva; libres de patógenos y previamente cultivadas *in vitro*.

Preparación del medio de cultivo:

Se utilizó el medio suplementado con vitaminas y agar al 0.8%, más la incorporación de manitol y sorbitol en las concentraciones indicadas. Todos los medios fueron esterilizados por autoclave a 121 °C durante 20 minutos.

Procedimiento para el cultivo *in vitro* de *Solanum tuberosum* L., mejorada, variedad Mariva:

Los explantes se sembraron en bolsas de polipropileno con 20 mL de medio de cultivo, bajo condiciones de flujo laminar. Se emplearon

brotes apicales, siguiendo protocolos similares a los desarrollados para la micropropagación de otras especies como el Chile chiltepín y la Pitahaya, destacando la importancia de condiciones estériles y combinaciones óptimas de reguladores de crecimiento.

Condiciones de crecimiento o desarrollo de la plántula:

- Temperatura: 22 ± 2 °C.
- Fotoperiodo: 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad.
- Humedad relativa: 70 %

Variables de evaluación:

Crecimiento Vegetativo: Longitud de brotes (cm). Medida de altura a los 29, 62 y 93 días, respectivamente.

Análisis Estadístico:

Se llevó a cabo un análisis de varianza, ANOVA, para evaluar el efecto de los tratamientos y su interacción en las variables de respuesta. La combinación de diferentes concentraciones de sorbitol y manitol, junto con las réplicas, permitió evaluar la influencia de estos factores en la variable de respuesta elegida Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de varianza.

Factor	Tipo	Niveles	Valores
A. Sorbitol	Fijo	3	Sorbitol 2%; Sorbitol 4%; Sorbitol 0%
B. Manitol	Fijo	3	Manitol 0%; Manitol 2%; Manitol 4%
Rep1	Fijo	3	1; 2; 3

Para ello, se utilizó un modelo de diseño completamente aleatorizado, con un arreglo factorial. Las comparaciones post hoc se realizaron mediante la prueba de Dunnett con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. El análisis fue realizado utilizando el software estadístico Minitab.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los hallazgos obtenidos, que incluyen análisis estadísticos que corroboran la significancia de los efectos observados y sus implicaciones en el contexto del estudio.

Los datos presentados en la Tabla 2, muestran las comparaciones múltiples, utilizando el método de Dunnett, con un nivel de confianza del 95% y revelan información significativa sobre el efecto de diferentes concentraciones de sorbitol en la altura de las plantas a los 29, 62 y 93 días. En el grupo control, sorbitol 0%, se observa que la altura promedio a los 29 días es de 2.33 cm, a los 62 días de 4.24 cm y a los 93 días de 5.17 cm, todas estas medias no presentan diferencias significativas entre sí.

Tabla 2. Efecto de diferentes concentraciones de sorbitol en la altura de las plantas.

SORBITOL	N	Altura a los 29 días		Altura a los 62 días		Altura a los 93 días	
		Media Agrupación		Media Agrupación		Media Agrupación	
Sorbitol 0% (Control)	9	2.33	A	4.24	A	5.17	A
Sorbitol 2%	9	1.01		2.51		3.22	
Sorbitol 4%	9	0.64		1.32		1.86	

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Por otro lado, las plantas tratadas con sorbitol al 2% y al 4% presentan alturas promedio notablemente inferiores en comparación con el control, alcanzando solo 1.01 cm y 0.64 cm a los 29 días, respectivamente, y mostrando un crecimiento

limitado en las mediciones posteriores, 2.51 cm y 1.32 cm a los 62 días; 3.22 cm y 1.86 cm a los 93 días. Las medias correspondientes a estos tratamientos son significativamente diferentes del grupo control e indican un efecto inhibitorio

del tratamiento sobre el crecimiento de la planta, lo que podría implicar un impacto adverso en su desarrollo y salud general. Este comportamiento podría ser relevante para futuras investigaciones sobre el uso de azúcares como reguladores del crecimiento vegetal o su efecto en condiciones de estrés ambiental.

El análisis de los datos presentados en la Tabla 3, que evalúa el efecto de diferentes concentraciones de manitol en la altura de las

plantas, revela resultados significativos. En el grupo control, manitol al 0%, la altura promedio a los 29 días es de 2.21 cm, a los 62 días alcanza 4.24 cm, y a los 93 días llega a 5.18 cm, lo que indica que no son significativamente diferentes entre sí. En contraste, las plantas tratadas con manitol al 2% y al 4% muestran alturas promedio considerablemente menores, con 1.16 cm y 0.62 cm a los 29 días, respectivamente.

Tabla 3. Efecto de diferentes concentraciones de manitol en la altura de las plantas.

MANITOL	N	Altura a los 29 días		Altura a los 62 días		Altura a los 93 días	
		Media Agrupación		Media Agrupación		Media Agrupación	
Manitol 0% (Control)	9	2.21	A	4.24	A	5.18	A
Manitol 2%	9	1.16		2.51		3.42	
Manitol 4%	9	0.62		1.32		1.65	

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Las mediciones en los días posteriores también reflejan un crecimiento limitado, alcanzando solo 2.51 cm y 1.32 cm a los 62 días, y 3.42 cm y 1.65 cm a los 93 días. Las medias correspondientes a estos tratamientos confirman que son significativamente diferentes del grupo control. Estos resultados sugieren que la adición de manitol, incluso en concentraciones relativamente bajas, tiene un efecto negativo en el crecimiento de las plantas,

lo que podría implicar un impacto adverso en su desarrollo general. Este resultado ofrece información relevante sobre el uso de manitol en cultivos y su potencial efecto como agente osmótico o regulador del crecimiento vegetal en condiciones específicas. En la Figura 1, se observa la representación gráfica del efecto de ambos tratamientos sobre el crecimiento de la planta.

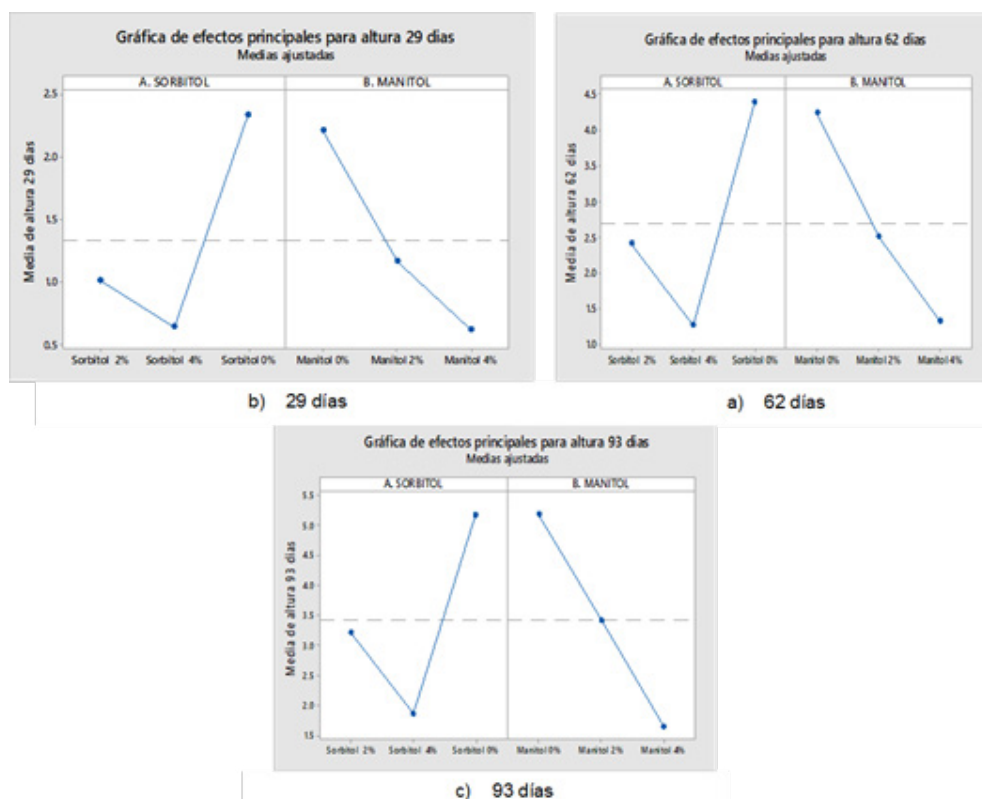


Figura 1. Efecto del sorbitol y el manitol sobre el crecimiento de la planta a los (a) 29, (b) 62 y (c) 93 días.

El análisis de los datos mostrados en la Tabla 4 y representados en la Figura 2, muestran el impacto de diferentes combinaciones de concentraciones de sorbitol y manitol en la altura de las plantas a los 29, 62 y 93 días. En el tratamiento control T9, que consiste en sorbitol 0%

y manitol 0%, se observa la mayor altura promedio, alcanzando 4.38 cm a los 29 días, 6.47 cm a los 62 días y manteniendo la misma medida a los 93 días, lo que indica que no son significativamente diferentes entre sí.

Tabla 8. Efecto combinado de diferentes concentraciones de sorbitol y manitol en la altura de las plantas.

Trat.	A. SORBITOL*B. MANITOL	Nº	Altura a los 29 días		Altura a los 62 días		Altura a los 93 días			
			Media Agrupación		Media Agrupación		Media Agrupación			
T9	Sorbitol 0% Manitol 0% (Control)	3	4.38	A	T9	6.47	A	T9	6.47	A
T8	Sorbitol 0% Manitol 2%	3	1.80		T6	4.2	A	T6	5.88	A
T5	Sorbitol 2% Manitol 2%	3	1.22		T8	4.13	A	T8	5.73	A
T3	Sorbitol 4% Manitol 0%	3	1.13		T7	2.55		T7	3.30	
T6	Sorbitol 2% Manitol 0%	3	1.10		T5	2.17		T3	3.18	
T7	Sorbitol 0% Manitol 4%	3	0.82		T3	2.05		T5	2.83	
T4	Sorbitol 2% Manitol 4%	3	0.72		T2	1.22		T2	1.68	
T2	Sorbitol 4% Manitol 2%	3	0.47		T4	0.87		T4	0.93	
T1	Sorbitol 4% Manitol 4%	3	0.32		T1	0.55		T1	0.72	

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

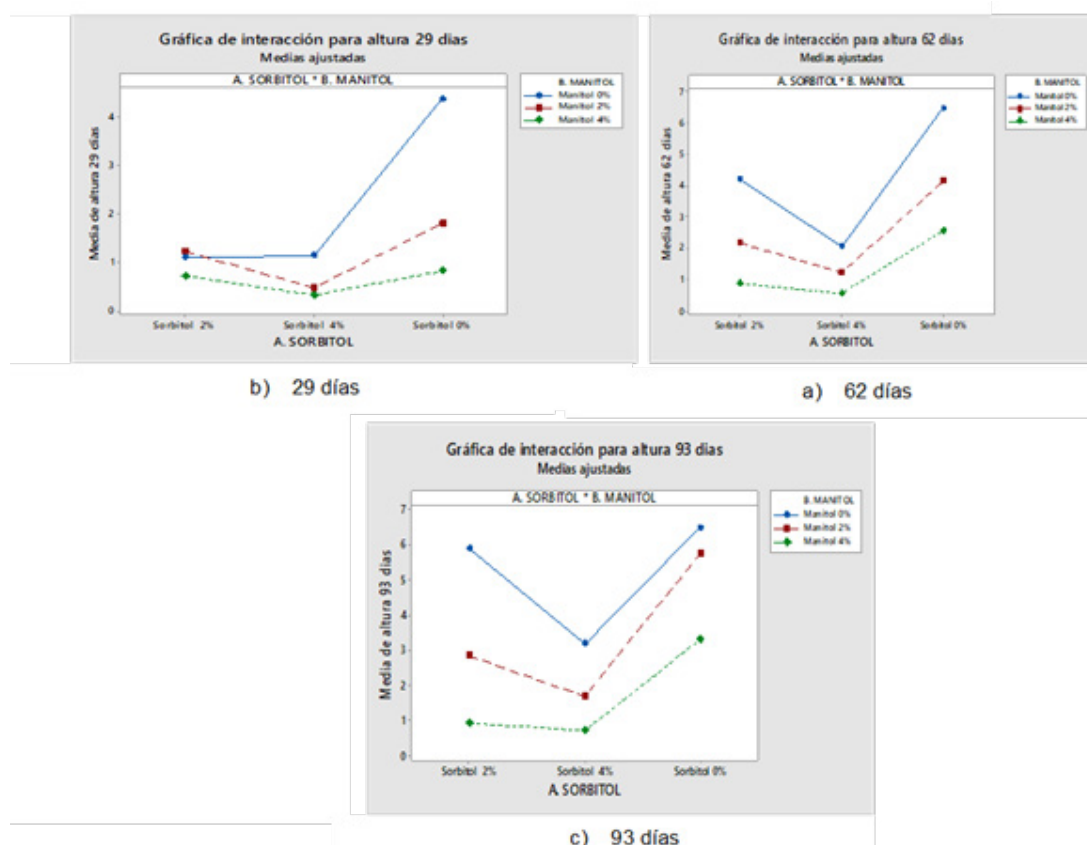


Figura 2. Efecto de la interacción del Sorbitol y el Manitol combinados sobre el crecimiento de la planta a los 29 (a), (62) y (93) días.

En contraste, los tratamientos con sorbitol y manitol presentan alturas notablemente inferiores. El tratamiento T8, sorbitol 0% y manitol 2%, muestra alturas de 1.80 cm a los 29 días, 4.20 cm a los 62 días y 5.88 cm a los 93 días. Los tratamientos que incluyen concentraciones más altas, como T1, sorbitol 4% y manitol 4%, muestran las alturas más bajas, con solo 0.32 cm a los 29 días, 0.55 cm a los 62 días y 0.72 cm a los 93 días. Estos resultados indican que ambos ejercen un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas, siendo más pronunciado en las combinaciones que incluyen mayores concentraciones de ambos compuestos. Estos hallazgos sugieren que su uso

en cultivos debe ser cuidadosamente considerado, ya que sus efectos osmóticos pueden limitar el crecimiento vegetal en condiciones específicas.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian el impacto dual de las concentraciones de sorbitol y manitol en el crecimiento de los explantes, destacando tanto los efectos positivos a bajas concentraciones como la inhibición provocada por altas concentraciones. Ambos tratamientos demostraron un efecto osmoprotector en bajas concentraciones, favoreciendo un crecimiento moderado de los

explantes. Este resultado concuerda con estudios previos como el realizado por Freire (21), que sugiere que estos compuestos, en dosis moderadas, ayudan a regular el potencial osmótico sin causar estrés excesivo, y considera que la propagación de plantas, a través de la embriogénesis somática, representa un método eficiente de multiplicación clonal de plantas.

Estos hallazgos son corroborados por estudios previos en cultivos como la pitahaya, realizados por Salazar et al., (22), donde la suplementación con bencilaminopurina mejoró significativamente la tasa de brotación. La presente investigación evidencia que tanto el sorbitol como el manitol pueden actuar como reguladores osmóticos efectivos a bajas concentraciones, mejorando la adaptación de los explantes al medio de cultivo *in vitro*, lo que concuerda con Peña et al., (23), quienes demuestran que estos agentes osmóticos favorecen el equilibrio hídrico y reducen el estrés oxidativo en cultivos vegetales. Su uso potencial en la conservación de germoplasma ha sido reportado por Bhatia y Bera (24), como clave para mantener la viabilidad de tejidos a largo plazo en bancos de germoplasma bajo condiciones controladas.

En la presente investigación las concentraciones de 4% generaron efectos adversos significativos en el crecimiento, destacando la importancia de optimizar las dosis para evitar estrés osmótico excesivo; lo que coincide con los resultados obtenidos por Roca

y Mroginski (25), quienes encontraron que a concentraciones elevadas, estos agentes osmóticos causaron estrés significativo, como lo observado en otros sistemas vegetales bajo condiciones similares. Este fenómeno es consistente con los resultados de Romero et al., (26), quienes demostraron que estas dosis se asocian a niveles elevados de agentes osmóticos con deshidratación celular y daño oxidativo.

Estos resultados son consistentes con Pineda et al., (10), que asocia altas concentraciones de agentes osmóticos con deshidratación celular y alteración de procesos metabólicos en tejidos vegetales. Estos autores obtuvieron la reducción del crecimiento de papa chaucha en condiciones *in vitro* con la adición de manitol en diferentes concentraciones, la cual presentó el efecto de reducir el crecimiento en la altura y número de nudos, obteniendo explantes con medias de 3,91 de altura de planta y 3,80 número de brotes por explante con el tratamiento de manitol al 8%.

Estos autores recomiendan realizar más evaluaciones a los seis y ocho meses para determinar hasta qué punto el manitol permite reducir el crecimiento de los explantes y a la vez mantener la viabilidad del germoplasma de papa en condiciones *in vitro*, y también determinar el efecto de otros agentes osmóticos en la reducción del crecimiento de papa. Esto subraya la necesidad de realizar estudios más detallados sobre las respuestas fisiológicas específicas de *Solanum tuberosum* L. a diferentes agentes osmóticos.

Por otro lado, Carmona (27), también reportó que el sorbitol actúa como un agente osmótico que limita la disponibilidad de agua y nutrientes, lo que puede ser beneficioso para la conservación a largo plazo, pero perjudicial si se aplica en exceso. En su investigación sobre ñame, se encontró que una concentración moderada de sorbitol favoreció la supervivencia y recuperación de explantes, mientras que niveles más altos llevaron a un crecimiento deficiente.

En el contexto del uso combinado de manitol y otros inhibidores del crecimiento, se coincide con Chourasia et al., (28), quienes documentaron que la adición de manitol al 2% en medios MS resultó en un crecimiento controlado y una alta tasa de supervivencia para clones de boniato conservados durante largos periodos. Este hallazgo refuerza la idea de que las concentraciones adecuadas de osmorreguladores son cruciales para optimizar las condiciones *in vitro* y asegurar la viabilidad del material vegetal.

De manera similar, dos Santos et al., (29), compararon el efecto de diferentes osmorreguladores e inhibidores de crecimiento en la conservación *in vitro* de la caña de azúcar. Sus hallazgos indicaron que tanto el manitol como el sorbitol tienen un efecto positivo a bajas concentraciones, pero a niveles más altos, estos compuestos pueden inhibir el crecimiento y afectar negativamente la viabilidad de los explantes. Este trabajo subraya la necesidad de un enfoque

equilibrado en la aplicación de osmorreguladores para maximizar los beneficios en cultivos *in vitro*.

En correspondencia, un estudio realizado por Bello et al., (30), también corroboró estos hallazgos al observar que el uso de manitol y sorbitol como osmorreguladores influye significativamente en la supervivencia y desarrollo de plantas *in vitro*, destacando que las concentraciones adecuadas son cruciales para evitar efectos adversos en el crecimiento. La investigación sugiere que un manejo cuidadoso de estos compuestos puede prolongar los períodos de subcultivo y mejorar la conservación efectiva.

En esta misma línea de hallazgos, De Guglielmo et al., (31), plantean que la interacción negativa observada en combinaciones altas sugiere que el uso simultáneo de manitol y sorbitol debe ser cuidadosamente calibrado y que las mezclas desbalanceadas de reguladores y agentes osmóticos pueden generar estrés acumulativo, afectando negativamente el desarrollo de los explantes. Sin embargo, en concentraciones moderadas, podrían tener un efecto sinérgico positivo al regular el potencial osmótico sin inducir toxicidad celular.

Estos estudios en conjunto refuerzan la idea de que los efectos del sorbitol y manitol son altamente dependientes de su concentración, mostrando tanto beneficios como inhibiciones en el crecimiento vegetal, lo cual es fundamental para optimizar las técnicas de cultivo *in vitro*.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio sobre el efecto de diferentes concentraciones de sorbitol y manitol en el crecimiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. a los 29, 62 y 93 días revelan patrones claros y significativos. Tanto el sorbitol como el manitol, en concentraciones bajas del 2%, demostraron un efecto osmoprotector, al mejorar moderadamente el crecimiento de los explantes. Esto sugiere que pueden ser utilizados como agentes efectivos en la propagación *in vitro*, ayudando a mitigar el estrés osmótico de manera controlada.

En contraste, las concentraciones elevadas de sorbitol y manitol al 4% ejercieron un efecto inhibitorio significativo sobre el desarrollo de los explantes. Este resultado confirma que un exceso de agentes osmóticos puede inducir estrés celular, afectando negativamente tanto el metabolismo como el crecimiento.

Asimismo, la combinación de altas concentraciones de sorbitol y manitol generó un efecto sinérgico negativo en el crecimiento, lo que resalta la necesidad de calibrar cuidadosamente las dosis para evitar efectos adversos. Aunque ambos agentes mostraron patrones similares, el manitol tuvo un impacto ligeramente positivo a bajas concentraciones, lo que podría estar relacionado con su capacidad para regular el balance osmótico celular.

Los hallazgos obtenidos pueden contribuir a proporcionar insumos para optimizar protocolos biotecnológicos enfocados en la propagación y conservación de este cultivo de importancia económica, favoreciendo soluciones sostenibles frente a los desafíos climáticos y productivos actuales. Además, estos avances podrían evaluarse en estrategias de mejora genética y conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos valiosos.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almeida V, Díaz A. Análisis bioético (subjetivismo moral) desde la percepción de los clínicos sobre la situación de los embriones sometidos a fecundación *in vitro*. Quito-Ecuador. Acta bioethica. 2022;28(2):239-47. https://lc.cx/_VPGh-
2. Álvarez A, Santiago L, Carro S, Zamora V, Cueto J, Puentes A, et al. Avances en la aplicación de la radiomutagenesis *in vitro* para el mejoramiento genético de portainjertos cítricos. Nucleus. 2023(73):12-7. <https://lc.cx/3zKX6M>
3. López S, Mostacero J, Gil A, López A, De La Cruz A, Villena L, et al. Tuberización *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. var. "Cochacina" de pulpa morada. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 2023;24(1):e2882. <https://lc.cx/d95-xp>
4. Nagy A, Oros P, Cătană C, Antofie M, Sand C. In Vitro Cultivation of Purple-Fleshed Potato Varieties: Insights into Their Growth and Development. Horticulturae. 2023;9(4):425. <https://lc.cx/iyaLnf>
5. Doğan M. Influence of different concentrations of Murashige and Skoog medium on multiple shoot regeneration of *Staurogyne repens* (Nees) Kuntze. Journal of Engineering Technology Applied Sciences. 2022;7(1):61-7. <https://lc.cx/EEmXWX>

6. Guo J, Zhang Y, Liu W, Zhao J, Yu S, Jia H, et al. Incorporating in vitro bioaccessibility into human health risk assessment of heavy metals and metalloid (As) in soil and pak choi (*Brassica chinensis* L.) from greenhouse vegetable production fields in a megacity in Northwest China. *Food chemistry*. 2022;373:131488. <https://lc.cx/i2NTW2>
7. Araque E, Bohórquez M, Pacheco J, Correa L, Urquijo J, Castañeda S, et al. Propagación y tuberización in vitro de dos variedades de papa. *Ciencia en Desarrollo*. 2018;9(1):21-31. <https://lc.cx/BI8V5t>
8. Rayas A, López J, Medero V, Basail M, Santo A, Gutiérrez Y. Conservación in vitro de cultivares de *Ipomoea batatas* (L.) Lam por crecimiento mínimo con el uso de manitol. *Bioteología Vegetal*. 2019;19(1):43 - 51. <https://lc.cx/YYjIW6>
9. Zaki H, Radwan K. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to drought stress under in vitro and field conditions. *Chemical Biological Technologies in Agriculture*. 2022;9:1-19. <https://lc.cx/cbjucW>
10. Pineda A, Hernández A, Díaz H. Multiplicación y reducción del crecimiento in vitro de papa chaucha (*Solanum tuberosum* L. grupo Phureja). *Manglar*. 2021;18(2):123-8. <https://lc.cx/wEYKaD>
11. Buuron K, Silveira L, Machado S, Lemos C, Moro C. Crecimiento mínimo e retomada de crecimiento in vitro em brotações de *Luehea divaricata*. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 2021;41:1-9. https://lc.cx/-1gm_i
12. Wada H, Nakata K, Nonami H, Erra-Balsells R, Tatsuki M, Hatakeyama Y, et al. Direct evidence for dynamics of cell heterogeneity in watercored apples: turgor-associated metabolic modifications and within-fruit water potential gradient unveiled by single-cell analyses. *Horticulture Research*. 2021;8:1-15. <https://lc.cx/LHOHLb>
13. Sajid Z, Aftab F. Improvement of Polyethylene Glycol, Sorbitol, Mannitol, and Sucrose-Induced Osmotic Stress Tolerance through Modulation of the Polyamines, Proteins, and Superoxide Dismutase Activity in Potato. *International Journal of Agronomy*; 2022(1):5158768. <https://lc.cx/6gTHI3>
14. Alejandra G, Barrales H, Salgado R. Micropropagación y conservación in vitro de árboles en riesgo de extinción. México: Bonilla Artigas Editores; 2024. 57-74 p. <https://lc.cx/Ef0PeF>
15. Fariñas N. Producción Agrícola Sostenible y Seguridad Alimentaria en Nicaragua. REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas. 2024;12(23):19-43. https://lc.cx/Alk_CD
16. Pérez J, Aguilar L. Evaluación de la multiplicación de tres variedades de papa nativa (*Solanum* sp.) para la conservación de especies nativas. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. 2023;11(1):66-75. <https://lc.cx/h8ynBB>
17. Huerta K, Flores E, Contrerasliva A, Villegas Á, Chavez S, Arévalo M. Incorporation of bioactive compounds in fruit and vegetable products through osmotic dehydration: a review. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2023;14(8):1-13. <https://lc.cx/asx-sh>
18. Naik R, Bhushan A, Gupta R, Walia A, Gaur A. Low cost tissue culture technologies in vegetables: A review. *Int J Biochem Res Rev*. 2020;29(9):66-78. <https://lc.cx/ZUL0gr>
19. Correa L, Galvis D, Bohórquez M, Barrera E, Urquijo J, Arias D, et al. Impact of initial explants on in vitro propagation of native potato (*Solanum tuberosum*, Andigena group). *Plant Cell, Tissue Organ Culture*. 2022;150(3):627-36. <https://lc.cx/bqh6p0>
20. Caldiz D. Potato production in South America. *Potato Production Worldwide*: Elsevier; 2023. p. 409-33. <https://lc.cx/2MV-U1>
21. Freire M. Aspectos básicos de la embriogénesis somática. *Bioteología vegetal*. 2003;3(4). <https://lc.cx/TZDDPA>
22. Salazar E, Trejo H, González D, Fortis M, Orona I, Vázquez C. Producción orgánica de nopal forrajero (*Opuntia ficus indica*) variedad liso forrajero. IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey; Nuevo León, México: Campus de Ciencia Agropecuarias de Nuevo León, UANL; 2010. p. 95-109. <https://lc.cx/DfhlvZ>

23. Peña H, Santos M, Ramírez B, Sulbarán J, Arias K, Huertas V, et al. Essential Quality Attributes of Culture Media Used as Substrates in the Sustainable Production of Pre-Basic Potato Seeds. *Sustainability*. 2024;16(19):8552. <https://lc.cx/Vflp1B>
24. Bhatia S, Bera T. Somatic embryogenesis and organogenesis. *Modern applications of plant biotechnology in pharmaceutical sciences*. 2015;6:209-30. <https://lc.cx/QYT0jS>
25. Roca W, Mroginski L. Cultivo de tejidos en la agricultura: fundamentos y aplicaciones. Ciudad Panamá, Panamá: Ciat; 1991. <https://lc.cx/a2l0dH>
26. Romero A, Montero S, Acebey R. Conservación ex situ de 10 accesiones de papa (*Solanum tuberosum* L Subsp. andigena) mediante técnicas in vitro. *Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*. 2021;19(24):115-32. <https://lc.cx/23NXGC>
27. Carmona O. Efecto de los osmolitos sacarosa, manitol y sorbitol en la conservación in vitro de *Dioscorea alata*, *D. bulbifera*, *D. rotundata* y *D. trifida* por el método de crecimiento mínimo. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 2013;1(25). <https://lc.cx/z64fyN>
28. Chourasia K, Lal M, Tiwari R, Dev D, Kardile H, Patil V, et al. Salinity stress in potato: Understanding physiological, biochemical and molecular responses. *Life*. 2021;11(6):545. <https://lc.cx/N93ANA>
29. dos Santos T, Ferreira C, Leila T, Ferreira J. In vitro conservation of *Poincianella pyramidalis* (Tul.) LP Queiroz under minimal growth conditions. *Ciência e Agrotecnologia*. 2019;43:e014519. <https://lc.cx/EBFHYh>
30. Bello J, García G, Iglesias L. Under slow growth conditions. *Revista fitotecnia mexicana*. 2015;38(2):165-71. <https://lc.cx/ns5qsL>
31. De Guglielmo Z, Fernandez R, Hermoso L, Altosaar I, Menéndez A. Optimización de los parámetros de transformación genética de café mediante biobalística con el gen reportero gus. *Acta Biologica Venezuelica*. 2010;30(1-2):23-34. <https://lc.cx/V-d4n->

ACERCA DE LOS AUTORES

Jorge Manuel Montalvo Otivo. Maestría en Mejoramiento Genético de Plantas, Universidad Nacional Agraria La Molina. Experiencia en docencia universitaria, enfocado en la investigación en ciencias agropecuarias y desarrollo agroindustrial. Especialista en diversidad genética de papa nativa mediante marcadores moleculares, morfológicos y citogenéticos en la región central del Perú.

Candelaria Flores Miranda. Maestro en Ciencias de Ingeniería con mención en Agronegocios y Comercio Internacional, Universidad Nacional de Huancavelica. Experiencia laboral académica, investigación de ciencias agropecuarias y desarrollo agroindustrial, Perú.

Juan Luis Mancilla Condor. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Huancavelica. Experiencia laboral en la formación de estudiantes; afiliado a la línea de investigación de suelos y biodiversidad, en temas de investigación que aportan a la agricultura, Perú.

Leonor Neda Carbajal Cuadros. Ingeniera agrónoma. Maestría en Ciencias de Ingeniería, mención Agronegocios y Comercio Internacional, Universidad Nacional de Huancavelica. Experiencia laboral académica en la investigación de ciencias agropecuarias y desarrollo agroindustrial, Perú.

Rodolfo Leon Gomez. Ingeniero Agrónomo. Maestría en Agronegocios y Comercio Internacional. Doctor en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Huancavelica. Experiencia en dictado de clase en Pregrado y Posgrado; experiencia en ponencia organizado por la Red Peruana de las Universidades, Docente Renacyt coordinador de grupo de investigación perteneciente a la línea de investigación de producción agrícola, Perú.



Caracterización del aceite esencial de semillas de *Schinus molle* L. para aplicaciones agroindustriales

Characterization of the essential oil of *Schinus molle* L. seeds for agroindustrial applications

Caracterização do óleo essencial de sementes de *Schinus molle* L. para aplicações agroindustriais

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.335>

Leyla Sofia Curasma Castellanos¹
2018122003@unh.edu.pe

Franklin Oré Areche¹
franklin.ore@unh.edu.pe

Jovencio Ticsihua Huaman¹
jovencio.ticsihua@unh.edu.pe

Elisa Raquel Atao Surichaqui²
eraquelatao@gmail.com

Rafael Julian Malpartida Yapias³
rmaalpartida@unaat.edu.pe

¹Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú

²Asociación de Productores Agroindustriales de la Margen Izquierda del Río Perene – APAMIRPE,
Pichanaqui, Junín, Perú

³Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma. Tarma, Perú

Artículo recibido: 17 de octubre 2024 / Arbitrado: 25 de noviembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Los aceites vegetales son esenciales para la salud, la industria alimentaria y la sostenibilidad ambiental. El propósito de la presente investigación fue caracterizar el aceite extraído de las semillas de *Schinus molle* L., evaluando sus posibles aplicaciones en la agroindustria. La investigación se desarrolló en Huancavelica, Perú, con un diseño cuantitativo y descriptivo. Los **resultados** indican que la extracción del aceite es más eficiente a temperaturas moderadas, 100°C y 150°C, logrando un rendimiento del 35,25%, mientras que a temperaturas de 200°C se reduce al 9,47%, afectando negativamente la calidad del aceite. Los parámetros fisicoquímicos mostraron una baja humedad, 0,03%-0,04%; un índice de acidez aceptable, 5,61-5,68 mg KOH/) y un índice de peróxido dentro del rango seguro para aceites comestibles, aunque con riesgo de oxidación. Se **concluye** que la extracción a temperaturas moderadas maximiza el rendimiento y calidad del aceite, recomendándose mantener condiciones entre 100°C y 150°C.

Palabras clave: Aceite esencial; Agroindustria; *Schinus molle* L.; Parámetros fisicoquímicos; Técnica de extracción

ABSTRACT

Vegetable oils are essential for health, the food industry and environmental sustainability. The purpose of this research was to characterize the oil extracted from the seeds of *Schinus molle* L., evaluating its potential applications in agroindustry. The research was developed in Huancavelica, Peru, with a quantitative and descriptive design. The **results** indicate that oil extraction is more efficient at moderate temperatures, 100°C and 150°C, achieving a yield of 35.25%, while at temperatures of 200°C it is reduced to 9.47%, negatively affecting the quality of the oil. The physicochemical parameters showed low humidity, 0.03%-0.04%; an acceptable acidity index, 5.61-5.68 mg KOH/l) and a peroxide index within the safe range for edible oils, although with a risk of oxidation. It is **concluded** that extraction at moderate temperatures maximizes the yield and quality of the oil, and it is recommended to maintain conditions between 100°C and 150°C.

Key words: Essential oil; Agroindustry; *Schinus molle* L.; Physical-chemical parameters; Extraction technique

RESUMO

Os óleos vegetais são essenciais para a saúde, a indústria alimentar e a sustentabilidade ambiental. O objetivo desta pesquisa foi caracterizar o óleo extraído das sementes de *Schinus molle* L., avaliando suas possíveis aplicações na agroindústria. A pesquisa foi desenvolvida em Huancavelica, Peru, com desenho quantitativo e descritivo. Os **resultados** indicam que a extração do óleo é mais eficiente em temperaturas moderadas, 100°C e 150°C, alcançando um rendimento de 35,25%, enquanto em temperaturas de 200°C é reduzido para 9,47%, afetando negativamente a qualidade do óleo. Os parâmetros físico-químicos apresentaram baixa umidade, 0,03%-0,04%; um valor de acidez aceitável, 5,61-5,68 mg KOH/) e um valor de peróxido dentro da faixa segura para óleos comestíveis, embora com risco de oxidação. **Conclui-se** que a extração em temperaturas moderadas maximiza o rendimento e a qualidade do óleo, sendo recomendado manter as condições entre 100°C e 150°C.

Palavras-chave: Óleo essencial; Agronegócio; *Schinus molle* L.; Parâmetros físico-químicos; Técnica de extração

INTRODUCCIÓN

El aceite vegetal desempeña un papel fundamental en la agroindustria, como ingrediente clave en la producción alimentaria y en diversas aplicaciones industriales y agrícolas. Son componentes básicos en casi todos los alimentos de alto consumo, contribuyendo al sabor, textura y estabilidad de estos. Constituyen una fuente importante de ácidos grasos esenciales y vitaminas liposolubles, que son cruciales para una dieta equilibrada. Su consumo adecuado está relacionado con beneficios para la salud cardiovascular y el desarrollo celular (1).

Ofrecen, además, beneficios ambientales para la sostenibilidad, ya que son biodegradables y menos propensos a dejar residuos tóxicos en el medio ambiente en comparación con los aceites minerales, lo que los convierte en una opción más sostenible para la agricultura (2). Pueden ser utilizados como extractos vegetales en el manejo integrado de plagas, actuando tanto como pesticidas como repelentes. Esto permite un enfoque más ecológico y menos dependiente de químicos sintéticos (3).

La agroindustria del aceite vegetal es un pilar fundamental para las economías locales, especialmente en países, donde las exportaciones de este producto han mostrado un crecimiento significativo, contribuyendo de manera considerable al Producto Interno Bruto agroindustrial. Este sector ha demostrado ser

resiliente y en crecimiento, con un incremento notable en las exportaciones agroalimentarias, que alcanzaron los 60.118 millones de euros en 2021. En particular, los aceites y grasas han mostrado un crecimiento del 27.4%, impulsado principalmente por el aceite de oliva, lo que indica una tendencia positiva en el mercado (4).

En este contexto, el *Schinus molle* L., comúnmente conocido como molle, falso pimentero o pimentero peruano, es un árbol perennifolio que pertenece a la familia *Anacardiaceae*. Es nativo de la región andina de Sudamérica, específicamente en países como Perú, Bolivia, Ecuador y Chile, aunque su distribución se ha extendido a México y otras partes de América Central y del Norte, incluyendo Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil. Además, ha sido introducida en la región costera del oeste de los Estados Unidos (5).

Posee importancia y uso en diversos sectores, las bayas de *Schinus molle* L. se utilizan con fines analgésicos, antisépticos, antidepresivos y antibacterianos, para contrarrestar infecciones del tracto respiratorio y urinario, como digestivo, diurético y en tratamientos para el reumatismo. Además, los estudios han revelado que los polisacáridos de las bayas tienen efectos antioxidantes, antigénicos, antidiabéticos y antihemolíticos *in vitro* y propiedades antiinflamatorias y antinociceptivas (6).

El aceite esencial de *Schinus molle* L. se obtiene principalmente de las hojas y los frutos

y ha mostrado un amplio espectro de actividad biológica. Así, Turchetti et al. (7), han demostrado que los extractos de la planta poseen una notable actividad antibacteriana contra cepas como *Staphylococcus aureus* y *Enterococcus faecalis*, con concentraciones mínimas inhibitorias, que indican su eficacia en la lucha contra infecciones bacterianas.

Asimismo, se ha utilizado en la agricultura como un biopesticida natural, gracias a su capacidad para repeler insectos y combatir enfermedades fúngicas en cultivos, lo que no solo contribuye a la salud de estos, sino que también ofrece una alternativa sostenible frente al uso de pesticidas químicos. Se ha demostrado que el aceite esencial es eficaz contra plagas como *Premnotrypes vorax*, el gusano blanco de la papa, mostrando un 50% de mortalidad en adultos a concentraciones del 5% en 24 horas (8).

Además, su uso contribuye a la salud de los cultivos al ofrecer una alternativa sostenible frente a los pesticidas químicos, ayudando a reducir el impacto ambiental negativo asociado con la agricultura convencional. La capacidad de este árbol para mejorar la salud del suelo y su resistencia a plagas lo convierte en un recurso valioso para los agricultores que buscan prácticas más ecológicas y sostenibles en sus cultivos (8)

A pesar de la variedad de usos de este aceite esencial en la agroindustria, también se presentan desafíos que limitan su implementación y eficacia. Uno de los principales retos es la variabilidad en

la composición química del aceite, que puede depender de factores como la región de cultivo, las condiciones climáticas y el método de extracción utilizado, aspecto que puede afectar su potencial biocida y su eficacia como insecticida o fungicida, lo que dificulta la estandarización de productos basados en este aceite para su uso comercial (9). Además, aunque el aceite tiene propiedades antimicrobianas y antifúngicas prometedoras, se requiere valorar su estabilidad a largo plazo, ya que algunos de sus componentes pueden degradarse con el tiempo o bajo condiciones ambientales adversas, reduciendo así su efectividad (10).

Para Tsitlakidou et al. (11), otro desafío significativo es la aceptación por parte de los agricultores, quienes pueden ser reacios a cambiar de pesticidas químicos convencionales a soluciones naturales, debido a la falta de información sobre su eficacia y las percepciones sobre su costo y facilidad de uso. La educación y capacitación son esenciales para superar estas barreras y promover el uso del aceite esencial como una alternativa sostenible. Por otra parte, la regulación y certificación también juegan un papel crucial; los productos derivados del aceite esencial deben cumplir con normativas específicas para garantizar su seguridad y eficacia, lo que puede ser un proceso complejo y costoso para los productores (12). En conjunto, estos desafíos requieren atención para maximizar el potencial del aceite esencial de *Schinus molle* L. en la agroindustria.

Abordar estos desafíos requiere un enfoque integral que incluya las técnicas de extracción del aceite y evaluar sus propiedades. Es por ello pertinente considerar ¿cuál es el rendimiento óptimo de extracción de aceite esencial de *Schinus molle* L. a diferentes temperaturas?, ¿cómo afecta la temperatura de extracción a la calidad del aceite esencial obtenido?, ¿qué parámetros fisicoquímicos son más relevantes para evaluar la idoneidad del aceite esencial de *Schinus molle* L. para aplicaciones en la agroindustria?, ¿cuál es el impacto del contenido de humedad en el rendimiento del aceite esencial extraído de las semillas? Teniendo en cuenta este contexto, el propósito de la presente investigación fue caracterizar el aceite extraído de las semillas de *Schinus molle* L., evaluando sus posibles aplicaciones en la agroindustria.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación adoptó un diseño cuantitativo y descriptivo, desarrollándose en dos fases principales: la extracción del aceite y su posterior caracterización.

Material vegetal y recolección de semillas

Se recolectaron bayas maduras de *Schinus molle* L. de árboles situados en el distrito de Pomacocha, provincia de Acobamba, Huancavelica, Perú. Las bayas fueron cosechadas manualmente durante la temporada de máxima fructificación, asegurando la selección de aquellas que se encontraban en óptimas condiciones de madurez.

Tras la recolección, las bayas se expusieron al sol para su secado; posteriormente, se separaron las semillas de las pajillas y se almacenaron en un lugar fresco y seco hasta su uso posterior Figura 1.



Figura 1. Etapas de obtención de la semilla de *Schinus molle* L.

Muestras para el ensayo

Se utilizaron aproximadamente 6 kg de semillas secas de *Schinus molle* L., conservadas en sacos de yute, los cuales se fueron almacenando

a temperatura y humedad del ambiente. La selección de la semilla se realizó de forma manual en mesas de acero inoxidable del Laboratorio de procesos agroindustriales 01 de la Escuela

Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Huancavelica. La evaluación física se realizó por observación directa, según la forma, tamaño, color y textura de las semillas y la eliminación de los materiales extraños.

Extracción del aceite

El proceso se efectuó mediante el método de prensado caliente, a tres diferentes temperaturas: 100 °C, 150 °C y 200 °C, en el Laboratorio de tecnología de aceites y grasas, Fomento de Capacidades para la Mitigación del Cambio Climático, FOCAM, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Huancavelica. La presión empleada fue constante, de 200 atm, 20 MPa. Siempre que se dispuso de la cantidad, se emplearon 2 kg de semilla de *Schinus molle* L. para el proceso de prensado. Las tres prensadas se realizaron de manera continua una tras otra, variando la temperatura para cada extracción.

Analítica

A las muestras de aceite obtenidos se le determinaron los por ciento de humedad y de cenizas; el índice de acidez, mg KOH/g de grasa; el índice de peróxido, meq oxígeno activo/1000 g de grasa; el índice de saponificación, KOH/g de grasa; el índice de Iodo, g de Iodo/100 g de grasa; el índice de refracción a 25 °C; la viscosidad a 37 °C, centistokes y la gravedad específica, g/cm³.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados presentados en la Tabla 1, muestran el rendimiento del aceite extraído de semillas a tres diferentes temperaturas de prensado: 100°C, 150°C y 200°C. Al analizar estos datos, se pueden extraer varias consideraciones importantes sobre el proceso de extracción y su eficiencia.

Tabla 1. Rendimiento del aceite a diferentes temperaturas de prensado.

Temperatura de la prensa (°C)	Semilla (g)	Aceite (mL, g)	Rendimiento (%)
100	2000	750 mL = 705,0 g	35,25
150	2000	750 mL = 705,0 g	35,25
200	2000	200 mL = 189,4 g	9,47
Catechin (mg)	266,61		

Los resultados indican que el rendimiento del aceite es significativamente más alto a las temperaturas de 100°C y 150°C, alcanzando un rendimiento del 35,25% en ambos casos. Este

hallazgo sugiere que las temperaturas moderadas son más efectivas para la extracción de aceite de las semillas, probablemente debido a que permiten una mejor liberación de los lípidos

sin descomponer los compuestos sensibles al calor. A temperaturas más bajas, como 100 °C, la integridad de los componentes del aceite puede mantenerse, lo que no solo maximiza el rendimiento sino también la calidad del producto final.

En contraste, al aumentar la temperatura a 200 °C, el rendimiento se reduce drásticamente al 9,47%. Esta disminución significativa puede atribuirse a varios factores, a altas temperaturas, es probable que se produzca una degradación térmica de los compuestos presentes en las semillas, lo que resulta en la pérdida de aceites volátiles y otros componentes valiosos. Además, el aumento de temperatura puede causar la descomposición de los triglicéridos en ácidos grasos libres, lo que no solo disminuye el rendimiento, sino que puede afectar negativamente la calidad del aceite extraído.

Estos resultados tienen implicaciones directas para el sector agroindustrial que busca optimizar procesos de extracción de aceites. La elección de la temperatura es crucial; las moderadas maximizan el rendimiento y preservan las propiedades organolépticas y nutricionales del aceite. Por

lo tanto, se recomienda realizar extracciones a temperaturas entre 100°C y 150°C para lograr un balance adecuado entre cantidad y calidad del aceite.

Dada la variabilidad observada en los rendimientos según la temperatura, futuros estudios podrían explorar otros parámetros como el tiempo de extracción, el tipo de semilla y la técnica utilizada, prensado en frío versus prensado en caliente. Asimismo, sería beneficioso investigar métodos adicionales que puedan mejorar la extracción sin comprometer la calidad del aceite. La combinación de estas variables podría llevar a un proceso más eficiente y sostenible en la producción de aceites vegetales.

Los resultados presentados en la Tabla 2 reflejan los parámetros fisicoquímicos del aceite extraído de semillas de *Schinus molle* L. a temperaturas de 100 °C, 150 °C y 200 °C. Estos parámetros son cruciales para evaluar la calidad y la estabilidad del aceite, así como su idoneidad para diversas aplicaciones en la agroindustria. A continuación, se analizan cada uno de estos parámetros y sus implicaciones.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del aceite de semilla de molle extraído a 100 °C.

Análisis	100 °C	150 °C	200 °C
Humedad (%)	0,04	0,03	0,03
Ceniza (%)	0,09	0,09	0,10
Índice de acidez (mg KOH/g de grasa)	5,61	5,63	5,68
Índice de peróxido (meq Oxígeno activo/1000 g de grasa)	14,79	14,95	14,91

Análisis	100 °C	150 °C	200 °C
Índice de saponificación (KOH/g de grasa)	251,50	256,00	264,00
Índice de Iodo (g de Iodo/100 g de grasa)	10,15	10,85	10,06
Índice de refracción a 25 °C	1,45	1,46	1,45
Viscosidad a 37 °C (centistokes)	177,00	181,50	188,50
Gravedad específica (g/cm ³)	0,91	0,92	0,92

Humedad y ceniza

La humedad del aceite extraído se mantuvo baja en todos los casos, con valores de 0,04% a 100 °C; 0,03% a 150 °C y 0,03% a 200 °C. Una baja humedad es deseable ya que indica una menor probabilidad de deterioro microbiano y una mayor estabilidad del aceite. En cuanto al contenido de ceniza, los valores fueron relativamente constantes, variando entre 0,09% y 0,10%, lo que sugiere que el proceso de extracción no introdujo impurezas significativas en el aceite. Estos resultados son indicativos de un proceso de extracción eficiente que minimiza la contaminación.

Índice de acidez

El índice de acidez se mantuvo relativamente estable en un rango de 5,61 mg KOH/g a 5,68 mg KOH/g, lo que indica una presencia moderada de ácidos grasos libres. Este parámetro es esencial ya que un índice de acidez elevado puede ser indicativo de la descomposición del aceite o de una mala calidad inicial de las semillas. Los valores observados sugieren que el aceite extraído es apto para consumo humano y aplicaciones industriales, aunque un monitoreo continuo es recomendable

para asegurar que no se produzcan cambios desfavorables durante el almacenamiento.

Índice de peróxido

El índice de peróxido mostró valores cercanos entre 14,79 meq O₂/1000 g a 100 °C y 14,95 meq O₂/1000 g a 150 °C, con una ligera disminución a 14,91 meq O₂/1000 g a 200 °C. Esto es un indicador clave de la rancidez oxidativa del aceite; valores más altos pueden sugerir una mayor degradación oxidativa. Aunque todos los valores están dentro del rango aceptable para aceites comestibles, el aumento progresivo con la temperatura sugiere que las condiciones más elevadas pueden estar contribuyendo a un inicio de oxidación, lo cual debe ser considerado en procesos industriales.

Índice de saponificación e índice de Iodo

El índice de saponificación aumentó con la temperatura, alcanzando 251,50 KOH/g a 100 °C, 256,00 KOH/g a 150 °C, y subiendo a 264,00 KOH/g a 200 °C. Este incremento puede reflejar una mayor cantidad de ácidos grasos presentes en el aceite extraído, lo cual es positivo para aplicaciones en cosmética y jabonería donde se

requiere un alto contenido graso. Por otro lado, el índice de Iodo mostró ligeras variaciones, 10,15 g I/100 g a 100 °C; 10,85 g I/100 g a 150 °C; 10,06 g I/100 g a 200 °C, indicando la capacidad del aceite para absorber halógenos; esto es relevante para evaluar su grado de insaturación y potenciales aplicaciones.

Viscosidad y gravedad específica

La viscosidad aumentó con la temperatura, 177 cSt a 100°C; 181,50 cSt a 150°C; 188,50 cSt a 200 °C, lo que puede afectar la fluidez del aceite durante su procesamiento y aplicación. La gravedad específica también mostró un ligero aumento, 0,91 g/cm³ a 100 °C y 0,92 g/cm³ en las otras temperaturas, lo que puede influir en las propiedades físicas del aceite al ser mezclado con otros ingredientes.

Los parámetros fisicoquímicos analizados indican que el aceite extraído de semillas de *Schinus molle* L. presenta características favorables para su uso en diversas aplicaciones agroindustriales. Las temperaturas moderadas, 100 °C y 150 °C, ofrecen un balance óptimo entre rendimiento y calidad del aceite. Sin embargo, se debe prestar atención al control del proceso para evitar la oxidación y mantener la estabilidad del producto final. Futuros estudios podrían enfocarse en optimizar aún más las condiciones de extracción y evaluar el comportamiento del aceite durante el almacenamiento prolongado.

Discusión

Los resultados obtenidos indican que el rendimiento del aceite es significativamente más alto a temperaturas de 100 °C y 150 °C, este patrón se alinea con lo obtenido por Shehata et al. (13), quienes en su estudio sobre el aceite esencial de *Schinus molle* L., reportaron que las temperaturas moderadas son más efectivas para la extracción, debido a que permiten una mejor liberación de los lípidos sin descomponer compuestos sensibles al calor. Esto es consistente con la observación de Rodríguez et al. (14), cuando plantean que, a temperaturas más altas, como 200°C, se produce una degradación térmica de los compuestos presentes en las semillas, resultando en una pérdida significativa de aceites volátiles y otros componentes valiosos.

Por su parte, Lafont et al. (15), reportaron un promedio de aceite extraído de semillas de *Crescentia cujete* L. por el método de prensado de 17,36 ± 0,90%; lo cual muestra una eficiencia menor, casi del 50%, al obtenido en el presente estudio, debido a que en el residuo de la semilla presionada, torta, quedan retenidas moléculas de aceite que no lograron salir de las células vegetales; mientras que Bello (16), reportó la extracción del 31,7% de aceite, empleando el método de solvente para semillas de *Crescentia cujete* L.; en tanto que, para la especie *Crescentia alata* L., Corrales et al. (17), obtuvieron un valor del 33%. Se observa que el porcentaje de aceite obtenido en el presente estudio, por el mismo método, es mayor.

Se concuerda con la investigación realizada por Dashtian et al. (18), que, utilizando fluidos supercríticos para la extracción de aceites esenciales también sugieren que las condiciones deben ser cuidadosamente controladas para maximizar el rendimiento y mantener la calidad del producto final. El uso de técnicas como la extracción con CO₂ supercrítico ha demostrado ser efectivo para obtener aceites con alta pureza y rendimiento, aunque este método puede no ser accesible para todos los productores debido a su costo.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, el índice de acidez se mantuvo relativamente estable entre 5,61 mg KOH/g y 5,68 mg KOH/g, lo que indica una presencia moderada de ácidos grasos libres. Este hallazgo es coherente con estudios previos, como el de Chen y Liu (19), que sugieren que un índice de acidez bajo es indicativo de un aceite fresco y apto para el consumo humano. La estabilidad del índice de acidez en este estudio sugiere un proceso de extracción eficiente, donde se minimiza la descomposición del aceite durante el procesamiento.

Los resultados del índice de peróxido, que mide la cantidad de oxígeno activo presente en el aceite de *Schinus molle* L., muestra valores relativamente consistentes a diferentes temperaturas de extracción. Este resultado es similar a lo encontrado por Agregán et al. (20), quienes observaron que un aumento en la temperatura durante la extracción

puede llevar a una mayor formación de peróxidos, lo cual es un indicador clave de rancidez oxidativa.

Aunque todos los valores están dentro del rango aceptable para aceites comestibles, es crucial monitorear estos parámetros durante el almacenamiento para asegurar la calidad del aceite. Asimismo, Belhoussaine et.al. (5), destacan las propiedades del aceite de *Schinus molle* L., incluyendo su estabilidad y características fisicoquímicas. Se concuerda con López et al. (21), que abordan la extracción y caracterización del aceite esencial de molle, donde se evalúan aspectos fisicoquímicos relevantes, incluido el índice de peróxido.

El índice de saponificación aumentó con la temperatura desde 251,50 KOH/g hasta 264,00 KOH/g, lo cual puede reflejar una mayor cantidad de ácidos grasos presentes en el aceite extraído. Se concuerda con Dalla et al. (22), quienes en su estudio obtiene un incremento similar y refieren que este resultado es positivo para aplicaciones en cosmética y jabonería donde se requiere un alto contenido graso.

Por su parte, Rahnama et al. (23), han indicado que un alto índice de saponificación está relacionado con aceites ricos en ácidos grasos insaturados. A su vez, el índice de Iodo mostró ligeras variaciones entre las temperaturas analizadas, lo que concuerda con el estudio de Lima et al. (24), quienes indican que estos resultados

muestran la capacidad del aceite para absorber halógenos; aspecto relevante para evaluar su grado de insaturación y potenciales aplicaciones.

Por su parte Lafont et al. (15), reportan el índice de saponificación de $77,940 \pm 0,014$ mg KOH/g, encontrado para el aceite de semillas de *Crescentia cujete* L., extraído por prensado, relacionado con la longitud de las cadenas de los ácidos grasos hallados en el aceite; mientras Zumalacárregui y Ferrer (25), obtiene valores inferiores a los alcanzados en la presente investigación, para el aceite de semilla de moringa, con un índice de saponificación de 151,02 mg KOH/g.

La humedad del aceite extraído se mantuvo baja en todos los casos, lo cual es deseable ya que indica una menor probabilidad de deterioro microbiano y una mayor estabilidad del aceite. Este resultado concuerda con las investigaciones realizadas por Jugreet et al. (26), donde se encontró que un bajo contenido de humedad está asociado con una mejor conservación del aceite esencial. Asimismo, el contenido constante de ceniza, de 0,09% a 0,10%, sugiere que el proceso de extracción no introdujo impurezas significativas en el aceite.

Los valores de humedad obtenidos contrastan con el reporte de Zumalacárregui y Ferrer (25), los que reportaron 6,24 % para el aceite de semilla de moringa; de esta manera los valores de humedad del presente estudio son muy inferiores a los

alcanzados por los autores antes mencionados, lo que permite inferir que la temperatura de extracción y el tipo de materia prima influyen en esta propiedad.

El índice de acidez tiende a aumentar ligeramente a medida que se incrementa la temperatura de extracción del aceite de, sin embargo, las diferencias observadas entre los valores de temperatura son mínimas y no son estadísticamente significativas. Esto sugiere que la temperatura de extracción dentro del rango estudiado no tiene un efecto considerable en el índice de acidez, lo que podría implicar que otros factores podrían ser más determinantes en la calidad del aceite obtenido. Por su parte, Fernández et.al. (27), reportaron un índice de acidez para el aceite de semilla de moringa de 4,01 mg KOH/g; lo cual demuestra que el tipo de materia prima influye en esta propiedad.

Además, Razzak et al. (28), llevaron a cabo un estudio comparativo sobre el poder lubricante y la estabilidad oxidativa del aceite, evaluando el índice de peróxido y proporcionando información valiosa sobre su comportamiento a distintas temperaturas. Estos estudios sugieren que el índice de peróxido en el aceite de *Schinus molle* L. se mantiene relativamente estable frente a variaciones en la temperatura de extracción.

El índice de Iodo difiere del obtenido por Fu et al. (29), para el aceite de semilla de moringa, 68,685 mg KOH/g, valor superior al de la presente

investigación. Ciertos valores son muy inferiores y discrepan respecto al rango determinado de 86 a 107 g de Iodo/100 g según el Codex alimentarios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (30).

El índice de refracción presentó valores próximos a los obtenidos por Solis et al. (31) y coinciden con los alcanzados por Phiri et al. (32), quienes obtuvieron el índice de refracción de 1,471 a 20°C del aceite de *Schinus molle* L. En la presente investigación se alcanzó una viscosidad de 177 centistokes a temperatura de 100°C; mientras a temperatura de 150°C fue de 181,5 centistokes, así mismo, a temperatura de 200°C fue de 188,5 centistokes, lo que coincide con lo obtenido por Machado et al. (33), esto demuestra que la viscosidad del aceite se incrementa de acuerdo a la temperatura de extracción.

Futuros estudios podrían enfocarse en optimizar otros parámetros del proceso de extracción y evaluar cómo diferentes técnicas pueden influir en la calidad final del producto. Además, sería beneficioso investigar métodos adicionales para mejorar la eficiencia sin comprometer las propiedades deseables del aceite extraído. La combinación de estas variables podría llevar a un proceso más eficiente y sostenible en la producción de aceites vegetales.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la extracción de aceite de semillas de *Schinus molle* L. es significativamente más eficiente a temperaturas moderadas, específicamente a 100°C y 150°C, donde se alcanzó un rendimiento del 35,25%. Este hallazgo resalta la importancia de seleccionar adecuadamente las condiciones de extracción, ya que temperaturas más altas, 200°C, provocan una drástica reducción del rendimiento al 9,47%. La degradación térmica de los compuestos presentes en las semillas a altas temperaturas no solo disminuye el rendimiento, sino que también compromete la calidad del aceite extraído.

Los parámetros fisicoquímicos analizados indican que el aceite obtenido a temperaturas moderadas mantiene características favorables para su uso en la agroindustria. La baja humedad, 0,03% a 0,04%, y el contenido constante de ceniza, 0,09% a 0,10%, sugieren un proceso de extracción eficiente que minimiza contaminantes. El índice de acidez se mantuvo en un rango aceptable, 5,61 a 5,68 mg KOH/g, lo que indica que el aceite es apto para consumo humano y aplicaciones industriales. Sin embargo, se recomienda un monitoreo continuo para evitar cambios desfavorables durante el almacenamiento.

El índice de peróxido mostró valores dentro del rango para aceites comestibles, aunque el ligero aumento con la temperatura sugiere un riesgo potencial de oxidación que debe ser considerado en procesos industriales. Por otro lado, el aumento en el índice de saponificación con la temperatura indica una mayor cantidad de ácidos grasos presentes en el aceite, lo cual es beneficioso para aplicaciones en cosmética y jabonería.

Estos resultados permiten concluir que las temperaturas moderadas no solo maximizan el rendimiento del aceite, sino que también preservan sus propiedades organolépticas y nutricionales. Futuros estudios podrían centrarse en optimizar otros parámetros del proceso de extracción y evaluar el comportamiento del aceite durante períodos prolongados de almacenamiento, así como explorar técnicas adicionales que puedan mejorar la eficiencia sin comprometer la calidad del producto final.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

FINANCIAMIENTO. La investigación fue financiada por Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de Huancavelica, mediante el Programa Presupuestal 066-2022.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Msanne J, Kim H, Cahoon E. Biotechnology tools and applications for development of oilseed crops with healthy vegetable oils. *Biochimie*. 2020;178:4-14. <https://lc.cx/s1Jhzt>
2. Fadda A, Sanna D, Sakar E, Gharby S, Mulas M, Medda S, et al. Innovative and sustainable technologies to enhance the oxidative stability of vegetable oils. *Sustainability*. 2022;14(2):849. <https://lc.cx/YY5n-e>
3. Lengai G, Muthomi J, Mbega E. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. *Scientific African*. 2020;7:e00239. <https://lc.cx/RipKFr>
4. Raghavan M, Khan F, Devadason E. Agri-food trade channel and the ASEAN macroeconomic impacts from output and price shocks. *Agricultural Economics*. 2024;55(1):5-26. <https://lc.cx/4UuKXf>
5. Belhoussaine O, El Kourchi C, Harhar H, El Moudden H, El Yadini A, Ullah R, et al. Phytochemical characterization and nutritional value of vegetable oils from ripe berries of *Schinus terebinthifolia* raddi and *Schinus molle* L., through extraction methods. *Food Chemistry: X*. 2024:101580. https://lc.cx/w_iN17
6. Feriani A, Tir M, Hamed M, Sila A, Nahdi S, Alwasel S, et al. Multidirectional insights on polysaccharides from *Schinus terebinthifolius* and *Schinus molle* fruits: Physicochemical and functional profiles, in vitro antioxidant, anti-genotoxicity, antidiabetic, and antihemolytic capacities, and in vivo anti-inflammatory and anti-nociceptive properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;165:2576-87. <https://lc.cx/qxwmBS>
7. Turchetti G, Garzoli S, Laghezza V, Sabia C, Iseppi R, Giacomello P, et al. Antimicrobial testing of *Schinus molle* (L.) leaf extracts and fractions followed by GC-MS investigation of biological active fractions. *Molecules*. 2020;25(8):1977. https://lc.cx/jS_Ynr
8. Ganoza-Yupanqui M, Suárez-Rebaza L, Venegas-Casanova E, Ruiz-Reyes S, de Albuquerque R, Ganoza-Suárez M. Essential Oils of Medicinal Plants from Northern Peru: Traditional and Scientific Knowledge. *Essential Oils*. Estados Unidos: CRC Press; 2023. p. 120-33. https://lc.cx/q_16m0
9. Lipa C, Puma R. Efecto de los aceites esenciales de eucalipto: *Eucalyptus globulus* Labill.(1800) y molle: *Schinus molle* L.(1753) sobre larvas de moscas que afectan el cultivo de champiñón:

Agaricus bisporus (JE Lange) Imbach. (1946). Cusco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; 2024. <https://lc.cx/0YugaE>

10. Lammari N, Louaer O, Meniai A, Elaissari A. Encapsulation of essential oils via nanoprecipitation process: Overview, progress, challenges and prospects. *Pharmaceutics*. 2020;12(5):431. <https://lc.cx/-lv5VF>

11. Tsitlakidou P, Tasopoulos N, Chatzopoulou P, Mourtzinis I. Current status, technology, regulation and future perspectives of essential oils usage in the food and drink industry. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 2023;103(14):6727-51. <https://lc.cx/7WetNF>

12. Puppo M, Gianotti C, Calvete A, Leal A, Rivas M. Landscape, agrobiodiversity, and local knowledge in the protected area "Quebrada de los Cuervos y Sierras del Yerbál," Uruguay. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023;7:1240991. <https://lc.cx/un9F9M>

13. Shehata M, El-Sherbiny G, Sharaf M, Kalaba M, Shaban A, Biorefinery. Phytochemical analysis, antimicrobial, antioxidant, and cytotoxicity activities of *Schinus molle* (L.) extracts. *Biomass Conversion*. 2024:1-18. <https://lc.cx/jam7vt>

14. Rodríguez R, Oré J, Esenarro D. Efficient and sustainable improvement of a system of production and commercialization of Essential Molle Oil (*Schinus Molle*). *Empresa: investigación y pensamiento crítico*. 2021;10(4):43-75. https://lc.cx/_UeAT5

15. Lafont J, Espitia A, Torres F. Estudio químico del aceite y torta de semillas de *Crescentia cujete*: reporte de caso. *Revista UDCA Actualidad Divulgación Científica*. 2023;26(2):e2132. <https://lc.cx/76lv2t>

16. Bello A. Obtención y caracterización físico-química del aceite de las semillas del mate (*Crescentia cujete* L.). *Cumbres*. 2017;3(1):93-9. <https://lc.cx/zxxNox>

17. Corrales C, Flidel G, Pérez A, Servent A, Prades A, Dornier M, et al. Physicochemical characterization of jicaro seeds (*Crescentia alata* HBK): A novel protein and oleaginous seed. *Journal*

of Food Composition Analysis. 2017;56:84-92. <https://lc.cx/TfogQw>

18. Dashtian K, Kamalabadi M, Ghoorchian A, Ganjali M, Rahimi-Nasrabadi M. Integrated Supercritical Fluid Extraction of Essential Oils. *Journal of Chromatography A*. 2024;1733(27):465240. https://lc.cx/Sobh_c

19. Chen J, Liu H. Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review. *International journal of molecular sciences*. 2020;21(16):5695. <https://lc.cx/7SGETO>

20. Agregán R, Lorenzo J, Munekata P, Dominguez R, Carballo J, Franco D. Assessment of the antioxidant activity of *Bifurcaria bifurcata* aqueous extract on canola oil. Effect of extract concentration on the oxidation stability and volatile compound generation during oil storage. *Food Research International*. 2017;99:1095-102. <https://lc.cx/sVYbH7>

21. López A, Plascencia M, Lizardi J, Fernández D, Rodríguez F, Mouriño R, et al. *Schinus molle* L. essential oil-loaded chitosan nanoparticles: Preparation, characterization, antifungal and anti-aflatoxigenic properties. *Lwt*. 2018;96:597-603. <https://lc.cx/EDEE4L>

22. Dalla F, Stangherlin A, Nichelle B, de Freitas D, Duarte F, Oliveira R, et al. Miniaturized, high-throughput and green determination of the saponification value of edible oils using thermal infrared enthalpimetry. *Analytical methods*. 2018;10(30):3770-6. <https://lc.cx/e9ddic>

23. Rahnama A, Salehi F, Meskarbashe M, Mehdi K, Ghorbanpour M, Harrison M. High temperature perturbs physicochemical parameters and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *BMC Plant Biology*. 2024;24(1):1080. <https://lc.cx/IYUh1N>

24. Lima J, da Cruz A, Alves R, de Almeida A, Darnet S, Meller L. Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocopherols, total carotenoids and chemical composition. *Food research international*. 2019;116:12-9. <https://lc.cx/edav6w>

- 25.** Zumalacárregui B, Ferrer C. Caracterización fisicoquímica de hojas, semillas y aceite vegetal de *Moringa oleifera* ecotipo Plain. *Revista cubana de química*. 2022;34(2):227-41. <https://lc.cx/5deTuM>
- 26.** Jugreet B, Suroowan S, Rengasamy R, Mahomoodally M. Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. *Trends in Food Science Technology*. 2020;101:89-105. <https://lc.cx/39QYRx>
- 27.** Fernández J, Pascual G, Silva M, Salvá B, Guevara A, Encina C. Efecto del tratamiento enzimático de la semilla de moringa (*Moringa oleífera*) sobre las características físico-químicas del aceite obtenido por extracción con prensa expeller. *Scientia Agropecuaria*. 2018;9(3):371-80. <https://lc.cx/owdxxmY>
- 28.** Razzak A, Khiari R, Moussaoui Y, Belgacem N. *Schinus Molle: Currently Status and Opportunity. Annual Plant: Sources of Fibres, Nanocellulose and Cellulosic Derivatives: Processing, Properties and Applications*. Singapore: Springer; 2023. p. 535-51. <https://lc.cx/ZDqCvG>
- 29.** Fu X, Su J, Hou L, Zhu P, Hou Y, Zhang K, et al. Physicochemical and thermal characteristics of *Moringa oleifera* seed oil. *Advanced Composites Hybrid Materials*. 2021;4:685-95. <https://lc.cx/Y7B4dL>
- 30.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Alimentarius Codex. Norma para aceites vegetales especificados (CXS 210-1999)*. FAO y OMS; 2023. https://lc.cx/M_QnoK
- 31.** Solis J, Davila R, Sandoval C, Guzmán D, Guzmán H, Alejo L, et al. Ethanol production from *Schinus molle* essential oil extraction residues. *Waste Biomass Valorization*. 2020;11(8):4053-65. <https://lc.cx/n3HmpG>
- 32.** Phiri N, Serame EL, Pheko T. Extraction, chemical composition and antioxidant activity analysis of essential oil from *Schinus molle* medicinal plant found in Botswana. *Am J Essent Oil Nat Prod*. 2021;9(4):1-9. https://lc.cx/mi_me8
- 33.** Machado C, Raman V, Rehman J, Maia B, Meneghetti E, Almeida V, et al. *Schinus molle*: anatomy of leaves and stems, chemical composition and insecticidal activities of volatile oil against bed bug (*Cimex lectularius*). *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 2019;29(1):1-10. <https://lc.cx/2kbYYQ>

ACERCA DE LOS AUTORES

Leyla Sofia Curasma Castellanos. Bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Huancavelica. Asistente Analista de distribución en productos masivos en la empresa DISTRARAJ SAC, sede en el departamento de Ica, supervisor fitosanitario en fundo Agrícola San Lázaro de la empresa UVICA SAC en el departamento de Ica, Perú.

Franklin Oré Areche. Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de Huancavelica Perú. Magíster en Agronegocios y Comercio Internacional, Universidad Nacional de Huancavelica. Docente ordinario en la Universidad Nacional de Huancavelica en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, donde desarrolla investigaciones con los productos agropecuarios andinos, en las líneas de Ciencia y Tecnología de los alimentos, Fermentaciones industriales, Biotecnología e Ingeniería de procesos, Perú.

Jovencio Ticsihua Huaman. Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de Huancavelica. Magíster en Gestión Pública y docencia superior, Universidad Nacional de Huancavelica. Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Huancavelica. Experiencia en ciencia y tecnología de alimentos, experiencia en la inspección y supervisión en plantas y almacenes en productos agroindustriales, supervisión en programa social, Perú.

Elisa Raquel Atao Surichaqui. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Centro del Perú. Especialista en el manejo de proyectos productivos. Presidenta de la Asociación de Productores Agroindustriales de la Margen Izquierda del Río Perene – APAMIRPE, Perú.

Rafael Julian Malpartida Yapias. Ingeniero Agroindustrial. Magíster en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible; Magíster en Planificación y Proyectos de Inversión; experticia en TICs. Especialista en formulación y evaluación de planes de negocio y proyectos productivos. Especialista en innovación de productos agroindustriales empleando tecnologías emergentes. Doctor en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Línea de investigación: Desarrollo sostenible, Biotecnología y otras tecnologías, Perú.



Gestión y manejo de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el distrito de Rupa, Leoncio Prado, Huánuco – Perú 2023

Management and handling of household organic solid waste in the district of Rupa Rupa, Leoncio Prado, Huánuco – Peru 2023

Gestão e manejo dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares no distrito de Rupa Rupa, Leoncio Prado, Huánuco – Peru 2023

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.336>

Krystell Fiorela Marlix Cristancho Ariza 
krystellcristanchoariza@gmail.com

José Kalión Guerra Lu 
guerralu2@yahoo.com

Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú

Artículo recibido: 6 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

La gestión de residuos sólidos abarca acciones técnicas desde su generación hasta la disposición final. Por consiguiente, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la gestión y el manejo de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el distrito de Rupa Rupa. La generación per cápita es de 0.512 kg/día, con un 70.21% de los residuos siendo orgánicos. Sin embargo, solo el 9.86% de estos se compostan, y el reciclaje de residuos inorgánicos es apenas del 7.18%. La humedad del compost producido es aceptable (9.02%). Solo el 37% de la población participa en programas de segregación, y la evaluación general muestra que solo el 8% considera estos esfuerzos "muy buenos". En conclusión, el estudio resalta la urgencia de fortalecer las estrategias de educación y concienciación en la población sobre el manejo de residuos orgánicos y su valorización, así como la necesidad de implementar políticas adecuadas que faciliten la gestión eficiente de los residuos sólidos orgánicos.

Palabras clave: Compostaje; Reciclaje; Segregación; Sostenibilidad; Valorización

ABSTRACT

Waste management encompasses technical actions from generation to final disposal. Consequently, the objective of this research was to evaluate the management and handling of household organic solid waste in the Rupa Rupa district. The per capita generation is 0.512 kg/day, with 70.21% of the waste being organic. However, only 9.86% of this is composted, and the recycling of inorganic waste is just 7.18%. The moisture content of the produced compost is acceptable (9.02%). Only 37% of the population participates in segregation programs, and the overall evaluation shows that only 8% consider these efforts "very good." In conclusion, the study highlights the urgency of strengthening education and awareness strategies among the population regarding organic waste management and its valorization, as well as the need to implement appropriate policies to facilitate efficient management of organic solid waste.

Key words: Composting; Recycling; Segregation; Sustainability; Valorization

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos abrange ações técnicas desde a geração até a disposição final. Consequentemente, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a gestão e o manejo dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares no distrito de Rupa Rupa. A geração per capita é de 0,512 kg/dia, com 70,21% dos resíduos sendo orgânicos. No entanto, apenas 9,86% desses resíduos são compostados, e a reciclagem de resíduos inorgânicos é de apenas 7,18%. A umidade do composto produzido é aceitável (9,02%). Apenas 37% da população participa em programas de segregação, e a avaliação geral mostra que apenas 8% consideram esses esforços "muito bons". Em conclusão, o estudo destaca a urgência de fortalecer as estratégias de educação e conscientização na população sobre o manejo de resíduos orgânicos e sua valorização, bem como a necessidade de implementar políticas adequadas que facilitem a gestão eficiente dos resíduos sólidos orgânicos.

Palavras-chave: Compostagem; Reciclagem; Segregação; Sustentabilidade; Valorização

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos domiciliarios (RSD) son una mezcla compleja de materiales que varían según la región y el estilo de vida de los habitantes. En términos de composición física, los restos de comida representan aproximadamente el 46% del total, seguidos por papel y cartón (12%), plásticos (11%) y restos de jardín (17%). Esta diversidad refleja los hábitos de consumo y la generación de desechos en los hogares. La gestión adecuada de estos residuos es fundamental para reducir su impacto ambiental y promover la sostenibilidad (1).

Las propiedades físicas de los residuos también son relevantes para su manejo. La densidad y el tamaño de partícula afectan los métodos de reciclaje y compostaje. Por ejemplo, los residuos orgánicos tienen una densidad que varía entre 130 y 480 kg/m³. Esta variabilidad debe ser considerada al diseñar sistemas de recolección y tratamiento. Además, el poder calorífico de los RSD es un factor importante para su conversión energética, lo que puede contribuir a generar energía a partir de desechos (2,3).

Desde el punto de vista químico, los RSD contienen un alto contenido de humedad, que puede alcanzar hasta el 70% en restos de cocina. Además, su análisis elemental revela una rica presencia de carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno. La relación carbono-nitrógeno (C/N) es crucial para procesos como el compostaje, ya

que influye en la descomposición orgánica. Un C/N óptimo, que se sitúa entre 20 y 25, favorece la actividad microbiana y la transformación eficiente de los residuos en abono (4).

Por otro lado, los residuos domiciliarios pueden convertirse en una variedad de productos útiles a través de procesos de reciclaje y valorización. Uno de los más destacados es el compost, que se obtiene a partir de residuos orgánicos como restos de comida, cáscaras de frutas y verduras, así como residuos de poda. Este material es altamente beneficioso para la agricultura y la jardinería, mejorando la calidad del suelo y promoviendo el crecimiento de las plantas. Además, el compostaje reduce la cantidad de desechos enviados a vertederos y contribuye a la sostenibilidad ambiental al devolver nutrientes a la tierra (5,6).

Otro producto importante derivado de los residuos domiciliarios son los combustibles derivados de residuos (CDR), que se producen a partir de materiales como plásticos, papel y textiles con alto poder calorífico. Estos combustibles son utilizados en procesos industriales para generar energía, ayudando a reducir la dependencia de combustibles fósiles. Además, el reciclaje de materiales inorgánicos como vidrio, papel y metales permite recuperar recursos que pueden ser reutilizados en la fabricación de nuevos productos, disminuyendo así la cantidad de residuos en vertederos y ahorrando energía. También, los

residuos electrónicos ofrecen oportunidades para recuperar metales preciosos y otros componentes valiosos, contribuyendo a una economía circular más sostenible (7-9).

Por otra parte, la gestión ambiental tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de las personas promoviendo sus actividades principales, protegiendo el patrimonio natural y mejorando tanto el entorno urbano como rural. Este proceso, de carácter continuo y duradero, se enfoca en la administración de los recursos y los intereses establecidos en la Política Nacional Ambiental. La población, por su parte, exige soluciones rápidas a los problemas ambientales y un acceso eficiente a la justicia ambiental, mostrando un creciente interés en la conservación del medio ambiente y asumiendo un rol activo como vigilantes para su control y seguimiento (10).

De igual manera, la gestión ambiental se entiende como un proceso continuo y duradero, caracterizado por la colaboración entre entidades públicas, privadas y la sociedad civil. Este proceso busca implementar medidas claras y específicas orientadas al uso sostenible de los recursos naturales, promoviendo su protección, conservación y, cuando sea necesario, su restauración ante posibles daños (11).

En esta dirección, la Gestión Ambiental Municipal enfrenta a una serie de problemas relacionado con la gestión de los desechos sólidos domésticos, que impactan negativamente en

el medio ambiente y requieren una atención inmediata (12). En este sentido, la gestión de los residuos sólidos comprende todas las acciones técnicas requeridas para manejar, acondicionar, transportar, transferir, tratar y realizar la disposición final, o cualquier otro procedimiento técnico-operativo, desde su generación hasta su disposición definitiva (13).

En relación a los problemas relacionados con la gestión de los residuos sólidos municipales, estos se centran en las políticas locales y nacionales, y la planificación de la gestión integral de los residuos sólidos. Lo cual se manifiesta en el deficiente servicio de recolección, transporte, tratamiento y almacenamientos ilegales, baja participación de la población, ausencia de un programa educativo, propagación de los problemas medioambientales provocados, y gestión final de los desechos sólidos, acciones que implican el deterioro del medio ambiente y aparición de problemas de salud humana (14).

Por último, existe un Plan provincial de gestión de residuos sólidos municipales de la provincia de Leoncio Prado 2021-2025, en la cual se localiza el distrito de Rupa Rupa, en este los residuos orgánicos domiciliarios representan un 49.68% (15). Hasta la fecha, no se han realizado evaluaciones sobre la gestión de este programa, lo que es importante ya que busca fortalecer las estrategias de educación y concienciación en la población sobre el manejo de residuos orgánicos y su valorización.

Por consiguiente, el objetivo de la presente investigación es evaluar la gestión del manejo de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el distrito de Rupa Rupa en el año 2023.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo, para lo cual se utilizó un diseño transversal. La investigación tuvo lugar en el distrito de Rupa Rupa, el cual geográficamente se ubica en las coordenadas UTM WGS84 390407 m E y 8972290 m N. El clima del distrito Rupa Rupa es cálido, excesivamente lluvioso y con amplitud térmica moderada. La media anual de temperatura máxima y mínima (periodo 1954-1991) es 30.5°C y 18.7°C, respectivamente. La precipitación media acumulada anual para el periodo 1951-1991 es 3472.8 mm. Por otro lado, la precipitación total mensual en la zona varía entre 430,79 mm de precipitación mensual máxima, en enero, a 117,97

mm de precipitación mensual mínima, en junio. Por otro lado, la humedad relativa cercana al 80%.

En relación a los resultados del programa de gestión y manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en el distrito de Rupa Rupa, estos fueron compilados de los datos publicados por el “Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva” de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado (MPLP) (15).

Para determinar el tamaño de muestra, se consideró el total de casas se calculó la cantidad total de viviendas en el distrito de Rupa Rupa para el año 2023. La muestra fue calculada para un error permisible de 5% y un nivel de confiabilidad de 95%. El número final estimado fue de 114. La selección de las mismas se realizó por muestreo probabilístico simple. Para obtener la información de la muestra se utilizó la técnica de la encuesta y como instrumento se empleó un cuestionario que se describe a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Cuestionario.

Dimensión	Preguntas
Participación y disposición comunitaria	1. ¿Ha participado en algún programa de segregación de residuos sólidos? (Sí/No)
	2. ¿Estaría dispuesto a participar nuevamente en programas de segregación de residuos? (Sí/No)
	3. Si no está dispuesto a participar nuevamente, ¿cuál es la razón principal? (Opción abierta)
Conocimiento y sensibilización	4. ¿Sabe cuál es el destino final de los residuos recolectados en su localidad? (Sí/No)
	5. ¿Ha recibido capacitación sobre el manejo de residuos sólidos en el último año? (Sí/No)
	6. ¿Considera que cuenta con suficiente información para segregar correctamente los residuos? (Sí/No)

Dimensión	Preguntas
Prácticas de segregación y recolección	7. ¿Segrega sus residuos en su hogar? (Sí/No) 8. ¿Recibe servicio de recolección de residuos segregados en su domicilio? (Sí/No) 9. ¿Con qué frecuencia recibe el servicio de recolección de residuos en su domicilio? (Opción múltiple: 3 veces por semana, 5 veces por semana, etc.)
Evaluación de programas y servicios	10. ¿Cómo calificaría los programas de segregación de residuos en su localidad? (Muy bueno, Bueno, Regular, Malo, Muy malo) 11. ¿Cómo calificaría el servicio de recolección de residuos en su localidad? (Muy bueno, Bueno, Regular, Malo, Muy malo) 12. ¿Qué aspectos cree que podrían mejorar en los programas de segregación de residuos? (Opción abierta)
Impacto y percepción comunitaria	13. ¿Cree que los programas de segregación de residuos han tenido un impacto positivo en su comunidad? (Sí/No) 14. ¿Qué beneficios ha observado como resultado de la segregación de residuos? (Opción abierta) 15. ¿Qué barreras o dificultades ha enfrentado para participar en programas de segregación? (Opción abierta)

Además, se muestreo compost elaborado en la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos ubicada en el sector de Shapajilla del distrito de Luyando, las muestras fueron tomas por triplicado, una cantidad de 300 gramos en pomos impermeables y correctamente desinfectados. La muestra se obtuvo del compost que ya se encuentra empaquetado para sus diversos usos. Para los parámetros fisicoquímicos se usó la metodología propuesta por US Departament of Agriculture and Council del año 2001. Los resultados fueron analizados a través de estadística descriptiva utilizando porcentajes y valores absolutos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos presentados en la tabla reflejan una situación compleja en la gestión de residuos

sólidos domiciliarios en el distrito Rupa de la provincia Leoncio Prado. La generación per cápita de residuos es de 0.512 kg por habitante al día, lo que indica un desafío significativo para la gestión eficiente de estos desechos. La composición de los residuos muestra que el 70.21% son orgánicos, lo que sugiere la necesidad de implementar programas de compostaje y reciclaje para reducir el impacto ambiental. Además, la producción total de residuos sólidos es considerable, con un volumen total en tachos que supera el almacenamiento disponible, lo que resalta una brecha positiva en la oferta de espacio para residuos Tabla 2.

En cuanto a los servicios de barrido, se observa una brecha positiva en la oferta respecto a la demanda, lo que podría indicar un servicio

adecuado en términos de cobertura. Sin embargo, la recolección de residuos sólidos segregados presenta brechas negativas significativas, tanto para los orgánicos como para los inorgánicos, lo que sugiere que las capacidades actuales son insuficientes para satisfacer las necesidades de la población. La recolección de residuos mezclados también muestra una brecha negativa, indicando un desafío adicional en la gestión y separación efectiva de los residuos Tabla 2.

Por otro lado, el tratamiento de residuos sólidos orgánicos es alarmante, ya que solo el

9.86% se composta, a pesar de que el 70.21% de los residuos generados son orgánicos. Esto demuestra una falta de infraestructura y programas adecuados para manejar estos desechos de manera sostenible. En términos de reciclaje, solo se recicla el 7.18% de los residuos inorgánicos generados, lo que indica una baja tasa de recuperación y reutilización. La implementación del Plan Integral de Gestión Ambiental es crucial para abordar estas brechas y mejorar la sostenibilidad del manejo de residuos en la región Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores del programa de recolección de residuos en el distrito Rupa-Rupa.

Indicador	Resultados
Generación per cápita de Residuos sólidos domiciliarios	Generación per cápita: 0.512 Kg/hab/día
Composición de residuos sólidos	70.21% Orgánico 8.94% Inorgánico
Producción de residuos sólidos	Total, piso: 0.3606 m3 Total, tachos: 4.5495 m3
Almacenamiento de residuos sólidos	Oferta: 8.6160 m3 Demanda: 4.9100 m3 Brecha positiva: 3.7060 m3
Servicio de barrido de residuos sólidos	Oferta: Km/día: 54.6 Km/semana: 382.2 Km/mes: 163.38 Demanda: Km/día: 22.99 Km/semana: 160.93 Km/mes:689.7 Brecha positiva: Km/día: 31.61 Km/semana: 221.27 Km/mes: 948.3
Recolección de residuos sólidos orgánicos segregados	Oferta: 58.98 Ton/mes Demanda: 597.96 Ton/mes Brecha negativa: -538.98 Ton/mes

Indicador	Resultados
Recolección de residuos sólidos inorgánicos	Oferta: 5.46 Ton/mes Demanda: 76 Ton/mes Brecha negativa: -70.54 Ton/mes
Recolección de residuos sólidos mezclados	Oferta: 4214.9 Ton/mes Demanda: 4482.5 Ton/mes Brecha negativa: -267.6 Ton/mes
Tratamiento de residuos sólidos orgánicos	Orgánicos: 70.21% Residuos sólidos orgánicos generados: 597.9602 Ton/mes Residuos Compostados: 9.86%
Reciclaje de residuos sólidos inorgánicos	Inorgánicos: 8.94% Residuos sólidos inorgánicos generados: 76.1396 Ton/mes Residuos Reciclados: 7.18%

Fuente: Gobierno Regional de Huánuco (15), en el 2024.

La humedad del compost, expresada en términos porcentuales, fue analizada y comparada con los estándares establecidos en la NTC 5167, encontrándose dentro del rango aceptable con un valor de 9.02% Tabla 3. Además, al contrastar este resultado con la norma NOCh2880, se clasifica como tipo A, ya que se encuentra por debajo del umbral del 25%. Sin embargo, es importante destacar que varios estudios han determinado que el contenido óptimo de humedad para el compostaje de residuos orgánicos debería oscilar entre el 55% y el 75%, lo que sugiere que el compost analizado podría beneficiarse de un aumento en su nivel de humedad para mejorar la eficiencia del proceso de descomposición.

En lo que respecta al contenido de cenizas, se obtuvo un porcentaje del 44.72% Tabla 3. Al comparar este dato con la NTC 5167, se observa que se encuentra dentro de lo estipulado por la normativa, dado que es inferior al límite máximo permitido del 60%. Este elevado contenido de ceniza en el compost indica una notable presencia de sales minerales. Es relevante mencionar que el compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos tiende a presentar niveles elevados de estas sales, lo cual se debe principalmente a que una parte significativa de la población mezcla en sus desechos alimentos procesados. Este aspecto es crucial para entender las características químicas del compost y su posible impacto en la fertilidad del suelo.

Tabla 3. Humedad y cenizas en el Compost.

Parámetro	Resultado
Humedad (%)	9.02%
Ceniza (%)	44.72%

Los resultados sobre la participación de la comunidad en programas de segregación de residuos sólidos revelan que solo el 37% de la población ha estado involucrada en estas iniciativas, lo que representa un desafío considerable para fomentar una mayor participación comunitaria. Este dato sugiere que es fundamental implementar estrategias efectivas de sensibilización que informen y motiven a los ciudadanos a participar activamente en la gestión de residuos. A pesar de este bajo porcentaje de participación, un alentador 87% de los encuestados expresó su disposición a involucrarse nuevamente en futuros programas, lo que indica que, aunque existen obstáculos, hay un interés genuino por parte de la comunidad en mejorar la gestión de residuos Tabla 4.

El análisis también muestra una preocupante falta de conocimiento entre la población sobre el destino final de los residuos recolectados, ya que un 63% no tiene información al respecto. Esta carencia puede generar desconfianza y aprehensiones en la comunidad, afectando negativamente su disposición a participar en programas de reciclaje. Además, el 60% de los encuestados no ha recibido capacitación sobre el

manejo adecuado de residuos en el último año, lo que subraya la necesidad urgente de programas educativos que fortalezcan el conocimiento y las habilidades necesarias para una correcta segregación Tabla 4.

En términos de prácticas de segregación y recolección, el 60% de la población reporta que segrega sus residuos, mientras que un 40% no lo hace. Aunque el 76% recibe el servicio de recolección de residuos segregados, el 24% restante carece de este servicio, lo que indica brechas significativas en la cobertura. La frecuencia del servicio es positiva, con un 57% recibiendo recolección tres veces por semana y un 35% cinco veces por semana. Sin embargo, es esencial asegurar que esta frecuencia se alinee con las prácticas de segregación para maximizar la eficacia del sistema Tabla 4.

La evaluación general de los programas revela que solo el 8% considera estos esfuerzos como "muy buenos", mientras que un 52% los califica como "buenos" y un 40% como "regulares". Esto sugiere que, aunque hay una percepción positiva hacia los programas existentes, también hay un amplio margen para mejorar. Los encuestados identificaron necesidades específicas como mayor

sensibilización, optimización de rutas y aumento en la frecuencia de recolección como áreas clave para el desarrollo futuro (Tabla 4).

Por último, el 87% cree que estos programas han tenido un impacto positivo en su comunidad, destacando beneficios como la reducción de la

contaminación ambiental y la promoción del reciclaje y reutilización. Sin embargo, también se identifican barreras significativas como la falta de conocimiento y cobertura del servicio, lo que debe ser abordado para lograr una gestión más efectiva Tabla 4.

Tabla 4. Percepción sobre los resultados del programa de gestión de residuos sólidos.

Dimensión	Pregunta	Respuesta
Participación y disposición comunitaria	1. ¿Ha participado en algún programa de segregación de residuos sólidos?	Solo el 37% ha participado.
	2. ¿Estaría dispuesto a participar nuevamente en programas de segregación de residuos?	87% está dispuesto a participar nuevamente.
	3. Si no está dispuesto a participar nuevamente, ¿cuál es la razón principal?	13% no está dispuesto (razones no especificadas en el texto).
Conocimiento y sensibilización	4. ¿Sabe cuál es el destino final de los residuos recolectados en su localidad?	63% no conoce el destino final de los residuos.
	5. ¿Ha recibido capacitación sobre el manejo de residuos sólidos en el último año?	60% no ha recibido capacitación en el último año.
	6. ¿Considera que cuenta con suficiente información para segregar correctamente los residuos?	No se especifica en el texto, pero se infiere que hay falta de conocimiento en un 40%.
Prácticas de segregación y recolección	7. ¿Segrega sus residuos en su hogar?	60% segrega sus residuos, mientras que el 40% no lo hace.
	8. ¿Recibe servicio de recolección de residuos segregados en su domicilio?	76% recibe el servicio, mientras que el 24% no lo recibe.
	9. ¿Con qué frecuencia recibe el servicio de recolección de residuos en su domicilio?	57% lo recibe 3 veces por semana y 35% lo recibe 5 veces por semana.
Evaluación de programas y servicios	10. ¿Cómo calificaría los programas de segregación de residuos en su localidad?	8% lo considera "muy bueno", 52% "bueno" y 40% "regular".
	11. ¿Cómo calificaría el servicio de recolección de residuos en su localidad?	30% lo considera "muy bueno", 57% "bueno" y 13% "regular".
	12. ¿Qué aspectos cree que podrían mejorar en los programas de segregación de residuos?	Necesidad de mayor sensibilización y cobertura. Optimización de rutas. Aumento de la frecuencia de recolección.
Impacto y percepción comunitaria	13. ¿Cree que los programas de segregación de residuos han tenido un impacto positivo en su comunidad?	El 87% tiene una percepción positiva.
	14. ¿Qué beneficios ha observado como resultado de la segregación de residuos?	Reducción de la contaminación ambiental y promoción del reciclaje y reutilización.
	15. ¿Qué barreras o dificultades ha enfrentado para participar en programas de segregación?	Falta de conocimiento (40%) y falta de cobertura del servicio (24%).

Discusión

Los resultados obtenidos en el estudio sobre la gestión de residuos sólidos en el distrito Rupa revela desafíos significativos. La generación per cápita de residuos, que se sitúa en un nivel notable, plantea un reto considerable para la infraestructura de gestión existente. Este dato resalta la necesidad urgente de incrementar el número de organizaciones que se dediquen al compostaje y reciclaje, dado que una gran proporción de los residuos generados es orgánica. Estudios anteriores han documentado situaciones similares en otras regiones, donde la alta generación de residuos ha llevado a problemas de saturación en los sistemas de recolección y tratamiento (16). Esto sugiere que las estrategias actuales deben ser reevaluadas y adaptadas a las particularidades locales para mejorar la sostenibilidad del manejo de residuos.

En cuanto, a la brecha observada entre la oferta y la demanda en los servicios de recolección y segregación es otro aspecto crítico que merece atención. Aunque se ha observado una cobertura adecuada en el servicio de barrido, las brechas negativas en la recolección segregada indican que las capacidades actuales son insuficientes para satisfacer las necesidades de la población. Este fenómeno ha sido documentado en estudios previos, donde se ha encontrado que una cobertura inadecuada puede llevar a problemas graves de acumulación y salud pública (17). La recolección

de residuos mezclados también presenta desafíos adicionales, lo que resalta la necesidad urgente de mejorar las prácticas de segregación desde el hogar. Investigaciones han demostrado que una mayor educación y sensibilización sobre la importancia del reciclaje y la segregación son claves para abordar estas brechas (18).

Por otra parte, el alarmante porcentaje de residuos orgánicos que se compostan refleja una falta crítica de infraestructuras adecuadas para el tratamiento sostenible de estos desechos. Investigaciones anteriores han demostrado que una gestión ineficaz no solo afecta el medio ambiente, sino que también limita las oportunidades para la recuperación y reutilización. Además, el bajo porcentaje de reciclaje observado subraya la necesidad imperiosa de implementar un Plan Integral de Gestión Ambiental que aborde no solo las brechas operativas, sino también fomente un cambio cultural hacia prácticas más sostenibles. En este sentido, es esencial considerar recomendaciones previas sobre la necesidad de integrar a la comunidad en estos esfuerzos para asegurar su efectividad a largo plazo (19).

En relación a la participación comunitaria en programas de segregación es otro aspecto crítico que se debe considerar. Con solo un porcentaje bajo de participación actual, queda claro que hay un desafío considerable para fomentar una mayor implicación. Sin embargo, el interés mostrado

por un porcentaje significativo de la población para participar nuevamente sugiere que hay un potencial sin explotar. Este hallazgo es consistente con estudios previos que han demostrado que el éxito en la gestión de residuos está estrechamente relacionado con la percepción pública sobre la efectividad y relevancia de los programas implementados (20). La disposición a participar indica que, aunque existen obstáculos, hay un interés genuino por parte de la comunidad en mejorar la gestión.

Finalmente, es crucial abordar las percepciones sobre el programa existente. Aunque un porcentaje significativo califica los programas como positivos, existe un amplio margen para mejorar. Investigaciones anteriores enfatizan que incorporar retroalimentación comunitaria puede ser esencial para ajustar y optimizar estos programas (21). La identificación clara de áreas clave para el desarrollo futuro —como mayor sensibilización y optimización del servicio— puede contribuir a mejorar tanto la percepción como la efectividad general del sistema.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos resaltan no solo los desafíos actuales en la gestión de residuos sólidos en Rupa, sino también ofrecen una base sólida sobre la cual construir estrategias más efectivas y sostenibles en el futuro. En este sentido, la generación significativa de residuos, junto

con la alta proporción de desechos orgánicos, subraya la necesidad de implementar programas efectivos de compostaje y reciclaje. A pesar de que un porcentaje considerable de la población muestra disposición a participar en iniciativas de segregación, la baja tasa actual de involucramiento y el escaso conocimiento sobre el destino final de los residuos indican que se deben desarrollar estrategias de sensibilización y capacitación. En conjunto, estos hallazgos sugieren que un enfoque integral y colaborativo es esencial para mejorar la gestión sostenible de residuos en la región.

REFERENCIAS

1. Aguirre G. Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producido en la planta de valoración de la municipalidad provincial de Leoncio Prado, Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2023: <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2445>
2. Requena-Sánchez N, Carbonel-Ramos D, Requena-Sánchez N, Carbonel-Ramos D. Cambios en la generación y composición de residuos domiciliarios durante la pandemia del Covid-19, Estudio de Caso en 8 distritos de la provincia de Arequipa, Perú. *Tecnia*. 2021;31(2):22-6. <https://doi.org/10.21754/tecnica.v21i2.1035>
3. Rodríguez-Araujo J, Valiente-Saldaña Y, Díaz-Valiente F, Díaz-Gómez C. Composición de la generación de residuos sólidos en la municipalidad distrital de Santa, Perú. *Koinonía*. 2024;9(17):144-53. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i17.3159>
4. Francisco A, Rodríguez Y. Caracterización residuos sólidos domiciliarios en Santo Domingo Oeste, República Dominicana, (I). *Cienc Soc*. 2010;35(4):566-87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7422098>

5. Da Costa A, Dias D, Ferreira K, Vasconcelos B, Souto De Sousa F, Porto VCN, et al. Efecto del compost de residuos orgánicos domiciliarios, vegetales y estiércol en el crecimiento de lechuga. *Rev Colomb Cienc Hortícolas*. 2018;12(2):464-74. DOI:10.17584/rcch.2018v12i2.7902
6. Martínez E, Martínez J. Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos de cultivos generados en diferentes municipios del departamento de Córdoba (Puerto Escondido, Chinú, Cereté y Montería). Montería-Cordoba: Universidad de Córdoba; 2023 <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/6974>
7. López F. Creando combustibles a partir de basura» Proyectos llave en mano para el tratamiento y reciclado de residuos. - GTA Ambiental; 2021. <https://gtaambiental.com/creando-combustibles-a-partir-de-basura/>
8. Sogari N, Busso A, Ledezma R, Vallejos R, Aguirre D. Generación de biogás a partir de residuos domiciliarios. En: *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* [Internet]. 2010; 1-3. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100912>
9. Borda E, Lahura N, Borda S. Generación de Biogás a partir de residuos orgánicos mediante la aplicación del NBS gas home organic reactor, en el anexo 14, distrito de San Ramón Junín, Perú. *Rev Científica Pakamuros*. 2023;11(4):121-39. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.unj02346>
10. INIE. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2014. Instituto Nacional de Estadística e Informática; 2015. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/13-anuario_de_estadisticas_ambientales_2014_-_inei.pdf
11. Rodríguez-Becerra M, Espinoza G. Gestión ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas. Banco Interamericano de Desarrollo; 2002. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/46544>
12. León-Gómez H de, Cruz-Vega C, Dávila-Pórcel R, Velasco-Tapia F, Chapa-Guerrero J, León-Gómez H de, et al. Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. *Rev Mex Cienc Geológicas*. 2015;32(3):514-26. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1026-87742015000300514&script=sci_abstract
13. MINAN. Decreto Supremo N.º 012-2009-MINAM - Normas y documentos legales - Ministerio del Ambiente-Plataforma del Estado Peruano, 2009. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/335845-012-2009-minam>
14. Caljaro E. Diagnóstico actual y propuesta del manejo de residuos sólidos en el distrito de Kelluyo. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano; 2014. https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/4528/Caljaro_Castillo_Elmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y
15. Gobierno Regional de Huánuco. Plan provincial de gestión de residuos sólidos municipales de la provincia de Leoncio Prado 2021-2025. 2024. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/PIGARS%202021%20-%202025.pdf>
16. Heysen S. Cuantificación de residuos orgánicos domiciliarios generados en el centro poblado de Puerto Almendras, propuesta para la producción de compost - distrito San Juan Bautista - Perú. 2018. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana; 2019. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6507>
17. Garrido L. Metales pesados, microorganismos patógenos y calidad en compost a base de residuos sólidos urbanos en Tingo María – Leoncio Prado. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2227>
18. Vargas C. Calidad del compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos municipales en el centro de protección ambiental Santa Cruz, ciudad de Concepción. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro de Perú; 2017. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4145>
19. Huerta Pujol O, Martínez Farré F, Gallart González-Palacio M, Soliva Torrentó M, López Martínez M. El uso de compost de residuos sólidos municipales como enmienda orgánica: Aportaciones de diferentes componentes según

origen. 2010. 1-9: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/11638>

20. Santiago-Olivares N, Padilla-Arriaga R, Martínez-Orozco E. Estudio del nivel de concientización para la implementación de programa de separación de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Arandas, Jalisco. *Ra Ximhai*. 2017;13(3):425-38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46154070026>

21. Morales I. Efecto ambiental del uso de las composteras en el manejo integral de los residuos sólidos domésticos en una comuna urbano-rural. Santiago, Chile: Universidad de Chile; 2005. <https://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Morales%20Victoria.pdf>

ACERCA DE LOS AUTORES

Krystell Fiorela Marlix Cristancho Ariza. Ingeniero Ambiental. Maestría en Agroecología, Mención Gestión Ambiental. Consultor en el manejo de los residuos sólidos y Gestión Ambiental con participación como ponente en evento nacional, Perú.

José Kalión Guerra Lu. Bachiller en Ciencias biológicas. Biólogo en la Universidad Nacional de Trujillo. Maestría en Recursos Naturales, Mención Recurso Vegetal, Universidad Nacional de Cajamarca. Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y Post Doctorado en Ciencia, en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Docente principal a Dedicación Exclusiva en la Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María; Docente invitado de la escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan; publicaciones en revistas indexadas en Scopus y Scielo. Investigador RENACYT Nivel VI, especializado en Biodiversidad, recursos Naturales y Medio Ambiente, con participación como ponente en eventos nacionales e internacionales, Perú.



Factores determinantes de la Huella Ecológica en el Perú, periodo 2011-2021

Determining factors of the Ecological Footprint in Perú, period 2011-2021

Factores determinantes da Pegada Ecológica no Perú, período 2011-2021

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.337>

Julio Cesar Quispe Mamani
jcquispe@unap.edu.pe

Lucas Ponce Quispe
lponce@unap.edu.pe

German Roberto Quispe Zapana
germanroberto5@gmail.com

Marcial Guevara Mamani
mguevara@unap.edu.pe

Manuel Timoteo Enriquez Tavera
menriqueztavera@gmail.com

Héctor Efraín Flores Ortega
hflores@unap.edu.pe

Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

La huella ecológica, también conocida como huella medioambiental, es una medida que permite evaluar el impacto generado por las actividades humanas sobre el planeta. Esta se traduce en la cantidad de superficie ecológicamente productiva necesaria para generar los recursos consumidos por cada persona, así como la cantidad de tierra requerida para absorber los residuos generados en los diversos procesos productivos. El objetivo de esta investigación fue identificar los factores determinantes de la huella ecológica en el Perú entre 2011 y 2021. Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo descriptivo y correlacional, utilizando el modelo de efectos fijos. Se empleó información disponible en el Instituto Nacional de Estadística e Informática, el Ministerio del Ambiente y el Banco Central de Reserva del Perú. Los resultados obtenidos muestran que, en las ciudades más pobladas, como Lima, Arequipa y Trujillo, la variable que más impacta en la huella ecológica es la generación de residuos sólidos. Un incremento del 1% en esta variable incrementa la huella en un 7,8%. Le sigue el crecimiento del parque automotor, que también contribuye en un 7,8%, y, finalmente, el consumo de energía eléctrica. Para reducir la huella ecológica, es crucial implementar políticas de concienciación ambiental a nivel nacional y adoptar un modelo económico sostenible a largo plazo. En conclusión, se puede afirmar que las variables Parque automotor, consumo de energía eléctrica y generación de residuos sólidos fueron los principales determinantes de la huella ecológica en el Perú durante el periodo 2011-2021.

Palabras clave: Contaminación ambiental; Desarrollo sostenible; Ecología; Huella ecológica; Medio ambiente

ABSTRACT

The ecological footprint, also known as the environmental footprint, is a measure that allows us to evaluate the impact generated by human activities on the planet. This translates into the amount of ecologically productive surface necessary to generate the resources consumed by each person, as well as the amount of land required to absorb the waste generated in the various production processes. The objective of this research was to identify the determining factors of the ecological footprint in Perú between 2011 and 2021. To do so, a quantitative approach was adopted, with a non-experimental descriptive and correlational design, using the fixed effects model. Information available at the National Institute of Statistics and Informatics, the Ministry of the Environment and the Central Reserve Bank of Perú was used. The results obtained show that, in the most populated cities, such as Lima, Arequipa and Trujillo, the variable that most impacts the ecological footprint is the generation of solid waste. A 1% increase in this variable increases the footprint by 7.8%. This is followed by the growth of the vehicle fleet, which also contributes 7.8%, and finally, the consumption of electric energy. To reduce the ecological footprint, it is crucial to implement environmental awareness policies at the national level and adopt a sustainable economic model in the long term. In conclusion, it can be stated that the variables Vehicle fleet, electric energy consumption and generation of solid waste were the main determinants of the ecological footprint in Perú during the period 2011-2021.

Key words: Ecology; Ecological footprint; Environment; Environmental pollution; Sustainable development

RESUMO

A pegada ecológica, também conhecida como pegada ambiental, é uma medida que permite avaliar o impacto gerado pelas atividades humanas no planeta. Isso se traduz na quantidade de superfície ecologicamente produtiva necessária para gerar os recursos consumidos por cada pessoa, bem como na quantidade de terra necessária para absorver os resíduos gerados nos diversos processos de produção. O objetivo desta pesquisa foi identificar os fatores determinantes da pegada ecológica no Perú entre 2011 e 2021. Para tanto, adotou-se uma abordagem quantitativa, com delineamento descriptivo e correlacional não experimental, utilizando o modelo de efeitos fixos. Foram utilizadas informações disponíveis no Instituto Nacional de Estatística e Informática, no Ministério do Meio Ambiente e no Banco Central de Reserva do Perú. Os resultados obtidos mostram que, nas cidades mais populosas, como Lima, Arequipa e Trujillo, a variável que mais impacta na pegada ecológica é a geração de resíduos sólidos. Um aumento de 1% nessa variável aumenta a pegada em 7,8%. Em seguida, vem o crescimento da frota de veículos, que também contribui com 7,8%, e, por fim, o consumo de energia elétrica. Para reduzir a pegada ecológica, é fundamental implementar políticas de conscientização ambiental em nível nacional e adotar um modelo econômico sustentável de longo prazo. Concluindo, pode-se afirmar que as variáveis frota de veículos, consumo de energia elétrica e geração de resíduos sólidos foram os principais determinantes da pegada ecológica no Perú durante o período 2011-2021.

Palavras-chave: Ambiente; Desenvolvimento sustentável; Ecologia; Pegada ecológica; Poluição ambiental

INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico de los países en el mundo, llevado a cabo sin considerar las restricciones ambientales, ha provocado la sobreexplotación de los recursos naturales y la creciente contaminación del medio ambiente. Como resultado de estas prácticas, se han generado numerosos impactos negativos, entre los que se destacan la contaminación atmosférica, la contaminación del suelo y del agua, así como el desequilibrio en los ciclos biogeoquímicos. Además, se ha producido una fragmentación de los ecosistemas, una reducción significativa de la flora y fauna, y una disminución alarmante de la biodiversidad. Estas actividades económicas, junto con sus consecuencias, están llevando al planeta a un punto crítico, superando los límites planetarios establecidos para el funcionamiento seguro de los sistemas naturales (1-11).

Por lo que, la huella ecológica, como indicador clave del desarrollo sostenible, es una medida biofísica que refleja el impacto total que una colectividad determinada (país, región o ciudad) ejerce sobre su entorno. Este indicador toma en cuenta tanto los recursos naturales necesarios como los residuos generados para mantener el modelo de producción y consumo de dicha colectividad (12-15). Un componente esencial de la huella ecológica es la "tierra para capturar carbono", que refleja la superficie de terreno forestal necesaria para absorber las emisiones

de dióxido de carbono (CO₂) generadas por esa colectividad (2, 16-18). Para evaluar si la demanda humana de recursos renovables y la capacidad de absorción de CO₂ pueden ser sostenibles, la huella ecológica se compara con la biocapacidad del planeta, que representa la capacidad regenerativa de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos. Ambas se expresan en hectáreas globales (hag), una unidad de medida estandarizada que permite comparar la productividad de los suelos entre países, ya que los suelos tienen diferentes niveles de bio-productividad. Un hag corresponde a la capacidad productiva de una hectárea de tierra con una productividad media mundial (18-25).

Por lo tanto, a nivel mundial, resulta preocupante la creciente brecha entre la huella ecológica per cápita y la biocapacidad per cápita desde el año 1970. Esta discrepancia ha llevado a que, año tras año, la huella ecológica supere considerablemente la biocapacidad, generando un déficit ecológico. Este desequilibrio representa un problema complejo que afecta tanto a los factores ambientales como económicos a escala global. Es crucial tomar conciencia sobre la gravedad de la situación, ya que esta creciente sobreexplotación de los recursos naturales y la contaminación ambiental comprometen la sostenibilidad del planeta (26-30).

Por esta razón, en las últimas décadas, el desarrollo económico y comercial del Perú ha experimentado un notable impulso, generando

tanto impactos positivos como negativos. Sin embargo, en este proceso, se ha dejado de lado la consideración de los aspectos ambientales, sociales y culturales. La huella ecológica, un indicador único de sostenibilidad desarrollado por Rees y Wackernagel en 1996, mide los impactos que una población ejerce sobre el entorno, expresados en hectáreas de ecosistemas o naturaleza. Este indicador permite evaluar las demandas de la humanidad sobre la biosfera en relación con la capacidad regenerativa del planeta (4, 22, 31-34).

De este modo, uno de los indicadores que impacta directamente la huella ecológica en el país es el Producto Interno Bruto (PIB) y su distribución entre las diferentes regiones. A medida que los ingresos de la población aumentan, también se incrementa la huella ecológica, ya que un mayor poder adquisitivo conlleva un aumento en el consumo de recursos y en la generación de residuos. Otro indicador clave es la generación per cápita de residuos sólidos en el sector urbano, un problema recurrente en los últimos años. Este fenómeno está estrechamente relacionado con la centralización de la población en la región de Lima, especialmente en Lima Metropolitana, donde reside aproximadamente un tercio de la población del país. En otras palabras, de cada tres peruanos, uno vive en la capital. Esta concentración poblacional genera un impacto significativo en la contaminación ambiental de la región, agravando los problemas ecológicos y de sostenibilidad en el

área metropolitana. Por lo tanto, es fundamental abordar estos desafíos para mitigar su efecto negativo sobre el medio ambiente y promover un desarrollo sostenible en el país (25, 35, 36).

Así, el sector eléctrico peruano ha crecido a un ritmo superior al del PIB, impulsado por la inversión, la disponibilidad de energía y el desarrollo de energías renovables. Este último fue especialmente promovido entre 2008 y 2009 por la Autoridad Supervisora de la Inversión en Energía y Minas. Según un informe del Centro Nacional de Planeamiento Estratégico en el 2011, este sector es fundamental para el crecimiento económico, ya que el suministro de energía es esencial para la producción de bienes y servicios. Además, el sector eléctrico no solo es crucial para diversas actividades económicas, sino que también contribuye a mejorar la calidad de vida de la población, al estar estrechamente vinculado con el acceso a servicios energéticos, lo que a su vez ayuda en la reducción de la pobreza (25, 36).

De ahí que, el sector eléctrico es crucial en muchos países; sin embargo, a nivel mundial, constituye la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), representando un 15% del total global. Este sector es particularmente vulnerable al cambio climático y a los costos ambientales asociados, como la contaminación del agua y las emisiones de GEI. Entre estas emisiones, el carbono es uno de los principales, ya que, además de liberarse a la atmósfera, también

está relacionado con la capacidad de los bosques para almacenar carbono, lo que agrava aún más el impacto ambiental de este sector. Mientras que, Otro de los indicadores clave de la huella ecológica en términos de contaminación es el uso de vehículos a combustión. Uno de los principales contaminantes del aire es la emisión de gases derivados de la quema de combustibles fósiles, especialmente de los vehículos de la industria automotriz. En el caso del Perú, la cantidad de vehículos por cada mil habitantes ha ido aumentando de manera constante en los últimos años, lo que conlleva a un incremento progresivo de la contaminación atmosférica generada por estos vehículos (25, 36).

Por lo tanto, los factores determinantes de la huella ecológica en el Perú son diversos y están interrelacionados con el crecimiento económico, el consumo de recursos naturales, la generación de residuos, la expansión urbana, la deforestación y el uso de la tierra, entre otros. Los indicadores claves para monitorear y gestionar estos factores incluyen el PIB, las emisiones de GEI, el consumo de agua, la generación de residuos, la tasa de deforestación y la biodiversidad. Lo que se traduce en que, la huella ecológica en el Perú refleja un modelo de desarrollo que, aunque ha favorecido el crecimiento económico, ha tenido un impacto ambiental significativo, especialmente en términos de consumo de recursos no renovables y la destrucción de ecosistemas. Para avanzar hacia un

desarrollo más sostenible, es esencial mejorar la eficiencia en el uso de recursos, promover energías renovables, reducir la deforestación y fortalecer la gestión de residuos.

Por lo cual, el objetivo de la investigación fue establecer los factores determinantes de la huella ecológica en el Perú, entre los periodos 2011-2021. Además, la hipótesis de la investigación es que, los factores determinantes de la huella ecológica en el Perú, entre los periodos 2011-2021 están el consumo de energía eléctrica, la existencia del parque automotor, la generación de residuos sólidos y el Producto Interno Bruto per cápita.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se caracteriza por un enfoque cuantitativo, aplicado, descriptivo y correlacional. Es considerada aplicada porque aborda un problema de investigación previamente establecido y no experimental, dado que no se manipulan las variables independientes, sino que se observan los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural. El análisis de los datos se lleva a cabo de manera transversal y longitudinal de forma simultánea, utilizando un diseño de datos de panel completo, y recolectando información a nivel departamental durante el período 2011-2021. El diseño es descriptivo, ya que tiene como objetivo identificar y detallar el problema de investigación, describiendo las condiciones o situaciones asociadas al mismo. Por último, el

estudio es correlacional, ya que busca analizar la relación entre las variables de estudio y determinar su grado y magnitud (37,38). En el estudio, la población está constituida por todos los habitantes de los 24 departamentos del Perú durante el período comprendido entre 2011 y 2021. Esta población incluyó la selección de 100 personas por cada departamento.

Para el estudio se utilizaron fuentes de carácter secundario, como técnica se utilizó la encuesta. El instrumento empleado fue el cuestionario, para la llevar la información a la Base de Datos. Se utilizaron las series estadísticas anuales a nivel departamental. Se realiza el levantamiento de información de las principales instituciones públicas entendidas en el tema, referente a huella ecológica, el valor agregado bruto, cantidad de vehículos por cada mil personas, producción de electricidad per cápita por fuentes no renovables y el desarrollo financiero; estas son:

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (Encuestas Dirección de Cuentas Nacionales, ENAHO).

- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) del Ministerio de Ambiente.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Para el procesamiento de la información se utilizó el Software Stata, para la estimación de los modelos econométricos.

El modelo de Datos de Panel permitirá lograr los objetivos propuestos y contrastar las hipótesis planteadas en la presente investigación. Este modelo es apropiado para analizar cómo el crecimiento económico, el aumento del parque automotor, el consumo de energía y la generación de residuos sólidos determinan la huella ecológica. Esto se debe a que las variables pueden diferenciarse como individuos (por regiones) y por temporalidad, de acuerdo con las series disponibles que abarcan desde 2011 hasta 2021. Los diferentes detalles de las variables en estudio se presentan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Operacionalización de las variables de la investigación.

Variables	Concepto	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Fuente
Variable dependiente					
Huella Ecológica (Capital Natural)	Permite conocer el grado de impacto de la sociedad sobre el ambiente	Sostenible-Ambiental	Huella Ecológica Departamental per cápita	H e c t á r e a s Globales (Hag)	MINAM - Ministerio del Ambiente
Variables independientes					
Crecimiento Económico	Es el promedio de Producto Bruto Interno por cada persona de una determinada economía	Económica	Producto Bruto Interno per cápita (precios constantes 2011-2021)	Miles de soles	INEI - Instituto Nacional de Estadística e Informática
Parque Automotor	Indica el número de automóviles que circulan por un determinado país	Ambiental	Vehículos por cada mil habitantes	U n i d a d e s por cada mil habitantes	MINAM - Ministerio del Ambiente
Consumo de Energía eléctrica	Es la cantidad total de energía que se necesita para un proceso determinado	Ambiental	Producción de electricidad per-cápita por departamento	gigavatio-hora (GWh)	Banco Central de Reserva del Perú - Data
Residuos Sólidos	Permite conocer la cantidad de residuos sólidos generados por habitante al día	Ambiental	G e n e r a c i ó n per cápita de residuos sólidos domiciliarios urbanos	Kilogramos por habitante por día(kg/hab-día)	Ministerio del Ambiente - MINAM

Se recopilan datos de fuentes secundarias, como el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), que proporcionan información sobre el consumo de recursos, generación de residuos y otros indicadores relevantes para calcular la huella ecológica en los 24 departamentos del Perú.

En primer lugar, se realiza un análisis descriptivo para identificar las características básicas de los datos recolectados. Esto incluye la presentación de estadísticas resumidas que permiten entender

la distribución y tendencias de las variables involucradas. Además, se aplica un modelo de datos de panel que permite observar las variaciones tanto a nivel regional como temporal. Este enfoque es adecuado para estudiar cómo factores como el crecimiento económico, aumento del parque automotor, consumo de energía y generación de residuos sólidos afectan la huella ecológica.

El modelo econométrico estuvo representado de la siguiente forma:

$$HE_{it} = \beta_0 + \beta_1 VH_{it} + \beta_2 RS_{it} + \beta_3 CE_{it} + \beta_4 PBI_{it} + \mu_{it}$$

Donde:

- HE_{it} : Huella ecológica per-cápita (Hag)
 PBI_{it} : Producto Bruto Interno por departamentos
(miles de soles)
 VH_{it} : Los vehículos por cada mil habitantes
 RS_{it} : Generación per cápita de residuos sólidos
domiciliarios urbanos (kg/hab-día)
 CE_{it} : Consumo de electricidad per-cápita por
departamento (gwh)
 i : individuos (24 Regiones del Perú)
 t : tiempo (2011 – 2021)
 μ_{it} : error estándar
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: Parámetros para cada uno de las
variables.

Mientras que, se llevaron a cabo análisis correlacionales para determinar la relación entre las variables estudiadas. Esto ayuda a identificar patrones y a evaluar el grado y la magnitud de la influencia que cada variable tiene sobre la huella ecológica. Así, el procesamiento y análisis

de los datos se realiza utilizando software estadístico como SPSS y Excel. Estas herramientas permiten generar cuadros, gráficos y modelos estadísticos que facilitan la interpretación de los resultados. Finalmente, los resultados obtenidos se comparan con estimaciones previas, como las proporcionadas por la Global Footprint Network, para validar las conclusiones del estudio. Esto asegura que los hallazgos sean consistentes con estudios internacionales y permite realizar recomendaciones basadas en evidencia sólida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se presenta el indicador de la huella ecológica (HE) aplicado al Perú por regiones, correspondiente al periodo 2011-2021. Se observa una tendencia creciente en la HE, siendo Lima el departamento con el mayor impacto ambiental durante todo el periodo de estudio, lo que genera un problema significativo de contaminación, afectando tanto la salud de la población como la capacidad regenerativa del país.

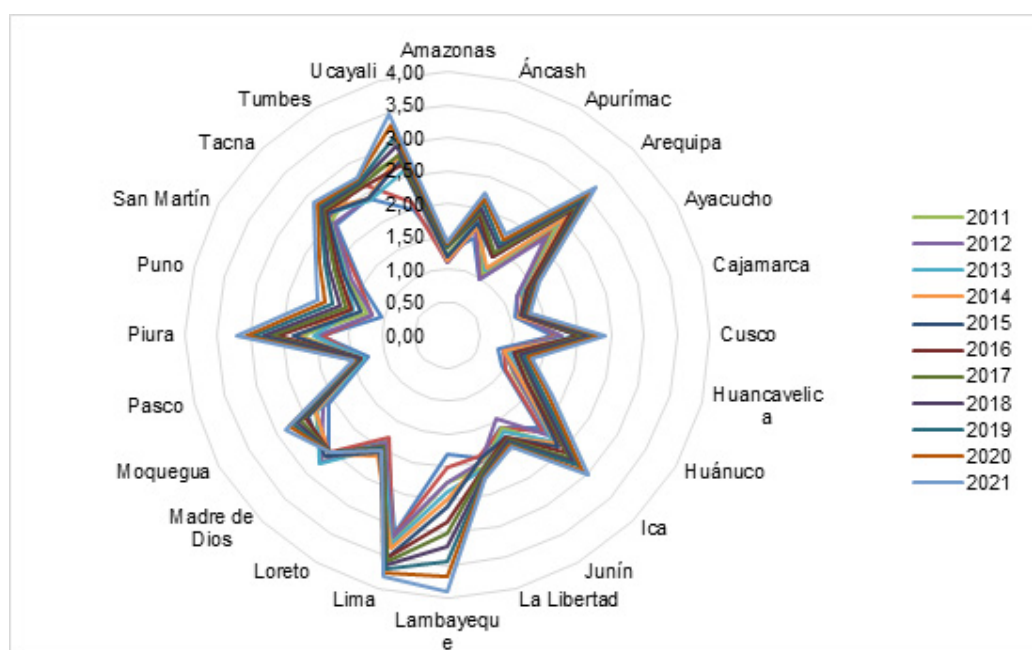


Figura 1. Huella ecológica del Perú por Regiones para el periodo 2011-2021.

En 2011, la región de Lima reportó una HE de 3.12, seguida por Madre de Dios (2.57), Tumbes (2.41) y Tacna (2.39), todas por encima del promedio nacional, que fue de 2.12. En 2015, la HE de Lima aumentó a 3.49, mientras que otras regiones como Ucayali (2.75), Arequipa (2.74) y Madre de Dios (2.62) también superaron el promedio nacional de 2.46. Para 2021, la HE de Lima alcanzó 3.81, mientras que Ucayali (3.48), Arequipa (3.20), Madre de Dios (2.52) y Lambayeque (3.90) también estuvieron por encima del promedio nacional de 2.86 Figura 1.

En términos generales, la HE en Perú mostró una tendencia creciente durante el periodo analizado. En 2011, la media nacional fue de 2.12, y para 2021 se incrementó a 2.86. Este aumento se mantuvo incluso durante la pandemia de COVID-19, lo que sugiere que, a pesar de las restricciones, las actividades económicas en el país al igual que en otras economías continúan dependiendo en gran medida de las variables macroeconómicas, el uso de recursos naturales y la capacidad productiva del país Figura 2.

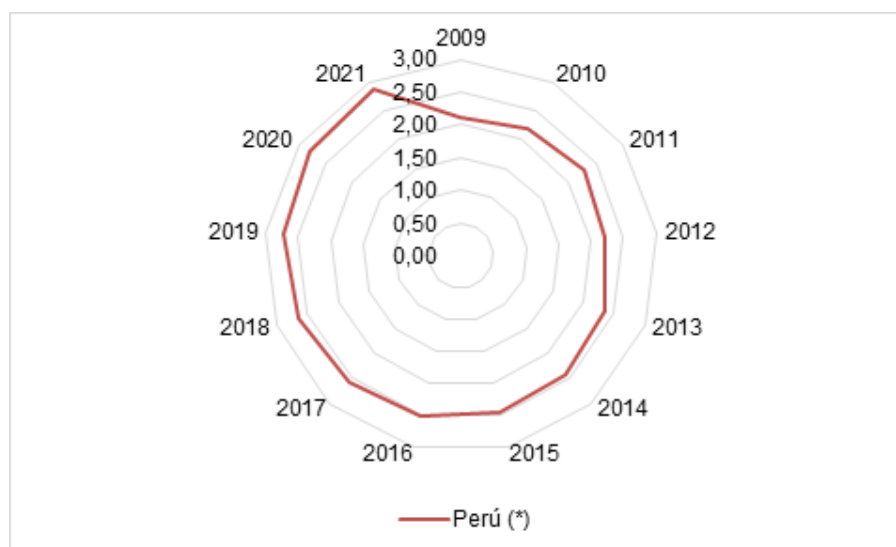


Figura 2. Huella ecológica del Perú para el periodo 2011-2021.

En este sentido, la huella ecológica está directamente relacionada con el crecimiento económico. Así lo evidencia la Figura 3, que muestra el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB) por regiones, donde Lima presenta el mayor PIB, seguida por Arequipa. Este alto nivel de producción económica influye de manera significativa en la huella ecológica de la región. En

contraste, otras regiones, con menor PIB, muestran una huella ecológica proporcionalmente más baja, lo que está relacionado con su menor actividad económica y población. Esta diferencia se debe a que Lima es la ciudad más centralizada del país, lo que genera una mayor dinamización económica (Figura 3).

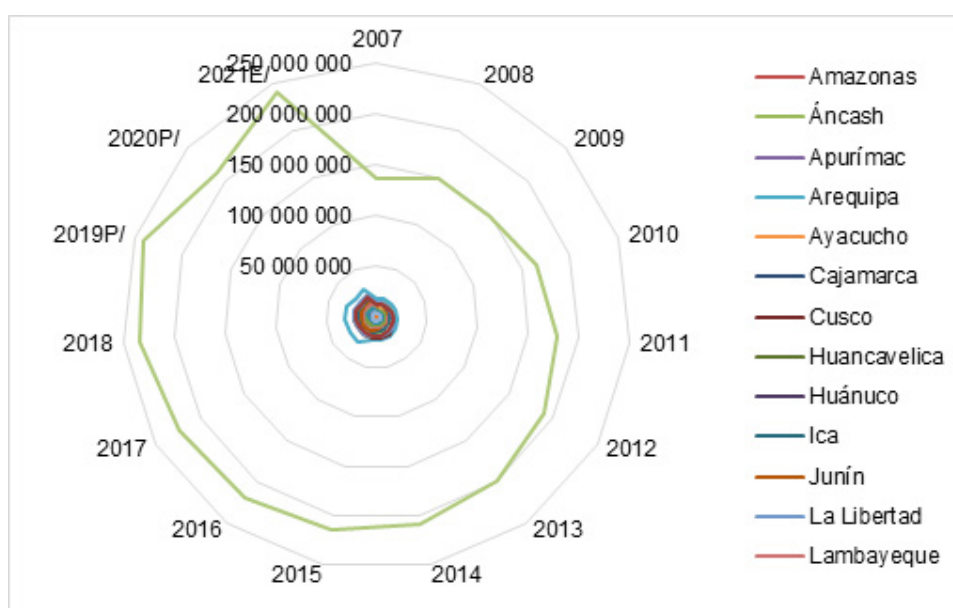


Figura 3. PIB del Perú por regiones, para el periodo 2011-2021.

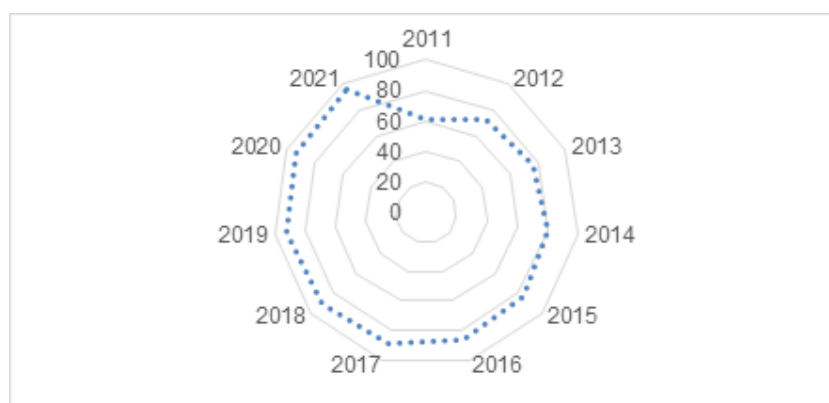


Figura 4. Existencia de vehículos por cada mil habitantes en el Perú.

Además, el desarrollo de las actividades económicas contribuye significativamente a la contaminación ambiental, siendo uno de los principales contaminantes del aire la quema de combustibles fósiles provenientes de los vehículos y la industria automotriz. En el caso del Perú, la cantidad de vehículos por cada mil habitantes ha ido aumentando año tras año, lo que implica un incremento continuo en la contaminación generada por estos. En el país, el número de vehículos por habitante ha crecido de manera considerable, impulsado por diversos factores, siendo uno de los principales la creciente

demanda de automóviles debido a la necesidad de un desplazamiento más rápido y conveniente. Esta tendencia queda reflejada en la Figura 4, que muestra el aumento constante en el parque automotor.

Esta tendencia se complementa con la Figura 5, en la que se observa que el parque automotor en el Perú sigue una curva exponencial, lo que conlleva una mayor demanda de combustible. A pesar de este aumento, aún se encuentra en proceso la implementación de combustibles alternativos o menos contaminantes.

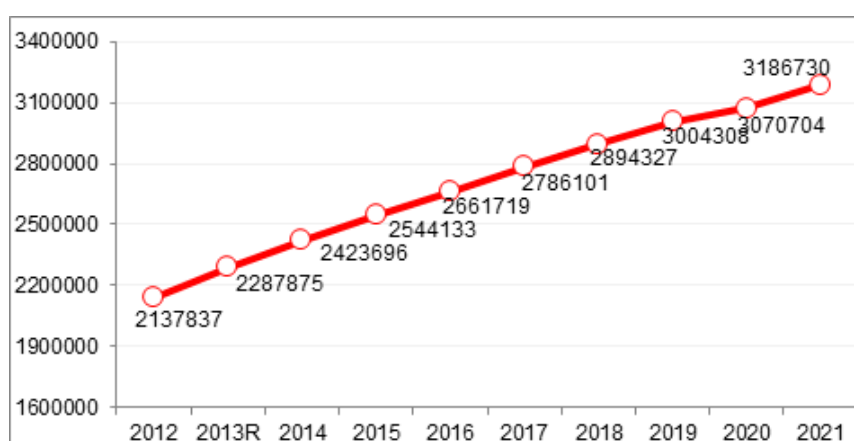


Figura 5. Evolución del Parque Automotor Nacional Estimado por Años: 2011-2021.

Lo anteriormente mencionado evidencia la relación directa entre la huella ecológica y sus determinantes, que en este caso incluyen el crecimiento económico de Perú, el consumo de energía, la expansión del parque automotor y el volumen de generación de residuos sólidos. Estos factores contribuyen de manera significativa a la tendencia creciente de la huella ecológica en los últimos años, lo que respalda las teorías existentes que sostienen que, para garantizar el crecimiento y desarrollo económico, se incurre en el sacrificio del medio ambiente, generando mayores impactos negativos sobre la naturaleza Figura 6.

El diagrama de dispersión mostrado en la Figura 6 revela que las variables Producto Interno

Bruto (PIB) per cápita, parque automotor, consumo de energía eléctrica y generación de residuos sólidos presentan una clara tendencia de relación directa y positiva con la variable huella ecológica. Esta tendencia es confirmada por la matriz de correlación entre dichas variables, que se muestra en la Tabla 2. Según los valores de correlación de Pearson, la relación entre el consumo de energía eléctrica y la huella ecológica es débil, con un valor de p de 0.2885. En cambio, la relación entre la huella ecológica y las variables parque automotor, generación de residuos sólidos y PIB per cápita es de una correlación media, con valores de p de 0.5966, 0.4869 y 0.4973 respectivamente, lo que indica una relación directa entre estas variables.

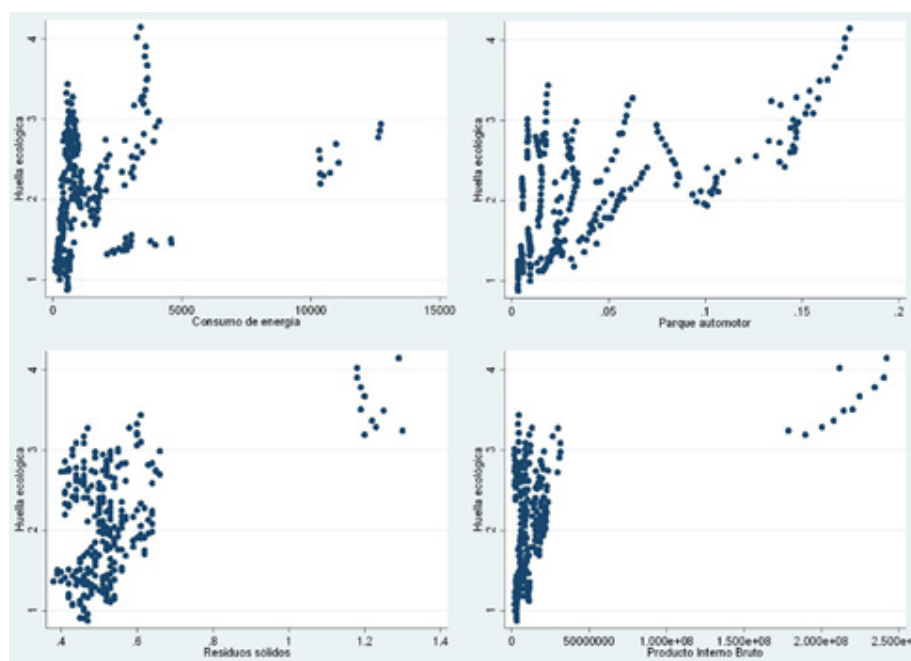


Figura 6. Relación entre la huella ecológica y sus determinantes

Tabla 2. Matriz de correlación de la huella ecológica y sus determinantes

Variables	Huella ecológica	Consumo de energía	Parque automotor	Residuos sólidos	Producto Interno Bruto
Huella ecológica	1.0000				
Consumo de energía eléctrica	0.2885	1.0000			
Parque automotor	0.5966	0.3655	1.0000		
Residuos sólidos	0.4869	0.0488	0.3998	1.0000	
Producto Interno Bruto per cápita	0.4973	0.2010	0.5957	0.9126	1.0000

Como parte del análisis complementario, después de aplicar el modelo econométrico propuesto, los resultados obtenidos de las pruebas de Breusch-Pagan para efectos aleatorios y la prueba F para efectos fijos indican que tanto el modelo de efectos aleatorios como el de efectos fijos superan al modelo agrupado en términos de

ajuste. Para determinar si utilizar un modelo de efectos fijos o aleatorios, se realizó una prueba de Hausman, y los resultados sugieren que, dado que existen diferencias sistemáticas en los coeficientes estimados, se debe usar el modelo de efectos fijos Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de las estimaciones por paneles corregidos por autocorrelación y heteroscedasticidad a través de errores estándar.

Variable	Coefficiente	Std. Error	Z-Statistic	Prob.	[95% Conf. Interval]	
Producto Interno Bruto per cápita	2.91E-10	1.39E-09	2.02	0.084	-2.43E-09	3.01E-09
Parque automotor	7.844869	1.064782	7.37	0.000	5.757935	9.931803
Consumo de energía eléctrica	0.0000271	0.0000134	2.21	0.044	7.80E-07	0.0000534
Residuos sólidos	0.7859019	0.300788	2.61	0.009	0.1963683	1.375436
Constante	1.316481	0.1618053	8.14	0.000	0.9993482	1.633613
Estadísticos Ponderados						
R-squared	0.6615					
Wald chi2(4)	182.31					
Prob > chi2	0					
Min	11					
Avg	11					
Max	11					
Number of obs	264					
Number of groups	24					

Es importante señalar que los resultados presentados anteriormente corresponden al modelo más eficiente. Esto se debe a que, previamente, se había estimado otro modelo económico con efectos fijos, en el cual las variables significativas que explicaban el comportamiento de la huella ecológica fueron el parque automotor per cápita, el consumo de energía eléctrica y los residuos sólidos. En cambio, la variable Producto Interno Bruto per cápita resultó no significativa. Además, el modelo inicial presentaba problemas de heteroscedasticidad y autocorrelación, que fueron corregidos mediante el uso del estimador de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles (FGLS) o estimadores de paneles corregidos por autocorrelación y heteroscedasticidad a través de errores estándar (PCSE). Por lo que, Beck et al. (39), demostraron que los errores estándar PCSE son más precisos que los FGLS.

Huella ecológica_{it}

$$= 0.00029 \text{ PIB per cápita}_{it} 1.316 + 7.84 \text{ Parque automotor}_{it} \\ + 0.0000271 \text{ Consumo de energía eléctrica}_{it} + 0.7859 \text{ Residuos Sólidos}_{it} \\ + \mu_{it}$$

Por lo tanto, si el parque automotor aumenta en 1 vehículo por cada mil habitantes, la huella ecológica se incrementará en 7.84 hectáreas globales (hag). De igual manera, si el consumo de energía eléctrica aumenta en 1 GWh, la huella ecológica crecerá en 0.002 hectáreas globales (hag). Si la generación de residuos sólidos aumenta

En este modelo, el coeficiente de determinación R^2 es de 66 %, lo que indica que las variables consideradas en el estudio como el Producto Interno Bruto per cápita, el parque automotor, el consumo de energía eléctrica y la generación de residuos sólidos explican en un 66% los cambios en la variable dependiente, la huella ecológica. Este resultado sugiere que las variables independientes están positivamente relacionadas con la variable dependiente; es decir, un aumento en estas variables se traduce en una mayor huella ecológica.

Con base en estos resultados, podemos afirmar que el modelo de efectos fijos es pertinente y que las variables elegidas tienen una estrecha relación para explicar el comportamiento de la huella ecológica. A continuación, se presenta el modelo econométrico final:

en 1 kg por habitante por día, la huella ecológica aumentará en 0.78 hectáreas globales (hag). Finalmente, si el Producto Interno Bruto per cápita crece en 1 dólar por habitante, la huella ecológica se incrementará en 0.00029 hectáreas globales (hag).

Discusión

En el análisis de los resultados obtenidos, es crucial reconocer que el modelo más eficiente ha sido seleccionado tras una evaluación detallada de la especificación y la corrección de los problemas de heteroscedasticidad y autocorrelación que afectaron al modelo inicial. Este procedimiento es consistente con las recomendaciones de Beck y Katz (40), quienes argumentaron que el uso de errores estándar corregidos por autocorrelación y heteroscedasticidad proporciona estimaciones más robustas y precisas que otros métodos como los estimadores de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles. Los autores subrayan que los PCSE permiten manejar adecuadamente la heteroscedasticidad y la autocorrelación en datos de panel, lo cual mejora la precisión de las inferencias obtenidas. De acuerdo con Beck y Katz (40), los errores estándar ajustados por PCSE superan las limitaciones del FGLS, especialmente cuando los supuestos sobre la estructura de la varianza no se cumplen en los datos empíricos.

Por lo que, en cuanto al modelo final, los resultados obtenidos (R^2 de 66 %) sugieren que las variables seleccionadas explican una proporción considerable de la variabilidad de la huella ecológica, lo cual indica la relevancia de estas variables en la determinación del comportamiento de la huella ecológica. Este hallazgo coincide con

la literatura que ha documentado una relación positiva entre el desarrollo económico, la expansión del parque automotor, el consumo de energía y la generación de residuos, y el impacto ambiental. Varios estudios, como los de Palmero et al. (20), destacan cómo el crecimiento económico, medido a través del Producto Interno Bruto per cápita, está relacionado con una mayor huella ecológica, aunque con una sensibilidad más baja en comparación con otras variables como el consumo de energía o la movilidad. Sin embargo, en el modelo analizado, el PIB per cápita no resultó significativo, lo que podría indicar que, en el contexto específico de este estudio, otras variables tienen un impacto más directo sobre la huella ecológica.

De este modo, cuanto a las variables significativas, el parque automotor per cápita muestra una relación considerablemente fuerte con la huella ecológica, lo cual se alinea con investigaciones previas que han demostrado que el aumento en la cantidad de vehículos por habitante contribuye directamente a un mayor uso de recursos y mayores emisiones de CO₂ (41). Del mismo modo, el consumo de energía eléctrica y generación de residuos sólidos también fueron identificadas como variables determinantes. Investigaciones previas desarrolladas por Le Quéré et al. (41) confirman que tanto el consumo

energético como la producción de residuos están estrechamente ligados con la huella ecológica de un país.

Finalmente, los resultados sugieren que un incremento en el PIB per cápita, aunque no significativo en el modelo, puede seguir desempeñando un papel en la expansión de la huella ecológica, aunque en menor medida que el parque automotor, el consumo de energía y los residuos sólidos. Este fenómeno ha sido explorado por autores como Dietz y Rosa (42), quienes explican que el crecimiento económico, aunque genera mayor demanda de bienes y servicios, no siempre se traduce directamente en un aumento proporcional en la huella ecológica debido a la mejora de la eficiencia en algunos sectores.

En resumen, el modelo final proporciona evidencia sólida de que las variables como el parque automotor, el consumo de energía eléctrica y la generación de residuos sólidos son determinantes clave en la explicación de la huella ecológica, mientras que el Producto Interno Bruto per cápita, aunque relevante, no muestra un efecto tan directo en el contexto de este análisis específico. Estos hallazgos refuerzan la importancia de considerar un enfoque multifacético al evaluar los factores que impulsan el impacto ambiental a nivel nacional.

CONCLUSIONES

El incremento en los ingresos de la población ha llevado a un aumento en el consumo, lo que a su vez ha elevado la generación de residuos y, por lo tanto, la contaminación. Fenómeno considerada consecuencia directa del mayor poder adquisitivo, que impulsa un mayor consumo y, en consecuencia, mayores emisiones y generación de desechos.

Por otro lado, el parque automotor tiene un impacto negativo sobre la huella ecológica, principalmente debido al elevado número de vehículos en las ciudades. Este impacto se ve exacerbado por la falta de una cultura y conciencia ambiental adecuada en la población. Entre los factores que contribuyen a esta situación se encuentran: una deficiente conciencia ambiental y una baja tasa de reciclaje de residuos sólidos, y la falta de disposición de los usuarios para reducir las emisiones y la creación de residuos. En este contexto, la Universidad Nacional podría desempeñar un papel fundamental, promoviendo la concienciación ambiental entre la comunidad y gestionando, junto con las autoridades correspondientes, la instalación de plantas de reciclaje de residuos sólidos.

En cuanto al consumo de energía eléctrica, este también tiene un impacto positivo o directo sobre la huella ecológica. Cada aumento porcentual en el consumo de energía eleva la huella ecológica en un 0.002% de hectáreas por persona en promedio. Esto se debe a que, aunque existe una proporción de energía generada a partir de fuentes renovables, la producción de energía térmica a partir de fuentes no renovables sigue representando una parte significativa del total. Esto implica que la huella ecológica sigue viéndose afectada negativamente por las fuentes de energía contaminantes, lo que podría tener repercusiones irreversibles sobre el capital natural a largo plazo.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses por la publicación de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Labra R, Rock J, Álvarez I. Identifying the key factors of growth in natural resource-driven countries. A look from the knowledge-based economy. *Ensayos Sobre Política Económica*. 2016; 34(79): 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.espe.2015.12.001>
2. Aichele R, Felbermayr G. Estimating the effects of Kyoto on bilateral trade flows using matching econometrics. *The World Economy*. 2013; 36(3): 303-330. <https://doi.org/10.1111/twec.12053>
3. Akadiri S, Alola A, Uzuner G. Economic policy uncertainty and tourism: evidence from the heterogeneous panel. *Current Issues in Tourism*. 2020; 23(20):2507–2514. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1687662>
4. Madrid F de M. Cambio Climático y Huella Ecológica. *Revista de Ciencias*. 2016; 11:105–12. https://doi.org/10.31381/revista_ciencias.v11i0.573
5. Atsu F, Adams S. Energy consumption, finance, and climate change: ¿Does policy uncertainty matter? *Economic Analysis and Policy*. 2021; 70:490–501. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.03.013>
6. Fan C, Tian L, Zhou L, Hou D, Song Y, Qiao X. Examining the impacts of urban form on air pollutant emissions: Evidence from China. *Journal of Environmental Management*. 2018; 212:405–14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.001>
7. Pengue W. Fundamentos de economía ecológica. Buenos Aires: Kaicron, Argentina. 2009. https://www.alfaomega.es/media/pdf/ficha_6956.pdf
8. Danish, Ulucak R, Khan S. Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*. 2020; 54:101996. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996>
9. Charfeddine L, Yousef Al-Malk A, Al Korbi K. Is it possible to improve environmental quality without reducing economic growth: Evidence from the Qatar economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018; 82:25–39. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.001>
10. Carpintero O. La huella ecológica de la agricultura y la alimentación en España, 1955-2000. *Áreas Revista Internacional de Ciencias Sociales*. 2006; 25:31–45. <https://revistas.um.es/areas/article/view/127991>
11. Bilgili F, Ulucak R. The Nexus Between Biomass – Footprint and Sustainable Development. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. 2020; 1-5:175–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10600-9>
12. Ahmad M, Jiang P, Majeed A, Umar M, Khan Z, Muhammad S. The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: an advanced panel data estimation. *Resources Policy*. 2020; 69: 101817. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101817>

- 13.** Banister D. Energy, quality of life and the environment: The role of transport. *Transport Reviews*. 1996;16(1):23–35. <https://doi.org/10.1080/01441649608716931>
- 14.** Ulucak R, Bilgili F. A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and low income countries. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 188:144–57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.191>
- 15.** Charfeddine L. The impact of energy consumption and economic development on Ecological Footprint and CO₂ emissions: Evidence from a Markov Switching Equilibrium Correction Model. *Energy Economics*. 2017; 65:355–74. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.05.009>
- 16.** Badii M, Guillén A, Serrato O, Abreu J. Huella ecológica y sustentabilidad (Ecological footprint and sustainability). *International Journal of Good Conscience*. 2017;1 2(3):26–41. [http://www.spentamexico.org/v12-n3/A4.12\(3\)26-41.pdf](http://www.spentamexico.org/v12-n3/A4.12(3)26-41.pdf)
- 17.** Tobasura I. Huella ecológica y biocapacidad: indicadores biofísicos para la gestión ambiental. El caso de Manizales, Colombia. *Luna Azul*. 2008; 26:119–36. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n26/n26a07.pdf>
- 18.** Aşici A, Acar S. Does income growth relocate ecological footprint? *Ecological Indicators*. 2015; 61:707–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.022>
- 19.** Martínez R. Algunos aspectos de la huella ecológica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*. 2007; 9(14):11–25. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66615071002.pdf>
- 20.** Palmero F, González F, Miguélez F, Menéndez E, Castro J. Desarrollo sostenible y huella ecológica. Una aplicación a la economía gallega. *Netbiblio*. 2004. 240 p. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=5733>
- 21.** Fañanás P. Análisis del impacto de factores técnicos, socioeconómicos y ambientales en la huella ecológica local de Zaragoza. *Universidad de Cantabria*. 2021; 1–132. <https://doi.org/10.3390/su16156672>
- 22.** Ardisana E, Gaínza B, Torres A, Fosado O. Agricultura en Sudamérica: la huella ecológica y el futuro de la producción agrícola. *Chakiñan, Revista De Ciencias Sociales y Humanidades*. 2018; 5:90–101. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rchakin/n5/2550-6722-rchakin-05-00090.pdf>
- 23.** Balsalobre-Lorente D, Shahbaz M, Roubaud D, Farhani S. How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO₂ emissions? *Energy Policy*. 2018; 113:356–67. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050>
- 24.** Destek, Sarkodie S. Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: The role of energy and financial development. *Science of the Total Environment*. 2019; 650:2483–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.017>
- 25.** Rendón E. La Huella Hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú. *Saber y Hacer Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*. 2015; 2:34–47. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/40>
- 26.** Alvarado R, Tillaguango B, Murshed M, Ochoa-Moreno S, Rehman A, Işık C, et al. Impact of the informal economy on the ecological footprint: The role of urban concentration and globalization. *Economic Analysis and Policy*. 2022; 75:750–67. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.07.001>
- 27.** Danish, Zhang J, Hassan S, Iqbal K. Toward achieving environmental sustainability target in Organization for Economic Cooperation and Development countries: The role of real income, research and development, and transport infrastructure. *Sustainable Development*. 2020; 28(1):83–90. <https://doi.org/10.1002/sd.1973>
- 28.** Perez D, De Marco O, Alvarez P. La huella ecológica de las naciones. *Reflexiones globales, particularidades ecuatorianas*. *Ciencia Unemi*. 2015; 8(14):93–103. <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663828012.pdf>

29. Muñiz I, Rojas C, Busuldu C, García A, Filipe M, Quintana M. Forma urbana y huella ecológica en el Área Metropolitana de Concepción (Chile). *Eure*. 2016; 42(127):209–30. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612016000300009>
30. Muñiz I, Galindo A. Urban form and the ecological footprint of commuting. The case of Barcelona. *Ecological Economics*. 2005; 55(4):499–514. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.008>
31. Badii M. La huella ecológica y sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience*. 2008; 3(1):672–8. [http://www.spentamexico.org/v3-n1/3\(1\)%20672-678.pdf](http://www.spentamexico.org/v3-n1/3(1)%20672-678.pdf)
32. Vega P, Álvarez Suárez P. La Agenda 21 y la huella ecológica como instrumentos para lograr una universidad sostenible. *Enseñanza de las Ciencias Revista de investigación y experiencias didácticas*. 2011; 29(2):207–19. <https://acortar.link/Gt53KJ>
33. Sánchez C. Evolution of the climate change concept and its impact in the public health of Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*. 2016; 33(1):128–38. <https://europepmc.org/article/med/27384632>
34. Valladares P, Villanueva R. Huella Ecológica de Huaraz. *Aporte Santiaguino*. 2009; 2(2):247–56. <https://doi.org/10.32911/as.2009.v2.n2.404>
35. Lozano-Povis A, Alvarez-Montalván C, Moggiano N. El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*. 2021; 12(1):101–8. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
36. Aliaga M. Determinación de la Huella Ecológica Personal como Estrategia para la Adquisición de Patrones de Consumo Sostenibles UNCP 2014. *Revista de Ingeniería de la USIL*. 2016; 3(1):49–69. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/187>
37. Mendoza W. ¿Cómo investigan los economistas? Guía para elaborar y desarrollar un proyecto de investigación. 2014. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/170200>
38. Hernández R, Fernández C, Baptista P. Análisis de los datos cuantitativos. *Metodología de la investigación*, 6, 270-335. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25172w/M1CCT05_S4_Analisis_de_datos.pdf
39. Beck N, Katz J. Time-Series With Not To Do and What Cross-Section. *Political Science*. 1995; 89(3):634–47. <https://doi.org/10.2307/2082979>
40. Middleton N, Sternberg T. Climate hazards in drylands: A review. *Earth-Science Reviews*. 2013; 126:48–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.07.008>
41. Le C, Andrew R, Friedlingstein P, Sitch S, Hauck J, Pongratz J, et al. Global Carbon Budget 2018. *Earth System Science Data* 2018; 10(4):2141–94. <https://essd.copernicus.org/articles/10/2141/2018/>
42. Dietz T, Eudene. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1997; 94(1): 175-179. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.94.1.175>

ACERCA DE LOS AUTORES

Julio Cesar Quispe Mamani. Ingeniero Economista. Investigador del Concytec-Perú. Especialización en Proyectos de Inversión Pública, Universidad Nacional del Altiplano-Perú. Magíster en Desarrollo Regional y Medio Ambiente, Universidad de Valparaíso-Chile. Ex becario de la Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo AGCID-Chile. Candidato a Doctor en Economía y Políticas Públicas, Universidad Nacional del Altiplano-Perú. Experiencia en publicación de artículos científicos. Docente investigador de la Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

Marcial Guevara Mamani. Ingeniero Economista. Magíster Scientiae en: Economía, Mención en: Planificación y Gestión Pública. Segunda Especialidad en Didáctica Universitaria. Experiencia en el sector privado y Público. Docente de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ingeniería Económica, Perú.

Lucas Ponce Quispe. Contador Público. Licenciado en Ciencias de la Educación, Universidad Nacional del Altiplano. Magister Scientiae en Economía con mención en Planificación y Gestión Pública, Perú.

Manuel Timoteo Enriquez Tavera. Doctor en Economía y Gestión, Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Perú. Experiencia en gestión pública; Jefe de la Oficina de Presupuesto y Director de la Oficina General de Planificación y Desarrollo UNA-Puno, docente de la Facultad de Ingeniería Económica en pre y posgrado, Perú.

German Roberto Quispe Zapana. Bachiller en Contabilidad UNA-Puno. Maestro en contabilidad, Auditoria y Tributación UNA-Puno. Doctor en Economía y desarrollo Sostenible UNA Puno. Docente Universitario, Post Grado; asistencia a congresos y Conferencias Nacionales, diplomados en Universidades Nacionales PUCP. Afiliación a línea de Investigación Gestión pública: Sistemas administrativos; Políticas Públicas: Desarrollo de políticas sociales; Gestión y administración Financiera: Administración de capital de trabajo. Trayectoria de Investigador, elaboración de trabajos de investigación, Bachillerato, Grado de Maestro y Doctor, en defensa de tesis, Perú.



Carbón activado de la cáscara de plátano en la adsorción de metales pesados

Activated carbon from banana peel in the adsorption of heavy metals

Carvão ativado da casca de banana na adsorção de metais pesados

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.338>

Marcos Alejandro Robles Lora¹
mrobles@ucvvirtual.edu.pe

Julio Vilchez Moscol²
juliovilchez87@gmail.com

Jean Carlos Ecurra Lagos³
jean.escurra@upn.pe

Natalia del Pilar Diaz Diaz⁴
ndiazd@unitru.edu.pe

¹Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú

²Universidad Católica de Trujillo. Trujillo, Perú

³Universidad Privada del Norte. Trujillo, Perú

⁴Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

La investigación propone determinar la eficiencia del uso del carbón activado de la cáscara de plátano en la adsorción de metales pesados presentes en el río Moche durante el año 2024, esto a través de la evaluación de la concentración de metales pesados, la comparación de la concentración del agua antes y después del adsorbente con relación al ECA (Categoría 1) y finalmente la determinación del porcentaje de adsorción del carbón activado de la cáscara de plátano. Adoptando un enfoque cuantitativo de alcance explicativo, con un diseño preexperimental. La población estuvo conformada por el agua del Río Moche, con una muestra de 7 litros, utilizando el muestreo simple, desde junio del 2024 hasta setiembre de 2024. Los resultados fueron contrastados con las pruebas estadísticas, de normalidad y del T Student, los cuales indican que, la cáscara de banana demostró un porcentaje alto de eficiencia en la adsorción de metales pesados (As) en las muestras de agua contaminadas del río Moche, ya que con la aplicación de 5g se obtuvo un porcentaje de 78%, con 7g el porcentaje fue de 85% y con la aplicación de 10g se obtuvo el porcentaje más alto de 88% ya que el adsorbente más óptimo es de 10g de la cáscara de plátano para la adsorción de metales pesados con el arsénico. Concluyendo que, el método sí es eficiente, ya que se pudo reducir más del 50% de lo esperado en la adsorción de metales pesados de arsénico en el agua del río Moche.

Palabras clave: Carbón activado; Cáscara de plátano; Adsorción; Metales pesados

ABSTRACT

The research proposes to determine the efficiency of the use of activated carbon from banana peel in the adsorption of heavy metals present in the Moche River during the year 2024, this through the evaluation of the concentration of heavy metals, the comparison of the concentration of water before and after the adsorbent in relation to the ECA (Category 1) and finally the determination of the percentage of adsorption of activated carbon from banana peel. Adopting a quantitative approach of explanatory scope, with a pre-experimental design. The population was made up of the water of the Moche River, with a sample of 7 liters, using simple sampling, from June 2024 to September 2024. The results were contrasted with statistical, normality and T Student tests, which indicate that the banana peel demonstrated a high percentage of efficiency in the adsorption of heavy metals (As) in the contaminated water samples of the Moche River, since with the application of 5g a percentage of 78% was obtained, with 7g the percentage was 85% and with the application of 10g the highest percentage of 88% was obtained since the most optimal adsorbent is 10g of banana peel for the adsorption of heavy metals with arsenic. Concluding that, the method is efficient, since it was possible to reduce more than 50% of what was expected in the adsorption of heavy metals of arsenic in the water of the Moche River.

Key words: Activated carbon; Banana peel; Adsorption; Heavy metals

RESUMO

A pesquisa propõe determinar a eficiência do uso do carvão ativado da casca de banana na adsorção de metais pesados presentes no Rio Moche durante o ano de 2024, isto através da avaliação da concentração de metais pesados, da comparação da concentração de água antes e depois do adsorvente em relação ao ECA (Categoria 1) e por fim a determinação da porcentagem de adsorção do carvão ativado da casca de banana. Adotando uma abordagem quantitativa de âmbito explicativo, com desenho pré-experimental. A população foi composta pela água do rio Moche, com amostra de 7 litros, por amostragem simples, no período de junho de 2024 a setembro de 2024. Os resultados foram contrastados com testes estatísticos, de normalidade e T Student, que indicam que a casca de banana demonstraram alto percentual de eficiência na adsorção de metais pesados (As) nas amostras de água contaminada do Rio Moche, pois com a aplicação de 5g obteve-se um percentual de 78%, com 7g o percentual foi de 85% e com o aplicação de 10g obteve-se o maior percentual de 88% já que o adsorvente ideal é 10g de casca de banana para a adsorção de metais pesados com arsênio. Concluindo-se que o método é eficiente, pois foi possível reduzir mais de 50% do esperado na adsorção de metais pesados como o arsênio nas águas do rio Moche.

Palavras-chave: Carvão ativado; Casca de banana; Adsorção; Metais pesados

INTRODUCCIÓN

Actualmente, a nivel mundial es muy preocupante y uno de los principales desafíos la lucha contra la contaminación de los ríos. La presencia de metales pesados desempeña un papel significativo en la degeneración de los recursos naturales, y en algunos casos, se han identificado metales como el aluminio, cadmio, mercurio, plomo y cromo como los principales responsables de esta problemática. Según Pabón et al. (1) los ecosistemas afectados por la presencia de metales pesados son especialmente notables debido a las acciones humanas, como la explotación minera y la fundición, además de otras actividades industriales y urbanas.

Estos ecosistemas enfrentan niveles de contaminación del agua que ascienden a alrededor de 200 millones de metros cúbicos diarios. En los últimos años, la influencia de la población sobre el ecosistema se ha vuelto cada vez más pronunciada, Esto resalta la estrecha conexión entre el grado de contaminación ambiental y el bienestar de la población. Las enfermedades infecciosas representan un riesgo significativo y son la principal causa de fallecimiento en niños, adultos y jóvenes. Según Gómez (2), se calcula que, en el mundo, aproximadamente 1800 millones de personas consumen agua contaminada con materia fecal. En Colombia, se promedia que 6 de cada 10 personas de la población confrontan el riesgo de ingerir agua contaminada, siendo más afectados aquellos

hogares más alejados, en particular las zonas del Océano Pacífico y la Amazonía.

El consumo continuo de agua contaminada por parte de la población infantil desencadena no solo diarreas recurrentes, sino también otros problemas de salud. En el Perú, durante los últimos años se hicieron estudios a los ríos más contaminados del Perú por la Autoridad Nacional del Agua asegura que los principales ríos del país están contaminados con coliformes fecales y metales pesados. Ese estudio se realizó en 129 de las 159 cuencas hídricas del país y permitió conocer que todos los ríos analizados están contaminados y ponen en riesgo la salud de la población, la producción agropecuaria y los ecosistemas de toda la cuenca" (3).

Es importante recalcar que, los metales pesados se hallan de forma natural en el entorno, y su existencia en diversos ecosistemas genera inquietud, dado que numerosos organismos dependen de un equilibrio apropiado en sus fuentes de alimento y hábitats. El destino de estos metales en los diferentes ecosistemas depende del tipo de actividad determinada por los seres humanos. Para ello, el método de adsorción se utiliza de manera efectiva para reducir metales pesados de aguas residuales. La adsorción con carbón activado (CA), especialmente de metales, se considera como un método físico-químico eficiente, sencillo y rentable, motivo por el cual, ha sido tomado extensamente para retener estos

contaminantes (4). En la producción de banana se genera cáscara, y su disponibilidad como desecho puede ser aprovechada en la obtención de un adsorbente natural para la remoción de metales pesados en agua (5).

En investigaciones relacionadas con esta problemática, se tiene el estudio de Huayta et al. (6) el cual usa la Biosorción del metal pesado Cd (II) para el tratamiento de efluentes mineros por medio del alginato de sodio, obteniendo como resultado general que tiene un alto nivel en remociones, comprobándose la eficiencia del método empleado. Se concluye en esta investigación que en los ensayos de biosorción se determinó las condiciones óptimas para la remoción de Cd (II) las cuales fueron de 2g/L de biosorbente, tiempo de agitación de 120 minutos y pH 5,0. Simultáneamente, en el estudio realizado por Peña et al. (7), orientada a la determinación de morina en té verde y café por voltamperometría de adsorción utilizando electrodos de carbono modificados con poli (3,4-etilendioxitiofeno) y líquido iónico, se utilizaron voltamperogramas de barrido lineal y cíclico en el proceso y los resultados revelaron que el PEDOT se depositó en la superficie del SPCE, lo que condujo a una reducción en la energía necesaria para el proceso redox. Su conclusión fue, la modificación de un EPCE con PEDOT y el líquido iónico BMIMBP se caracterizó eficazmente con $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$ y MR mediante CV y EIS.

El electrodo modificado se desarrolló de manera sencilla y resultó muy adecuado para la determinación de MR en té verde. Además, otros flavonoides como RT y QC no causaron interferencias. El límite de detección alcanzado fue similar a informes previos, que estaban por debajo de $1,0 \mu\text{mol L}^{-1}$. Además, Aranguri et al. (8) en su estudio orientado a la adsorción del cianuro contenido en solución acuosa usando carbón activo obtenido de residuo de café: eficiencia de absorción, modelado de equilibrio y cinética, los resultados indicaron que el carbón activado preparado a partir de residuos de café agotados podría utilizarse como adsorbente potencial para eliminar CN^- de soluciones acuosas con bajas concentraciones y se concluyó que es factible la preparación de carbón activado utilizando residuos de café como material base y que podría ser útil en la descontaminación de aguas residuales con bajos niveles de CN.

También, Silva et al. (9) en su investigación sobre el uso del carbón activado derivado de cáscara de zapallo (*Cucurbita* sp.) para la remoción de cloro total y residual de agua potable, los resultados de las pruebas después de 180 minutos de contacto, la concentración de cloro residual varía entre el 74,58% y el 90,54% al utilizar 0,5 g/L de carbón. Sin embargo, alcanza el 100% cuando la cantidad de carbón se incrementa a 1,5 o 2,0 g/L. En cuanto al cloro total, la eliminación oscila entre el 71,87% y el 86,96% para una cantidad

de carbón activado equivalente a medio gramo por litro, pero alcanza la máxima eficiencia con dosis de 1.5 y 2g. y se concluyó que el carbón activado derivado de la cáscara de zapallo demuestra ser un adsorbente altamente efectivo para eliminar tanto el cloro total como el residual del agua potable suministrada a los hogares en la ciudad de Tumbes.

Además, Arévalo et al. (10) en su estudio sobre calidad y rendimiento del carbón poroso de la cáscara del fruto de calabaza (*Cucurbita ficifolia*) obtenido por método químico, los resultados mostraron que, el carbón activado obtenido mediante el uso de ácido fosfórico al 60% muestra el rendimiento más alto. Además, el tiempo óptimo de activación es de una hora. En particular, el procedimiento AF60 exhibe la productividad más elevada, alcanzando un valor del 42,95%. Se concluyó que el carbón activado de mayor calidad se logró utilizando H_3PO_4 al 30% y el tiempo de activación de una hora. Esto se debe a su destacada capacidad de adsorción de $C_{16}H_{18}ClN_3S$ y al cumplimiento de los estándares de cenizas y humedad establecidos por la ASTM.

Por último, Gonzaga et al (11) en su investigación sobre la remoción de plomo presente en soluciones acuosas utilizando biocarbón producido a base de coronta de maíz, los resultados indican que la adsorción es intensa en los primeros 20 minutos, pero tiende a disminuir posteriormente. No obstante, no se logra el equilibrio al final del tiempo total de exposición

(180 minutos). Se concluye de manera más precisa al modelo de Dubinin-Radushkevich, evidenciado por un coeficiente de determinación (R^2) de 0,990 y una capacidad máxima de adsorción de 12,16 mg Pb/g de biocarbón.

La interrogante fue ¿La eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano en la adsorción de metales pesados presentes en el río Moche en el año 2024?

En este sentido, la presente investigación se enfocó en determinar la eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano en la adsorción de metales pesados presentes en el río Moche en el año 2024, esto a través de la evaluación de la concentración de metales pesados, la comparación de concentración del agua antes y después, así como la determinación del porcentaje de adsorción del carbón activado de la cáscara de plátano. A través de este estudio se busca proponer una estrategia de mejora para el procedimiento de desinfección de aguas contaminadas por metales pesados, especialmente en una zona altamente afectada de la región La Libertad, contrarrestando así las consecuencias negativas de la contaminación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio de acuerdo con el fin es aplicado de acuerdo al alcance explicativo, es de enfoque cuantitativo ya que los métodos de recopilación y análisis de datos se utilizarán para responder a la pregunta de investigación y descubrir el aumento

en el valor de la VD después de la implementación de la VI en términos numéricos y/o porcentuales. Este estudio se puede clasificar como un estudio explicativo y cuantitativo, así como para medir aumentos o disminuciones en otras variables de manera numérica. Asimismo, el diseño de este estudio se clasifica como preexperimental, ya que abarca todo el proceso de evaluación de la eficiencia del carbón activado, incluyendo la aplicación de métodos, como la adsorción de metales pesados, con el propósito de determinar su efectividad.

En esta investigación, la población de estudio estuvo representada por el agua del río Moche. La muestra consistió en 7 L de agua y se utilizó un muestreo simple, desde junio del 2024 hasta setiembre de 2024. Se empleó el procedimiento establecido por el Protocolo Nacional del Agua (ANA) al llevar a cabo la toma de muestras de agua. Este protocolo goza de una amplia aceptación como una referencia estándar y confiable para la evaluación de la calidad del agua en cuerpos superficiales. En este estudio, se ha empleado la observación como la técnica principal. Esta se utilizó para recopilar datos que describen las particularidades del sitio de muestreo y documentar detalladamente la técnica de llenado

de fichas, registros, así como también seguir los pasos en el proceso de adsorción. El procedimiento para llevar a cabo esta investigación se divide en cuatro etapas fundamentales: la recolección de la muestra, la preparación del adsorbente (cáscara de plátano), el análisis de la concentración de arsénico mediante espectrometría y, finalmente, la aplicación del test de jarras. En este sentido, se utilizó el software SPSS para realizar pruebas como la normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba T de Student.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar la eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano en la adsorción de metales pesados presentes en el río Moche en el año 2024, se realizó la evaluación de la concentración de metales pesados, la comparación de concentración del agua antes y después, así como la determinación del porcentaje de adsorción del carbón activado de la cáscara de plátano. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos en la primera medición de la concentración de metales pesados "As" ver Tabla 1 mediante la espectrometría de adsorción atómica tipo llama, son los siguientes:

Tabla 1. Concentración inicial de arsénico sin tratamiento.

Muestra	Concentración (mg/L)	ECA (Categoría 1) mg/L
M1	0.553	0.05
M2	0.533	
M3	0.553	
PROMEDIO	0.546	

Se observa en la Tabla 1 que, los niveles de As superan los parámetros para el consumo humano con una concentración de 0.546 mg/L ya que excede los límites establecidos del ECA (categoría 1), lo que clasifica como no apta para estos fines, indicando una amenaza para la salud de los pobladores.

Por otro lado, se tienen los resultados obtenidos para la comparación de concentraciones del agua iniciales y finales versus el ECA (categoría 1), Tabla 2.

Tabla 2. Concentración inicial y final.

Concentración inicial mg/L	Concentración final mg/L			ECA (Categoría 1)
	5g	7g	10g	
0.546	0.12	0.08	0.06	0.05

Se observa en la Tabla 2, la concentración inicial de la muestra sin ningún tratamiento fue de 0.546 mg/L. después de la aplicación del adsorbente se observaron concentraciones de 0.12 mg/L, 0.08 mg/L y 0.06 mg/L para las 3 cantidades utilizadas, es decir, 5g, 7g y 10g respectivamente. Estos datos indican claramente el impacto positivo de la cascara de banano en el desarrollo de adsorción de As, especialmente en el

caso de la concentración de 10g. sin embargo, es importante señalar que incluso con esta mejoría, la concentración aún se encuentra por encima del límite estipulado por el ECA (Categoría 1).

Asimismo, se determinó el porcentaje de adsorción del carbón activado de la cascara de banano del proceso de adsorción de metales pesados del río Moche, Figura 1.

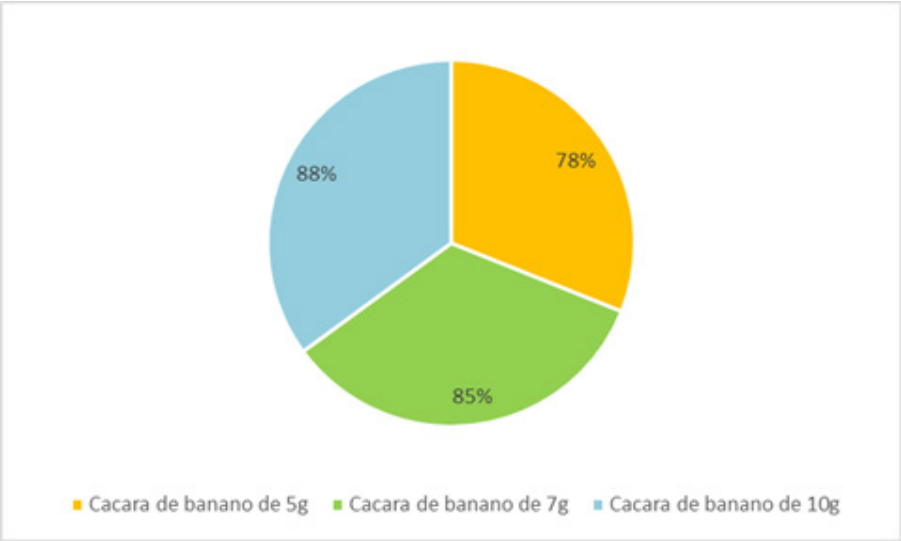


Figura 1. Porcentaje de remoción de la cascara de banano.

Se tiene la Figura 1, el cual muestra el cálculo basado en la ecuación del porcentaje de remoción, se obtuvo el 78% de 5g, el 85% de 7g y el 88% de 10g. Esto indica que el tratamiento con mayor cantidad de cascara de banano como adsorbente es la opción más eficiente para este método.

Finalmente, para determinar la eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano en la

adsorción de metales pesados, se realizó el análisis estadístico que abarcó la prueba de normalidad y la prueba T-Student. Con la determinación de la aplicación de una prueba paramétrica, dado que los datos presentaban una distribución normal, se procedió a aplicar la T-Student, Tabla 3.

Tabla 3. Prueba T-Student para determinar la eficiencia de la cascara de plátano.

	T	gl	P	IC 95%	
				Inferior	Superior
Y	59.155	4	<.001	.460330	.505670
	59.155	4.00	<.001	.460330	.505670

Se tiene la Tabla 3, el cual se aprecia los valores brindados por el SPSS, teniendo en cuenta el valor de P, para aplicar el criterio de decisión. Si $P > 0.05$ se aprueba el H_0 y niega H_a .

Para finalizar, la prueba T-Student se observa que $P < .001 < 0.05$ por lo tanto, se niega el H_0 , mediante los resultados se dice que tienen una diferencia significativa y así podemos decir que

el carbón activado de la cascara de plátano es eficiente.

Discusión

Al determinar la concentración de metales pesados en el agua de río Moche, mediante el método de espectrometría de adsorción atómica, se promedió las lecturas de la evaluación de la concentración, el resultado arrojó una CI de 0.546 mg/L. Según Ibáñez et al. (12) determinó la eficiencia de la vaina de *Phaseolus vulgaris* y la cáscara de *Citrus sinensis* en la biosorción de arsénico del agua del río Moche, utilizando los métodos volumétricos, gravimétricos y de espectrofotometría, para poder llegar a determinar sus bioadsorbentes de interés son eficientes. Usó el test de jarras enfocándose en el tiempo y velocidad de agitación. Mientras que, Tejada et al. (13), en su estudio, también aplicó la espectrometría de absorción atómica, pero trabajó solo con dos variables: tamaño de partícula y el pH. Es así que, en este estudio enfocado en determinar la eficiencia de la cascara de plátano, se empleó el método volumétrico, ya que durante los procedimientos en el laboratorio las muestras fueron medidas a fin de obtener valoraciones volumétricas; el método gravimétrico, fue otro punto importante porque se usaron datos masas de adsorbente, en este caso cascara de plátano en diferentes cantidades (5g, 7g y 10g) las cuales fueron aplicadas a las muestras del río Moche; y como último método,

la espectrometría, cuya técnica fue necesaria para poder determinar las concentraciones iniciales (sin tratamiento) y finales (con tratamiento).

Se determinó la concentración de As del río Moche, el cual las lecturas fueron promediadas para obtener la concentración de 5g que fue 0.12 mg/L, la concentración de 7g fue de 0.08 mg/L y la concentración de 10g fue de 0.06 mg/L y comparando con la normativa del ECA (Categoría 1). Según Bobadilla et al. (14) tuvo como objetivo remover el plomo empleando un biofiltro con carbón activado de la cascara de coco para la adsorción de plomo en un punto crítico del Río Moche, usando el método de espectroscopia, para poder llegar a remover el plomo de interés eficiente. Uso el test de jarras enfocándose en el tiempo de contacto. Mientras que, Fajardo (15) en su estudio, también aplicó la EAA. Es así que, en este estudio enfocado en determinar la eficiencia de la cascara de banano, se empleó el método volumétrico ya que durante los procedimientos en el laboratorio las muestras fueron medidas a fin de obtener valoraciones volumétricas; el método gravimétrico, fue otro punto importante porque se usaron datos masas de adsorbente, en este caso cascara de plátano en diferentes cantidades (5g, 7g y 10g) las cuales fueron aplicadas a las muestras del río Moche; y como último método, la espectrometría, cuya técnica fue necesaria para poder determinar las concentraciones iniciales (sin tratamiento) y finales (con tratamiento).

Al determinar el porcentaje de eficiencia en su adsorción de metales pesados, se usó como adsorbente el carbón activado de la cascara de plátano para la reducción de arsénico y luego de realizar las mediciones, se calculó el % de adsorción a través de la fórmula del porcentaje eficiencia del metal pesados "As" el cual se obtiene un porcentaje de 88% de adsorción, siendo el más alto con una masa de 10g y así disminuyendo el arsénico, del mismo modo, con 7g de masa se obtiene un 85% y por último, 5g de muestra se obtiene el más bajo porcentaje que fue 78%. Según Obregón et al. (16) en su investigación sobre la adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje, usando los métodos de espectrometría y microscopia electrónica de barrido, para poder llegar a tener la mayor adsorción, usó los ensayos cinéticos enfocándose en el tiempo de contacto. Mientras que, Huayta et al (6) en su estudio de remoción de las concentraciones de Cd en efluentes mineros, también aplicó el método de espectrometría, para lograr remover el 91,88% de Cd en los efluentes mineros, siendo eficiente.

Finalmente, para determinar la eficiencia del carbón activado de la cascara de banano en la adsorción de metales pesados presentes en el río Moche se utilizó la muestra de T-Student, la cual permitió determinar la eficiencia del carbón activado, evidenciándose que es una técnica eficiente. La lectura de la prueba T-Student para

saber si es eficiente fue que $P < .001 < 0.05$ por lo tanto, se niega la hipótesis, mediante los resultados se obtiene una diferencia significativa y así podemos decir que el carbón activado de la cascara de plátano si es eficiente. Según Gonzaga et al. (11), empleó el método volumétrico ya que durante los procedimientos en el laboratorio las muestras fueron medidas a fin de obtener valoraciones volumétricas; y la prueba de normalidad de T-Student, fue otro punto importante porque utilizó el adsorbente sin tratamiento y con tratamiento, en este caso la cascara de plátano de 0g, 5g, 7g y 10g las cuales se pudo evidenciar que si eficiente; por lo tanto, este tipo de estudio se determinó a través de la cáscara de banano, el cual prueba los resultados más favorables en la absorción de As en agua.

CONCLUSIONES

Se logró determinar la concentración de arsénico que presenta el río Moche lo cual se registró una concentración inicial de 0.546 mg/L. Esta muestra realizada excede los parámetros señalados por el ECA para agua (Categoría 1), deduciendo que no es apta para el uso de consumo humano, indicando una potencial amenaza para la salud de los pobladores. Además, al comparar la concentración de arsénico, antes y después de aplicar el adsorbente que fue el carbón activado de cáscara de plátano en relación con los estándares de calidad ambiental para el agua (Categoría 1), los resultados de la

investigación indican que la concentración inicial de (As) en el agua del río Moche es de 0.546 mg/L. Se utilizó la cascara de plátano; con la aplicación de 5g de adsorbente, la concentración final disminuye a 0.12 mg/L, con 7g de carbón activado se logra una concentración menor de 0.08 mg/L, y con 10g de adsorbente, se logra una reducción aún más baja de 0.06 mg/L. sin embargo, sigue manteniéndose fuera del rango estipulado por el ECA para agua (Categoría 1).

Por otra parte, se pudo determinar que la cáscara de banano demostró un porcentaje alto de eficiencia en la adsorción de metales pesados (As) en las muestras de agua contaminadas del río Moche, ya que con la aplicación de 5g se obtuvo un porcentaje de 78%, con 7g el porcentaje fue de 85% y con la aplicación de 10g se obtuvo el porcentaje más alto de 88% ya que el adsorbente más óptimo es de 10g de la cascara de plátano para la adsorción de metales pesados con el arsénico. Finalmente, se determinó que el método si es eficiente para la aplicación del carbón activado de la cáscara de plátano en la adsorción de metales pesados de arsénico en el agua del río Moche, ya que se pudo reducir más del 50% de lo esperado.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pabón S, Benítez R, Sarria R, Gallo J. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Cienc Ing.* 2020;14(27):9-18. <https://lc.cx/ej11w4>
2. Gómez I, Sánchez M, García C, Ramírez J, Ortega A. Optimización del proceso de adsorción de Cr (VI) sobre carbón activado de origen bituminoso. *Inf Tecnol.* 2018;29(6):43-54. <https://lc.cx/uGtiRs>
3. Red Muqui. Sin remediación, la contaminación aumenta en la mayoría de los ríos del Perú. 2023. <https://lc.cx/vyhwxv>
4. Lehmann M, Zouboulis A, Matis K. Removal of metal ions from dilute aqueous solutions: A comparative study of inorganic sorbent materials. *Chemosphere.* 1999; 39(6):881-92. <https://lc.cx/8NSPCI>
5. Valencia K. Aplicación de la cáscara de plátano como adsorbente para reducir el contaminante Pb (II) en agua. Universidad Nacional de Ingeniería. 2019. <https://lc.cx/fU8PII>
6. Huayta C, Vargas R, Mamani O, Canaviri J, Aliaga A. Biosorción del metal pesado Cd (II) para el tratamiento de efluentes mineros por medio del alginato de sodio. *Rev Boliv Quím.* 2019;36(1):1-10. <https://lc.cx/oAooUj>
7. Peña D, Guzmán M, Guerrero A, Meza M, Muñoz M, Arancibia V. Determinación de morina en té verde y café por voltamperometría de adsorción utilizando electrodos de carbono modificados con poli (3,4-etilendioxitiofeno) y líquido iónico. *Rev Soc Quím Perú.* 2020. <https://lc.cx/kPOApw>
8. Aranguri-Llerena G, Reyes-Lázaro W. Adsorción del cianuro contenido en solución acuosa usando carbón activo obtenido de residuo de café: eficiencia de absorción, modelado de equilibrio y cinética. *Sci Agropecu.* 2019; 10(3):291-9. <https://lc.cx/-F1UVY>

9. Silva F, Ayala J, Soto E, Villegas J. Carbón activado derivado de cáscara de zapallo (*Cucurbita* sp.) para la remoción de cloro total y residual de agua potable. *Rev UNTUMBES Manglar*. 2018. <https://lc.cx/gEitAO>

10. Arévalo F, Reátegui K. Calidad y rendimiento del carbón activado de la cáscara del fruto de calabaza (*Cucurbita ficifolia*) obtenido por método químico. *RFP*. 2020; 35(1):21-30. <https://lc.cx/bPWTla>

11. Gonzaga A, Rimaycuna J, Cruz G, Herrera E, Gómez M, Solis J. Removal of lead present in aqueous solutions using biochar produced from corn cob. *Manglar (Tumbes)*. 2021; 18(1):35-43. <https://lc.cx/q1dyCR>

12. Gutiérrez de la Cruz A, Ibañez Y. Eficiencia de vaina de *phaseolus vulgaris* y cáscara de citrus *sinensis* en la biosorción de arsénico del agua del río Moche. *Universidad Privada del Norte*; 2020. <https://lc.cx/0labX8>

13. Tejada C, Montiel Z, Acevedo D. Aprovechamiento de cáscaras de yuca y ñame para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Pb(II). *Inform Tecnol*. 2016;27(1):9-20. <https://lc.cx/IDShDP>

14. Bobadilla N, Leon M. Remoción de plomo (Pb) utilizando biofiltro con carbón activado de la cáscara de coco en el río Moche-Otuzco-2022. 2022. https://lc.cx/4_H6F_

15. Sanchez F, Alejandro S. Carbón activado a partir de la cáscara de coco para la remoción de cobre en relave minero metalúrgico, Callao, 2022. *Universidad Nacional del Callao*; 2022. <https://lc.cx/RdI6IA>

16. Obregón-Valencia D, Sun-Kou M, Pinedo-Flores Á, Paredes-Doig A, Aylas-Orejón J. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Rev Soc Quím Perú*. 2014; https://lc.cx/_JxIZJ

ACERCA DE LOS AUTORES

Marcos Alejandro Robles Lora. Bachiller en Ingeniería Industrial. Ingeniero Industrial. Maestría en Ingeniería Industrial mención en Gerencia de Operaciones. Doctor en Ciencias en Ingeniería. Experiencia en Producción, Gestión de Organizaciones, Calidad, seguridad y salud; docente en diferentes universidades, asesor de tesis; publicación de artículos en revistas científicas, Perú.

Julio Vilchez Moscol. Maestría en seguridad e higiene industrial y salud ocupacional, Universidad Católica de Trujillo, Perú. Especialización en Legislación Laboral; especialización de Remuneraciones y costos laborales por ESAN. Presidente del comité de Tributación y Legislación Laboral; Junta de Decanos del Perú, Participación de proyectos de investigación como asesor temático en materia Tributaria y Laboral, Perú.

Jean Carlos Ecurra Lagos. Ingeniero industrial. Maestro en Gestión Pública, Universidad César Vallejo; Maestro en Educación con mención en Docencia Virtual, Universidad de San Martín de Porres, Perú. Docente universitario, asesor y jurado de tesis a nivel pre y posgrado en la Universidad Privada del Norte, Universidad Tecnológica del Perú y Universidad Católica de Trujillo. Especialización en Riesgos Laborales por CEREM (España), en Didáctica para la Enseñanza Universitaria por el Politécnico Superior (Colombia) y en Gestión de la Calidad ISO 9001:2015 por el Metropolitan International University (Estados Unidos). Calificación de Investigador RENACYT Nivel VI, Perú.

Natalia del Pilar Díaz Díaz. Docente investigador, Universidad Nacional de Trujillo. Experiencia en investigaciones en temas de calidad y tratamiento de agua y suelo, gestión y manejo de residuos sólidos, huella de carbono y ruido ambiental. Publicaciones científicas y libros orientados a la ingeniería ambiental, Perú.

Evaluación sanitaria de playas mediante el uso de Drones y el índice de calidad en el litoral costero, Pisco, Ica

Beach health assessment using drones and the coastal quality index, Pisco, Ica

Avaliação da saúde das praias através do uso de Drones e do índice de qualidade na costa costeira, Pisco, Ica

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.339>

Isis Cristel Córdova Barrios

isis.cordova@unica.edu.pe

Pedro Córdova Mendoza

pedro.cordova@unica.edu.pe

Teresa Oriele Barrios Mendoza

oriele.barrios@unica.edu.pe

Hernández Maytahuari Patricia Del Rosario

patricia.hernandez@unica.edu.pe

Paitan Cahua, Antonio Wilmer

antonio.paitan@unica.edu.pe

Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Ica, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 20 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Los drones son herramientas revolucionarias que mejoran la eficiencia del monitoreo de la calidad del agua, contribuyendo a una gestión más efectiva y sostenible de nuestros recursos hídricos. El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad sanitaria de las playas en Pisco, Ica, utilizando drones y el Índice de Calidad del Agua Marina (ICAM) para monitorear la contaminación y su impacto en el turismo. Se emplearon drones con cámaras de alta resolución y sensores para capturar imágenes geoespaciales de las playas La Mina y San Andrés. Se analizó el ICAM considerando parámetros como pH, DBO5, turbidez y oxígeno disuelto. Los resultados mostraron que el ICAM osciló entre 88.33 y 88.52 en octubre y entre 88.43 y 88.13 en noviembre, indicando una calidad de agua favorable. La afluencia turística fue mayor en La Mina durante ambas fechas, manteniendo la calidad del agua en un rango aceptable ($70 < \text{ICAM} \leq 90$). Esto sugiere que las playas de Pisco tienen agua marina adecuada para actividades recreativas. El uso de drones facilitó una evaluación eficiente de áreas extensas, complementando la recopilación de datos del ICAM y mejorando el monitoreo ambiental. Se destacó la relación entre calidad del agua y turismo, ya que mejores condiciones acuáticas coincidieron con mayor afluencia. En conclusión, la combinación de drones e ICAM demostró ser efectiva para el monitoreo y gestión de la calidad del agua en las playas de Pisco, favoreciendo tanto la salud pública como el desarrollo turístico sostenible.

Palabras clave: Calidad del agua; Contaminación; Drones; Monitoreo; Turismo

ABSTRACT

Drones are revolutionary tools that enhance the efficiency of water quality monitoring, contributing to more effective and sustainable management of our water resources. The aim of the research was to assess the sanitary quality of the beaches in Pisco, Ica, using drones and the Marine Water Quality Index (ICAM) to monitor pollution and its impact on tourism. Drones equipped with high-resolution cameras and sensors were employed to capture geospatial images of La Mina and San Andrés beaches. The ICAM was analyzed considering parameters such as pH, BOD5, turbidity, and dissolved oxygen. Results showed that the ICAM ranged from 88.33 to 88.52 in October and from 88.43 to 88.13 in November, indicating favorable water quality. Tourist influx was higher in La Mina during both dates, maintaining water quality within an acceptable range ($70 < \text{ICAM} \leq 90$). This suggests that the beaches of Pisco have suitable marine water for recreational activities. The use of drones facilitated an efficient evaluation of extensive areas, complementing the data collection from the ICAM and improving environmental monitoring. The relationship between water quality and tourism was highlighted, as better aquatic conditions coincided with increased visitor numbers. In conclusion, the combination of drones and ICAM proved effective for monitoring and managing water quality in the beaches of Pisco, benefiting both public health and sustainable tourism development.

Key words: Contamination; Drones; Monitoring; Tourism; Water quality

RESUMO

Drones são ferramentas revolucionárias que aumentam a eficiência do monitoramento da qualidade da água, contribuindo para uma gestão mais eficaz e sustentável dos nossos recursos hídricos. O objetivo da pesquisa foi avaliar a qualidade sanitária das praias em Pisco, Ica, utilizando drones e o Índice de Qualidade da Água Marinha (ICAM) para monitorar a poluição e seu impacto no turismo. Foram utilizados drones equipados com câmeras de alta resolução e sensores para capturar imagens geoespaciais das praias La Mina e San Andrés. O ICAM foi analisado considerando parâmetros como pH, DBO5, turbidez e oxigênio dissolvido. Os resultados mostraram que o ICAM variou de 88,33 a 88,52 em outubro e de 88,43 a 88,13 em novembro, indicando uma qualidade de água favorável. A afluência turística foi maior em La Mina durante ambas as datas, mantendo a qualidade da água dentro de um intervalo aceitável ($70 < \text{ICAM} \leq 90$). Isso sugere que as praias de Pisco possuem água marinha adequada para atividades recreativas. O uso de drones facilitou uma avaliação eficiente de áreas extensas, complementando a coleta de dados do ICAM e melhorando o monitoramento ambiental. A relação entre qualidade da água e turismo foi destacada, pois melhores condições aquáticas coincidiram com um aumento no número de visitantes. Em conclusão, a combinação de drones e ICAM provou ser eficaz para o monitoramento e gestão da qualidade da água nas praias de Pisco, beneficiando tanto a saúde pública quanto o desenvolvimento turístico sustentável.

Palavras-chave: Contaminação; Drones; Monitoramento; Qualidade da água; Turismo

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, la expansión del turismo y las actividades industriales en las zonas costeras han incrementado la presión sobre los ecosistemas marinos y su capacidad de regeneración, afectando la calidad ambiental de playas y cuerpos de agua. En este contexto, la vigilancia sanitaria de playas es un proceso fundamental para garantizar la salud pública, prevenir enfermedades relacionadas con la contaminación y promover un uso sostenible de estos espacios. La evaluación periódica del estado sanitario de las playas resulta crucial, especialmente en áreas como el litoral costero de Pisco, Ica, donde convergen importantes actividades socioeconómicas y ambientales.

El avance tecnológico en el nuevo milenio ofrece herramientas innovadoras, como el uso de drones (Vehículos Aéreos No Tripulados - UAV). Un dron es una aeronave pilotada a distancia, reutilizable y semiautónoma o autónoma, que permite realizar monitoreos aéreos precisos y de bajo costo. Facilitan la obtención de datos espaciales en tiempo real (1), detectando focos de contaminación y alteraciones en la línea costera, complementando la evaluación sanitaria basada en índices de calidad del agua. El Índice de Calidad de Playas (ICP) y otros indicadores ambientales permiten cuantificar el grado de contaminación según parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

En el siglo XXI, las zonas costeras enfrentan una situación crítica debido al incremento exponencial de las actividades humanas, como el turismo masivo, el desarrollo urbano no planificado y las descargas incontroladas de aguas residuales. Estos factores han exacerbado la contaminación de playas y ecosistemas marinos, generando problemas de salud pública y deterioro ambiental significativo (2). La acumulación de residuos sólidos, la presencia de microorganismos patógenos y la pérdida de calidad del agua constituyen amenazas que requieren monitoreo constante y soluciones innovadoras para garantizar la sostenibilidad de estos entornos.

En esta dirección, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) señala que numerosos destinos turísticos enfrentan desafíos significativos en la conservación de la calidad del entorno natural. Esta problemática afecta directamente la satisfacción de los visitantes y, como consecuencia, reduce los ingresos generados por las actividades turísticas (3). Lo cual se agrava con la descarga de aguas residuales en zonas costeras lo que aporta una elevada concentración de patógenos a los cuerpos de agua receptores (4), lo que aumenta significativamente el riesgo de problemas de salud para las comunidades costeras.

Asimismo, el litoral costero de Pisco, caracterizado por un clima árido y su vulnerabilidad

a la contaminación derivada de actividades humanas y descargas residuales, se presenta como un escenario ideal para implementar tecnologías emergentes. La combinación del uso de drones con el análisis del índice de calidad permite obtener una perspectiva integral sobre el estado sanitario de las playas, facilitando la identificación de riesgos para la salud y el diseño de estrategias efectivas de gestión ambiental. Esta investigación, al integrar metodologías innovadoras y herramientas tecnológicas, busca abordar los desafíos del nuevo milenio, promoviendo un equilibrio entre el desarrollo socioeconómico y la preservación de los ecosistemas costeros.

Por otro lado, la perspectiva de Principios y Práctica de la Gestión de Playas se centra en el análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos para garantizar la calidad sostenible de los balnearios, considerando la seguridad, infraestructura, calidad del agua, limpieza y estética del entorno (5). Además, los estudios sobre contaminación de aguas marinas abordan aspectos económicos, como el Índice Integrado de Playas (Integrated Beach Index), utilizado en áreas urbanas costeras de California, México y Brasil (6). Su enfoque también valora el paisaje y las cualidades estéticas, reflejado en el método propuesto por Ergin, que ofrece una visión estática de la evaluación de playas (7).

En relación al índice de calidad del agua marina y costera es una herramienta fundamental

para analizar tanto las condiciones naturales como los impactos provocados por actividades humanas en los recursos hídricos de estas áreas. Este índice evalúa la calidad físico-química y sanitaria del agua, utilizando una escala de cinco niveles que varía desde óptima hasta pésima. Esta clasificación permite interpretar de manera clara el estado de conservación o degradación del entorno marino y costero, contribuyendo a una gestión eficiente y a la toma de decisiones enfocadas en su protección y uso sostenible (8).

Por otra parte, El Índice de Calidad Ambiental del Agua Marina para Uso Recreativo (ICAMPRAP) se desarrolló en un programa integral de monitoreo para analizar los desechos marinos en Kandakuliya, Sri Lanka. Este trabajo enfatiza áreas dependientes del turismo, donde la acumulación de desechos representa un desafío ambiental y socioeconómico. Garantizar un monitoreo continuo y eficiente de la calidad de las playas es esencial para evaluar el nivel de contaminación y tomar medidas que reduzcan los impactos negativos en estos ecosistemas frágiles, principalmente afectados por residuos marinos (9,10).

Además, la Ley General del Ambiente, en su artículo 2, establece principios fundamentales como el derecho de toda persona a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, así como la obligación del Estado de garantizar la protección, conservación y mejora de la calidad ambiental. Además, se debe velar por

el uso sostenible de los recursos naturales, lo que incluye la regulación sobre la calidad del agua (11).

En este contexto, Playa Las Minas, ubicada en la Reserva Nacional de Paracas, destaca por su alta biodiversidad y atractivo turístico, mientras que Playa San Andrés enfrenta presiones por actividades humanas como la pesca y el turismo, convirtiéndose en un área clave para evaluar los impactos sobre la calidad del agua y el estado sanitario de las playas. Esta dualidad permite obtener un análisis integral sobre el estado sanitario de las playas en el litoral de Pisco, Ica, proporcionando datos valiosos para la planificación ambiental y la gestión sostenible del recurso marino-costero.

Por tanto, el objetivo de la investigación es evaluar la calidad sanitaria de las playas en el litoral costero de Pisco, Ica, mediante el uso de drones y el Índice de Calidad del Agua Marina (ICAM), con el fin de monitorear la contaminación del agua y su impacto en la actividad turística.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo, de tipo observacional-transversal, aplicado y con un alcance descriptivo. Este enfoque permite observar las condiciones sanitarias de las playas en tiempo real, utilizando drones y un índice de calidad, sin intervenir directamente en los factores evaluados (carácter observacional). Asimismo, la naturaleza transversal del estudio implica que los datos se recopilan en un momento específico para evaluar el estado sanitario de las playas seleccionadas.

En este sentido, Playa Las Minas, se ubica dentro de la Reserva Nacional de Paracas, es un entorno de alta biodiversidad y atractivo turístico. Por otro lado, Playa San Andrés, está situada en las proximidades de una zona urbana y portuaria Figura 1.



Figura 1. Playa la Mina y playa San Andrés.

La población objeto de investigación estuvo conformada por las playas del litoral costero de Pisco, y la muestra a investigar fueron las Playas Las Minas y San Andrés, seleccionadas por su relevancia ambiental y vulnerabilidad a actividades humanas. Estas playas son adecuadas para evaluar la calidad ambiental y sanitaria de sus aguas. Los puntos de muestreo fueron determinados mediante un método no probabilístico por conveniencia, considerando criterios como accesibilidad, representatividad ambiental y proximidad a fuentes de contaminación. En cada punto, se realizaron mediciones y recolección de muestras en diferentes jornadas, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas durante la recolección.

En cuanto a las técnicas empleadas para la recolección de datos incluyeron equipos portátiles y sensores para medir parámetros físico-químicos como pH, temperatura, oxígeno disuelto y turbidez, lo que permitió obtener datos en tiempo real sobre las condiciones del agua en las zonas de muestreo. Se realizaron muestreos de agua siguiendo un protocolo riguroso para garantizar la calidad y representatividad de las muestras, que fueron transportadas a un laboratorio certificado para análisis microbiológicos y químicos.

Además, se utilizaron drones para registrar imágenes aéreas detalladas de las playas, complementando la evaluación visual del entorno y ayudando a identificar fuentes de contaminación.

Finalmente, los datos obtenidos se compararon con los estándares de calidad del agua establecidos en la normativa vigente, específicamente el D.S. N°004-2017-MINAM, para evaluar el cumplimiento ambiental y determinar áreas que requieren intervención.

Asimismo, fueron empleados un medidor de pH, termómetro de alta precisión, medidor de oxígeno disuelto (OD), turbidímetro. Además, materiales como bolsas de muestreo de agua y botellas esterilizadas, las cuales se utilizaron para recolectar muestras de agua en distintos puntos del litoral costero.

En relación a los materiales se utilizaron envases de plástico y vidrio con capacidad de 1 litro, de color ámbar, destinados para la recolección de muestras. Probetas graduadas de 1000 ml y 100 ml, así como conos Imhoff, empleados para realizar mediciones volumétricas precisas. Cajas térmicas diseñadas para el transporte y conservación adecuada de las muestras a completar el formulario de registro de custodia.

Luego, para el procesamiento de las muestras en el laboratorio acreditado INACAL y de campo, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos en los puntos de monitoreo (PC-01 y PC-02) para determinar su influencia en la calidad del agua marina para la actividad turística de contacto primario, según el D.S. N°004-2007-MINAM. Los parámetros analizados incluyeron demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales

suspendidos, pH, temperatura y oxígeno disuelto. Los muestreos se realizaron siguiendo las regulaciones ambientales vigentes en Perú, de acuerdo con la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611). El laboratorio Envirotec S.A.C., acreditado por INACAL, garantizó la validez de los resultados obtenidos.

En cuanto al procesamiento, análisis e interpretación de datos, los mismos se sometieron

a un proceso de ponderación de la calidad del agua marina para uso recreativo, elaboración de la escala de calidad del agua marina enfocado a fines recreativos (ICAMRAP), obtención de curvas de calidad, ecuación para subíndice de calidad, ecuación para determinar el índice de calidad del agua marina para uso recreativo (ICAMRAP) (8), Tabla 1.

Tabla 1. Ponderación de las variables para la formación de ICAM.

Tipo de Variable	Parámetro	Método	Referencia	Unidad de medida	Ponderación
Físico químicas	pH	Potenciométrico	APHA et al., 2012 (N°4500-H B)	Unidad	0,24
	DB05	Incubación directa a 20°C por 5 días	APHA et al., 2012 (N°5210 B)	mg/L	0,18
	OD	Membrana permeable	APHA et al., 2012 (N°4500-O G).	mg/L	0,21
	Temperatura			°C	0,16
	Turbiedad	Turbiedad	APHA et al., 1995 (N°2130-B)	NTU	0,14

*El ICAM utiliza variables con unidad de medida, métodos y factores de ponderación para evaluar la calidad del agua marina y costero (13).

Para la elaboración de la escala de calidad del agua marina enfocado a fines recreativos (ICAMRAP), se utilizaron las escalas de calidad como puntos de referencia para convertir el resultado del índice en una evaluación cualitativa que refleja la calidad del cuerpo de agua analizado.

La Tabla 2 proporcionó esta información, permitiendo asignar una categoría de calidad al cuerpo de agua, lo que facilitó la interpretación de los resultados y posibilitó una evaluación cualitativa de su condición (8).

Tabla 2. Escala de valoración del ICAM.

Escala de calidad	Color	Categorías	Posibles acciones a implementar
Optima	Azul	100 - 90	Calidad excelente de agua
Adecuada	Verde	90 - 70	Calidad del agua satisfactoria
Aceptable	Amarillo	70 - 50	Calidad del agua aceptable
Inadecuada	Naranja	50 - 25	Calidad del agua deficiente
Pésima	Rojo	25 - 0	Calidad del agua muy pobre

Posteriormente, para determinar el subíndice de calidad, se emplean las siguientes ecuaciones. Cabe resaltar que este índice está diseñado y aplicado de manera exclusiva para evaluar la

calidad de las aguas marinas, tomando en cuenta los diversos aspectos ambientales y biológicos relevantes, según se muestra en la tabla 3 (12,13).

Tabla 3. Subíndices de calidad del agua marina.

Variable	Ecuación para subíndice calidad
pH	$X_{pH} = 0.0149(pH)^6 - 0.2019(pH)^5 - 3.2287(pH)^4 + 79.072(pH)^3 - 568.84(pH)^2 + 1735.3(pH) - 1929$
OD	$X_{OD} = 0.0058(OD)^5 - 0.1548(OD)^4 + 1.2426(OD)^3 - 2.987(OD)^2 + 12.105(OD) - 0.4845$
DBO5	$X_{DBO5} = 0.0252(DBO5)^5 - 0.1176(DBO5)^4 + 4.7091(DBO5)^3 - 22.767(DBO5)^2 + 6.0583(DBO5) + 99.403$
Temperatura	$X_{Temp} = 0.000006(T)^6 - 0.0002(T)^5 + 0.0033(T)^4 + 0.0181(T)^3 - 0.7687(T)^2 - 0.6377(T) + 92.44$
Turbiedad	$X_{Turb} = 0.000001(Turb)^4 - 0.0004(Turb)^3 + 0.0443(Turb)^2 + 2.5597(Turb) + 98.273$

En esta dirección, en el desarrollo de un índice de calidad, se emplea comúnmente una fórmula de agregación conocida como promedio geométrico ponderado. Esta fórmula asigna pesos a cada parámetro y calcula un promedio ponderado, lo que permite obtener una medida integral y equilibrada de la calidad del fluido, considerando la relevancia de cada parámetro evaluado (8,13).

$$ICAM = \left(\prod_{i=1}^n X_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}} \quad (\text{Ecu.1})$$

Seguido, se realiza una modificación en la ecuación, que se resume de la siguiente manera: la ecuación utilizada para determinar el ICAM (13).

$$ICAM_{RAP} = \left[(X_{pH})^{0.24} (X_{O.D.})^{0.21} (X_{DBO5})^{0.18} (X_{Temp})^{0.16} (X_{Turb})^{0.14} \right] \quad (\text{Ecu.2})$$

Por último, se utilizó una función de agregación para la elaboración del ICAM de la Escala de calidad para variables del ICAM. En esta investigación se aplicó la función de agregación de la media

geométrica ponderada, una de las técnicas más comunes y sensibles para desarrollar un índice de calidad del agua. Esta ecuación permite evaluar los

cambios en la calidad del agua y es ampliamente utilizada a nivel mundial, como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Escala de calidad para variables del ICAM.

Categoría de Calidad	Índice	pH (Unidad)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Temp. (°C)*
Optima	100 - 90	8,5-7,5	10 - 7,0	0,0 - 1,0	0 - 2,9	0 - 1
Adecuada	90 - 70	7,5 - 7,0	7,0 - 6,0	1,0 - 1,5	2,9 - 13	1 - 8,5
Aceptable	70 - 50	7,0 - 6,5	6,0 - 4,0	1,5 - 2,0	13 - 30	5,5 - 8,5
Inadecuada	50 - 25	6,5 -6,0	4,0 - 2,0	2,0 - 3,0	30 - 66	8,5- 3,5
Pésima	25 - 0	<6,0 - >9,0	2,5 - 0 ->10	> 3,0	>80	>15

* La Escala de calidad para la Temperatura manejada en el índice corresponde al diferencial entre temperatura ambiente y temperatura del agua (T ambiente - T agua)” (13).

La información obtenida se sometió a un análisis estadístico detallado, permitiendo evaluar las características físico-químicas y microbiológicas del agua. Posteriormente, los resultados se compararon con los estándares de calidad del agua marino-costero establecidos en el D.S. N°004-2017-MINAM, para determinar el nivel de cumplimiento ambiental y sanitario de las playas estudiada (14).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las actividades turísticas de contacto primario, como la natación y el buceo, dependen de la calidad del agua para garantizar la seguridad y satisfacción de los turistas. Por lo tanto, el uso de drones en el monitoreo ambiental en estas áreas busca proporcionar información precisa y en tiempo real sobre el estado del agua, permitiendo la implementación de medidas correctivas en caso de ser necesario y contribuyendo a la sostenibilidad del

turismo en la región. Esto permitió una evaluación más precisa de la temperatura en la calidad del agua, así como la capacidad de responder rápidamente a cualquier cambio en la calidad del agua natural por condiciones antropogénicas.

La toma de muestras en las playas bajo investigación se realizó durante la mañana, las temperaturas ambientes fueron de 27.2 oC y 27.9 oC, en las fechas 13/10/2024 y 10/11/2024 respectivamente. Lo que permitió obtener datos consistentes y representativos de las condiciones del agua en las horas iniciales del día, cuando la actividad humana suele ser más baja.

En este sentido, los análisis fisicoquímicos del agua marina de la costa de Pisco, se presentan en la tabla 5. En las muestras tomadas el 13 de octubre y el 10 de noviembre de 2024, el pH se mantuvo entre 7.51 y 7.54, indicando un ambiente ligeramente alcalino. La demanda biológica de oxígeno (DBO5)

fue similar en ambas playas, oscilando entre 1.45 y 1.50 mg/L, lo que sugiere una baja contaminación orgánica. La concentración de oxígeno disuelto (OD) se mantuvo alrededor de 6 mg/L, esencial para la vida acuática. Las temperaturas variaron

entre 28.2 y 28.9 °C, y la turbidez fue moderada, destacando la importancia de estos resultados para el monitoreo ambiental y la gestión sostenible de recursos hídricos en la región.

Tabla 5. Datos de parámetros fisicoquímicos.

Fechas	Características del muestreo	Playa La Mina (PC-01)	Playa San Andrés (PC-02)
13/10/2024	pH	7.51	7.54
	DBO5 (mg/L)	1.45	1.50
	OD (mg/L)	6.01	6.00
	Temperatura (°C)	28.4	28.2
	Turbiedad	7.9	7.1
10/11/2024	pH	7.52	7.54
	DBO5 (mg/L)	1.45	1.48
	OD (mg/L)	6.02	6.01
	Temperatura (°C)	28.9	28.9
	Turbiedad	7.4	7.2

Por otra parte, al evaluar la calidad del agua en las playas La Mina y San Andrés en las dos fechas señaladas, utilizando el ICAM. Los resultados obtenidos para cada uno de los seis puntos de monitoreo fueron los siguientes: PC-01=88.33, PC-02=88.52, PC-03=88.43, PC-04=88.15.

Lo que confirma que la calidad del agua utilizada en las playas turísticas de Ocucaje, en la ciudad de Ica, se encuentra en la categoría adecuada, según la escala de calidad establecida ($70 < \mu$ (Categoría: Adecuada) ≤ 90). Por lo tanto, se debe mantener una vigilancia permanente

para prevenir posibles fuentes de contaminación o acciones que puedan impactar negativamente en la naturaleza del agua, y se recomienda crear conciencia en la sociedad sobre la importancia del cuidado del ambiente. Además, se observó que la calidad del agua marina en la zona costera de la provincia de Pisco se encuentra dentro de los límites establecidos por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, lo que indica que la naturaleza del fluido en las playas de la provincia de Pisco, es satisfactoria.

Tabla 6. Valoración de la calidad del agua marina de las playas La Mina y San Andrés.

P.M.	Dist. (m)	Prof. (m)	pH	DBO ₅	OD	ΔT (°C)	Turb.	ICAM	Calidad Agua
PC-1	15	0.3	7.51	1.45	6.01	5.5	7.9	88.33	
PC-2	15	0.3	7.54	1.50	6.00	5.6	7.1	88.52	
PC-3	15	0.3	7.53	1.48	6.00	5.4	7.7	88.43	
PC-4	15	0.3	7.52	1.45	6.02	5.5	7.4	88.15	

Además, se analizó la relación entre el índice de calidad del agua marina para uso recreativo y la afluencia de turistas en las playas turísticas de la provincia de Pisco. En términos generales, se observa que los valores del ICAM se mantienen en un rango alto en ambas fechas, lo que indica una calidad satisfactoria del agua marina en las playas de la provincia de Pisco. Los valores de ICAM

oscilan entre 88.15 y 88.43 el 10 de noviembre, y entre 88.33 y 88.52 el 13 de octubre. Dado que el ICAM utiliza una escala de 0 a 100, estos valores sugieren que la calidad del agua es adecuada, ya que se encuentra en el rango correspondiente ($70 < \text{ICAM} \leq 90$), según lo establecido en el estudio Tabla 7.

Tabla 7. ICAMR_{AP}

Fechas	La Mina	San Andrés
	ICAMR _{AP}	ICAMR _{AP}
13/10/2024	88.83	88.52
10/11/2024	88.43	88.15

Discusión

Los resultados de la evaluación sanitaria de playas mediante el uso de drones y el índice de calidad en el litoral costero de Pisco, Ica resalta la efectividad de esta tecnología, para monitorear la calidad del agua en las playas. El uso de drones (UAS) y sistemas de información geográfica (SIG) permite realizar un mapeo preciso y detallado de los cuerpos de agua costeros, facilitando la

detección de contaminación y la evaluación de las condiciones sanitarias de las playas en tiempo real. Esto no solo mejora la capacidad de respuesta ante posibles problemas ambientales, sino que también ayuda en la planificación de estrategias de manejo y conservación, lo que coincide con otros autores (15), que han desarrollado protocolos para la recolección de datos mediante drones y verificación en campo, utilizando aprendizaje automático para

la clasificación y mapeo de hábitats costeros, mejorando la eficiencia y precisión en estos procesos.

En este sentido, los resultados obtenidos en la zona de estudio muestran que la calidad del agua en las playas de Pisco, Ica, se mantuvo dentro de rangos aceptables según los estándares nacionales e internacionales, lo que refleja una buena gestión en cuanto a la conservación del entorno marino. De acuerdo con estudios previos (16), la calidad del agua es un factor determinante para el desarrollo de actividades turísticas sostenibles, lo que subraya la importancia de mantener un monitoreo constante utilizando tecnologías avanzadas.

Además, el Índice de Calidad de Agua Marina (ICAM) utilizado en este estudio permitió clasificar las playas según la calidad del agua y contribuir a la protección de la biodiversidad marina. La capacidad de los drones para detectar zonas con mayores niveles de contaminación, especialmente en áreas cercanas a la costa, facilita la identificación de puntos críticos que requieren intervención. Este hallazgo coincide con investigaciones (17), que también destacaron la efectividad de los drones en la detección temprana de contaminantes y la mejora de la gestión ambiental en zonas costeras.

Por último, la relación entre la calidad del agua y la atracción turística ha sido documentada por otros autores (18), quienes encontraron que las playas con mejor calidad de agua atraen a más turistas, especialmente en destinos de turismo de contacto primario. Esta conexión refuerza la idea

de que el monitoreo continuo de la calidad del agua mediante drones puede ser un factor clave no solo para la protección ambiental, sino también para el impulso de la actividad turística en la región costera de Ica.

CONCLUSIONES

La evaluación sanitaria de playas en Pisco, Ica, mediante drones y el Índice de Calidad del Agua Marina (ICAM) destaca la relevancia de la tecnología en el monitoreo ambiental. Los drones se mostraron efectivos para el monitoreo de la calidad del agua, permitiendo la detección temprana de contaminación y una respuesta rápida. El ICAM facilitó la evaluación objetiva de parámetros como pH y turbidez, indicando que las playas cumplen con los estándares para uso recreativo. Además, se evidenció que la calidad del agua influye en la actividad turística, ya que playas con mejor calidad atraen más visitantes. Este enfoque no solo beneficia la salud pública, sino que también apoya el desarrollo económico a través del turismo. Asimismo, el uso de drones y el ICAM contribuyen a la conservación de la biodiversidad marina, permitiendo implementar medidas preventivas ante la contaminación. Este modelo podría replicarse en otras zonas costeras para mejorar la gestión ambiental.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Ojeda-Bustamante W, Flores-Velázquez J, Ontiveros-Capurata R. Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico. 1st ed. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); 2016. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/uso-y-manejo-de-drones.pdf
2. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Acción Planetaria. Nueva York: Programa Para el Medio Ambiente; 2021. <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>
3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Foro de medio ambiente en Colombia busca promover la agenda medioambiental de los ODS. Objetivos del desarrollo sostenible. Colombia; 2016. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2016/03/pnuma-foro-de-medio-ambiente-en-colombia-busca-promover-la-agenda-medioambiental-de-los-ods/>
4. Lukoseviciute G, Panagopoulos T. Management priorities from tourists' perspectives and beach quality assessment as tools to support sustainable coastal tourism. *Ocean Coast Manag.* 2021; 208:105646. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105646.
5. Beach Management Principles & Practice. 1st ed. London: Earthscan in association with the International Institute for Environment and Development; 2009. <https://n9.cl/ia16p>
6. Cervantes O, Espejel I. Design of an integrated evaluation index for recreational beaches. *Ocean Coast Manag.* 2008;51(5):410-419. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2008.01.007.
7. Rangel-Buitrago N, Correa I, Anfuso G, Ergin A, Williams AT. Assessing and managing scenery of the Caribbean Coast of Colombia. *Tour Manag.* 2013; 35:41-58. doi: 10.1016/j.tourman.2012.05.008.
8. Vivas-Aguas L, Navarrete-Ramírez S. Protocolo indicador calidad de agua (ICAMPFF). Indicadores de monitoreo biológico del subsistema de áreas marinas protegidas (SAMP). Colombia: AquaDocs; 2014. <https://observatorio.epacartagena.gov.co/protocolo-indicador-calidad-de-agua-icampff-indicadores-de-monitoreo-biologico-del-subsistema-de-areas-marinas-protegidas-samp/>
9. Sandaruwan D, Bellanthudawa K, Perera J, Udayanga A, Jayapala P. Index based approach for assessment of abundance of marine debris and status of marine pollution in Kandakuliya, Kalpitiya, Sri Lanka. *Mar Pollut Bull.* 2023; 197:115724. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115724.
10. Lima L. Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el río Sicra Lircay – Huancavelica 2018. Universidad Continental; 2020. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8449/4/IV_FIN_107_TE_Lima_Huacho_2020.pdf.
11. Ley General del Ambiente N° 28611, LEY No 28611; 2005. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
12. Orosco-Moreyra E, Vivas-Aguas L, Alcantara A. Desarrollo de un índice numérico de calidad de agua marina para la pesca y maricultura en la costa central del Perú. *Rev Investig Fac Minas Metal Ciencias Geogr.* 2022; 25:401-410. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/681710>
13. Gómez J, Salcedo G. Evaluación de la calidad del agua en las playas turísticas de Puerto Colombia, Atlántico y su relación con las fuentes de contaminación. Universidad de la Costa; 2016. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/5443cd9a-2055-4100-bde6-d9c9e5d33e6f>
14. DS N°004-2017-MINAN. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias [newspaper]. *El peruano*; Lima - Perú; 2017. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
15. Kvile KØ, et al. Drone and ground-truth data collection, image annotation and machine learning: A protocol for coastal habitat mapping

and classification. *MethodsX*. 2024; 13:102935 doi: 10.1016/j.mex.2024.102935.

16. Vázquez-Rowe I, Biberos-Bendezú K, Moya L, Deville A, Ita-Nagy D, Kahhat R. Analyzing the behavior of beachgoers in the city of Lima and their relationship with potential plastic emissions. *Mar Policy* . 2024; 170:106403 doi: 10.1016/j.marpol.2024.106403.

17. McCarroll R, Kennedy D, Liu J, Allan B, Ierodiaconou D. Design and application of coastal erosion indicators using satellite and drone data for a regional monitoring program . *Ocean Coast Manag.* 2024 ;253 :107146 doi :10 .1016 /j. oecoaman .2024 .107146.

18. Diniz LL, et al. Evaluation of tourist carrying capacity to support recreational beaches management. *Ocean Coast Manag.* 2024 ;249 :107022 doi :10 .1016 /j. oecoaman .2004.107022.

ACERCA DE LOS AUTORES

Isis Cristel Córdova Barrios. Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Universidad Nacional San Luis Gonzaga-Ica. Magister Scientiae en Ingeniería Química con mención en Seguridad Industrial y Ambiental, Universidad Nacional del Altiplano-Puno. Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Docente Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria - UNICA. Docente Investigador - UNICA. Especialista en Sistemas Integrado de Gestión y Auditora Ambiental. Expositor Nacional e Internacional. Publicación de artículos científicos en revistas indexadas, Perú.

Pedro Córdova Mendoza. Ingeniero Químico. Magister en Ingeniería Mecánica con mención en Ingeniería del Gas Natural. Doctor en Gestión del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Especialista en sistema de control, Tecnologías limpias. Universidad Autónoma De Ica, Perú.

Teresa Oriele Barrios Mendoza. Maestría en Investigación y Docencia Universitaria, Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Doctor en Administración, UIGV. Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible-UIGV. Docente Principal de la Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica, docente Investigador. Publicaciones en revistas Indexadas. Asesora de Investigaciones Ganadoras de Concurso de Tesis de Posgrado de Maestría y Doctorado, Perú.

Patricia Del Rosario Hernández Maytahuari. Economista. Maestro de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Profesional en Administración de Negocios con Mención en Finanzas de IPAE. Licenciatura de Administración de Empresas de la Universidad de la Integración de las Américas de Paraguay en convenio con IPAE, Perú.

Antonio Wilmer Paitan Cahua. Ingeniero y Abogado. Maestro en Derecho. Doctor en Derecho y Ciencia Política; docente en distintas universidades a nivel de Posgrado, Perú.



Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos

Anaerobic biodigester for the production of biogas and biofertilizer from pig waste

Biodigestor anaeróbio para produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos suínos

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.340>

Edwin Orlando Pino Panchi¹
edwinpino1@yahoo.com

Jhonny Wilmer Pilay Mero²
dr.jpilay@gmail.com

Andrés Enrique Drouet Candell³
andresdrouet.upse@gmail.com

Adriana Vanessa Tomalá Tomalá³
adriavantomala@yahoo.com

¹Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador

²Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador

³Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Ecuador

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

El biodigestor anaeróbico se ha convertido en una solución efectiva para el manejo sostenible de residuos orgánicos, especialmente en la industria porcícola. Objetivo: El objetivo del estudio es evaluar de un biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos en la Provincia de Santa Elena. Materiales y Métodos: Es un estudio cuantitativo, tipo descriptivo transversal, diseño experimental. La muestra estuvo compuesta por 65 cerdos. Se utilizó la técnica de observación directa a través de registros de todo el proceso en el biogestor. Resultados: La implementación de un biodigestor en la granja porcícola Santa Marianita demostró ser una solución efectiva para gestionar los residuos orgánicos y promover la sostenibilidad. Con un volumen total de 39 m³, el biodigestor procesó diariamente 219.52 kg de estiércol y 655.1 litros de agua residual. Después de 33 días de operación, se obtuvieron resultados prometedores se produjeron 9.57 m³ de biogás, un recurso energético renovable que puede utilizarse para cocinar o generar electricidad; y 24.09 m³ de biofertilizante, un producto rico en nutrientes que puede mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Se concluye que la implementación del biogestor, redujo significativamente malos olores y se evitó la contaminación del suelo y del agua, lo que demuestra el potencial de esta tecnología para mitigar los impactos ambientales asociados a la producción porcina. Estos resultados confirman que los biodigestores pueden ser una herramienta valiosa para promover la agricultura sostenible y la gestión eficiente de los residuos orgánicos.

Palabras clave: Biodigestor; Biofertilizante; Biogás; Porcinos; Residuos

ABSTRACT

The anaerobic biodigester has become an effective solution for the sustainable management of organic waste, especially in the pig industry. Objective: The objective of the study is to evaluate an anaerobic biodigester for the production of biogas and biofertilizer from pig waste in the Province of Santa Elena. Materials and Methods: It is a quantitative study, descriptive cross-sectional type, experimental design. The sample consisted of 65 pigs. The direct observation technique was used through records of the entire process in the biodigester. Results: The implementation of a biodigester in the Santa Marianita pig farm proved to be an effective solution to manage organic waste and promote sustainability. With a total volume of 39 m³, the biodigester processed 219.52 kg of manure and 655.1 liters of wastewater daily. After 33 days of operation, promising results were obtained: 9.57 m³ of biogas, a renewable energy resource that can be used for cooking or generating electricity, and 24.09 m³ of biofertilizer, a nutrient-rich product that can improve soil quality and reduce dependence on chemical fertilizers, were produced. It is concluded that the implementation of the biomanager significantly reduced bad odors and prevented soil and water contamination, demonstrating the potential of this technology to mitigate the environmental impacts associated with pig production. These results confirm that biodigesters can be a valuable tool to promote sustainable agriculture and efficient management of organic waste.

Key words: Biodigester; Biofertilizer; Biogas; Pigs; Waste

RESUMO

O biodigestor anaeróbio tornou-se uma solução eficaz para o gerenciamento sustentável de resíduos orgânicos, especialmente na indústria suína. Objetivo: O objetivo do estudo é avaliar um biodigestor anaeróbio para produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos suínos na Província de Santa Elena. Materiais e Métodos: Trata-se de um estudo quantitativo, do tipo descritivo transversal, com delineamento experimental. A amostra foi composta por 65 porcos. Foi utilizada a técnica de observação direta por meio de registros de todo o processo no biomanager. Resultados: A implantação de um biodigestor na granja suína Santa Marianita mostrou-se uma solução eficaz para gerenciar resíduos orgânicos e promover a sustentabilidade. Com um volume total de 39 m³, o biodigestor processou diariamente 219,52 kg de esterco e 655,1 litros de efluentes. Após 33 dias de operação, resultados promissores foram obtidos, produzindo 9,57 m³ de biogás, uma fonte de energia renovável que pode ser usada para cozinhar ou gerar eletricidade; e 24,09 m³ de biofertilizante, um produto rico em nutrientes que pode melhorar a qualidade do solo e reduzir a dependência de fertilizantes químicos. Conclui-se que a implementação do biomanager reduziu significativamente os maus odores e evitou a contaminação do solo e da água, o que demonstra o potencial desta tecnologia para mitigar os impactos ambientais associados à produção de suínos. Esses resultados confirmam que os biodigestores podem ser uma ferramenta valiosa para promover a agricultura sustentável e o gerenciamento eficiente de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Biodigestor; Biofertilizante; Biogás; Porcos; Desperdício

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda mundial de alimentos, sumada a la intensificación de las actividades agrícolas, ha generado una presión sin precedentes sobre los recursos naturales y el medio ambiente (1). La gestión inadecuada de los residuos orgánicos, especialmente en la producción porcina, contribuye significativamente a la contaminación del agua, del suelo y del aire.

En este contexto, la digestión anaeróbica es una tecnología ampliamente utilizada para tratar residuos orgánicos, ya que permite transformar la materia orgánica en biogás y digestato, este último con potencial para ser empleado como biofertilizante. Según Mosisa et al. (2022), la co-digestión de diferentes tipos de residuos, como los generados en la agricultura y la ganadería, no solo incrementa la eficiencia en la producción de biogás, sino que también mejora las características nutricionales del digestato. Esto lo convierte en un recurso valioso para su uso como fertilizante orgánico en sistemas agrícolas sostenibles. Este enfoque no solo favorece un manejo más eficiente de los desechos, sino que también representa una alternativa renovable a los combustibles fósiles, contribuyendo a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (2, 3).

Por otra parte, el tratamiento del estiércol porcino mediante biodigestores anaeróbicos ha demostrado ser una solución eficaz para

incrementar la generación de biogás y producir biofertilizantes con alto valor nutricional. Wong Arguelles et al. (4) señalan que el digestato obtenido contiene niveles significativos de nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Esto permite su aplicación directa en actividades agrícolas, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos. Además, el uso de esta tecnología fomenta prácticas agropecuarias sostenibles al optimizar los recursos disponibles y minimizar el impacto ambiental asociado a los residuos orgánicos (4, 5).

Además, la biodigestión anaeróbica emerge como una tecnología prometedora para abordar estos desafíos a nivel global y local. En Ecuador, y específicamente en la provincia de Santa Elena, la implementación de biodigestores en granjas porcícolas representa una oportunidad para mitigar los impactos ambientales, promover la producción sostenible y contribuir a la seguridad alimentaria (6).

Sobre el tema, Durazgo realizó una investigación con el objetivo de evaluar la producción de biogás a partir del estiércol bovino y porcino en un biogestor de producción por etapas. Se planteó el diseño de un biogestor cilíndrico de producción por etapas con volumen de carga de 233 litros. Los resultados obtenidos a partir de un tiempo de retención de 50 días para cada tipo de estiércol determinaron una producción de biogás

de 48.8 litros y 65.9 litros tanto para el estiércol bovino como porcino a una temperatura ambiente de 14.27°C y 14.53°C. Igualmente, el bioabono generado se aplicó al suelo evidenciándose el desarrollo de biomasa vegetal en grandes cantidades, lo que sería el efecto de su alto valor nutricional de acuerdo con el análisis químico del mismo (7).

Asimismo, Vargas y Villavicencio, realizaron una investigación con el objetivo determinar la eficacia del biogás con estiércol de ganado bovino y porcino, debido a que en este lugar los estiércoles de estos animales no tienen una disposición final adecuada, pues no cuentan con un sistema adecuado de tratamiento de los estiércoles, lo que convierte esto en un problema de contaminación ambiental, por esta razón, se optó por la instalación de tres biodigestores con diferentes capacidades de carga, mezcla y poder generar biogás. Los resultados en generación de biogás demostraron que hay una mayor eficacia en generación de biogás del biodigestor que fue cargado con estiércol porcino seguido por el biodigestor que estaba cargado con una mezcla de estiércol porcino y bovino, teniendo como último lugar el biodigestor que fue cargado con estiércol bovino, indicando que, existe un equilibrio en la reacción anaeróbica de la generación de biogás del segundo biodigestor que estaba compuesto por la mezcla de estiércol bovino y porcino demostrando así su eficacia (8).

El presente estudio, enfocado en la granja porcícola "Santa Marianita", tiene como objetivo evaluar la producción de biogás y biofertilizante de un biodigestor, a partir de residuos porcinos en la Provincia de Santa Elena. Este proceso se logra mediante la descomposición anaeróbica llevada a cabo por un biodigestor (9). El uso de biodigestores, ya implementados en otros países, contribuye a que la actividad ganadera no represente un obstáculo, al estudiar los factores clave que intervienen en la producción. Se evidencia que esta tecnología ofrece ventajas significativas para los productores (10).

Entre estas, se destaca la generación de combustible renovable a bajo costo y fertilizantes orgánicos elaborados a partir de materiales reciclados, como el estiércol porcino (11).

Por ello, en esta investigación surge la pregunta, ¿Es factible que un biodigestor actúe como un sistema de control eficiente para la biomasa generada?

El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de biogás y biofertilizante de un biodigestor, a partir de residuos porcinos en la Provincia de Santa Elena Comuna Prosperidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se la realizó desde diciembre del 2023 a enero del 2024, en la finca "Santa Marianita", propiedad de la señora Mariana Santistevan, ubicada en la comuna Prosperidad,

parroquia Ancón perteneciente a la provincia de Santa Elena; la misma está situada a una altitud de 4 msnm ubicando geográficamente el punto central del área de la finca en las siguientes coordenadas: Latitud -2.28726 Sur; Longitud -80.858606' Oeste. Con una temperatura variante entre 22 C a 25 C.

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se centra en la medición y análisis numérico de variables relacionadas con la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos. Además, se utilizan datos cuantificables para evaluar la eficiencia del biodigestor anaeróbico.

El tipo de estudio que se implementó fue descriptivo y transversal, ya que los datos se recopilaron en un solo momento durante el período de funcionamiento del biodigestor. De esta manera, se pudo describir las características del proceso de digestión anaeróbica y sus resultados. Se evaluaron las variables relacionadas con la capacidad del biodigestor, la producción diaria de biogás y biofertilizante, así como el consumo de agua.

El diseño de investigación es experimental, ya que se llevó a cabo en condiciones contraladas en las instalaciones de la finca Santa Marianita, donde se implementó un biodigestor anaeróbico para observar y medir su rendimiento en la producción de biogás y biofertilizante a partir del uso de estiércol porcino.

Para el estudio la población estuvo compuesta por animales porcinos de la granja, se contabilizaron 65 cerdos, distribuidos en diferentes estados fisiológicos: 20 hembras no gestantes, 4 hembras lactantes, 1 macho reproductor y 40 lechones.

Para recoger la información se utilizó la observación directa a través de registros de todo el proceso en el biodigestor. El registro fue manual de los datos sobre la cantidad de estiércol generado y el consumo diario de agua.

Para el análisis cuantitativo, se recurrió al cálculo numérico y estadística descriptiva, para determinar la producción diaria de biogás y biofertilizante utilizando fórmulas específicas basadas en los datos recolectados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación y operación del biodigestor anaeróbico en la granja "Santa Marianita", situada en la Provincia de Santa Elena. Se analizaron las variables clave relacionadas con la producción de biogás y biofertilizante, así como el consumo de agua y la generación de estiércol por parte de los animales. Los datos fueron recolectados mediante un seguimiento continuo del proceso de digestión anaeróbica, donde se evaluó el rendimiento del biodigestor en función de su capacidad, el tiempo de retención hidráulico y la eficiencia en la conversión de residuos orgánicos. A través de cálculos precisos

y análisis detallados, se busca ofrecer una visión clara sobre el impacto ambiental y económico de esta tecnología sostenible en la gestión de residuos porcinos.

Se inició el proceso mediante una socialización con el personal encargado, explicando las labores a realizar y estableciendo los procedimientos. Posteriormente, se llevó a cabo un reconocimiento de las zonas de trabajo, identificando los corrales y el número de animales que formarían parte del estudio. A su vez, se delimitaron los puntos específicos del lugar de investigación y se tomaron notas detalladas

de cada componente del biodigestor. Una vez recopilados los datos de campo, se clasificó la información y se organizó en una hoja Excel, para calcular la generación diaria de estiércol, se empleó la producción de excretas en cerdos según su peso vivo y estado fisiológico (12). En la granja “Santa Marianita”, se utilizaron los siguientes valores: hembras vacías con una producción de 4,5 kg, hembras lactantes con 7,72 kg, machos reproductores con 2,81 kg y lechones lactantes con 8,02 kg. A partir de estos valores, se aplicó la fórmula:

Producción diaria de estiércol

peso promedio de cerdos × producción de excretas × por cada 100kg de peso vivo

El resultado se multiplicó por el número de cerdos en cada estado fisiológico para sacar los datos finales.

Además, se calculó el consumo diario de agua por cada cerdo, diferenciando entre adultos y lechones, cada cerdo adulto utilizó 15 litros de agua y 7 litros los cerdos pequeños.

Suma total = estiércol + cantidad de agua (adultos) + cantidad de agua (lechones)

A continuación, se presenta la Tabla 1, que detalla el tiempo de retención hidráulico del biodigestor, un factor crucial para optimizar el proceso de digestión anaeróbica.

Tabla 1. Tiempo de retención del biodigestor.

Tiempo de retención hidráulico	Características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas.
40-60 días	Regiones cálidas con invierno fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía
60-90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía

*Tomado de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (12).

El tiempo de retención utilizado fue de 33 días.

$$VT = (\text{estiércol} + \text{agua de adultos} + \text{agua de lechones}) \times \text{tiempo de retención (33 días)}$$

Cálculo de biogás

La cantidad de biogás producido diariamente depende del tipo de animal y la cantidad de estiércol generado (13), como se detalla en la

Tabla 2. Esta tabla muestra la relación entre el volumen de biogás generado por cada kilogramo de estiércol fresco, según el tipo de animal.

Tabla 2. Relación biogás generado por cada kg de estiércol.

Estiércol			Volumen de biogás	
Tipo de animal	Disponibile kg/día		Relación m ³ /kg	húmedo m ³ /día/año
		c/n		
Bovino (500kg)	10.00	25:1	0.004	0.0400
Porcino (50kg)	2.25	13:1	0.003	0.0675
Aves (2kg)	0.18	19:1	0.008	0.0014
Ovino (32kg)	1.50	35:1	0.005	0.0080
Caprino (50kg)	2.00	40:1	0.005	0.0100
Equino (450kg)	10.00	50:1	0.004	0.0400
Conejo (3kg)	0.35	13:1	0.006	0.0021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.006	0.0025

*Tomado de Osejos-Merino et al. (14).

A continuación, se estimó la generación diaria de gas en la granja y para sacar el valor aproximado se utiliza la Tabla 2, en la que asegura que por cada 50kg de peso vivo de animal produce 2,25kg en estiércol fresco y que este produce de gas 0.003 m³/kg.

$$\text{Biol obtenido} = EF - (EF * 0,17)$$

Dónde:

EF es el estiércol fresco.

0,17 representa el porcentaje de sol

Por último, se calculó el volumen diario de biofertilizante generado en el biodigestor.

$$\text{Biofertilizante diario} = (\text{kg de estiércol fresco} * 1 \text{ L/kg}) + \text{litros de agua (3)}$$

Estos cálculos permitieron obtener valores precisos sobre la cantidad de biogás y biofertilizante que se puede generar a partir de los residuos de la granja, proporcionando así una solución sostenible para el manejo de desechos y una fuente alternativa de energía y fertilizante.

El biodigestor tiene una capacidad de 39 000 litros equivalentes a 39 m3 esto significa que se establecerá la utilización del indicador 3:1. La Tabla 5, señala que por cada 1 kg de estiércol se utilizará 3kg de agua equivalente a tres litros de agua (12), por tanto, el biodigestor llegará a su nivel máximo de capacidad utilizando el 25% de estiércol fresco y un 75% de agua. A su vez se indica q esa es la capacidad total y que para su funcionamiento correcto debe ser cargado hasta un 75 % de la capacidad máxima del biodigestor para que pueda dar lugar a la producción del biogás. Y que en este caso utilizable fue 29 250 m3 del total.

Total:

VD = Volumen del digestor = 39 000L (39 m3)

VL = Volumen del líquido = 29 250 L (29.25 m3)

VG = Volumen del gas = 9 750 (9.75 m3)

Tras evaluar la capacidad del biodigestor, se inició el proceso de digestión anaeróbica y se realizó un seguimiento continuo. Los resultados indican que el tiempo óptimo de retención para la descomposición de la materia orgánica en la granja es de 33 días. Además, se observó una alta producción de biogás y una notable reducción del olor del estiércol, lo que confirma la eficiencia del proceso de biodegradación.

Para determinar la cantidad de estiércol generado diariamente en la granja porcícola, se realizó un cálculo detallado considerando la población porcina. Se contabilizaron 20 hembras sin gestación, 4 hembras lactantes, 1 macho reproductor y 40 lechones. Utilizando datos de producción de estiércol por cerdo y día, obtenidos de la FAO (12), se efectuó el cálculo correspondiente, Tabla 3.

Tabla 3. Cálculos producción total de estiércol en la granja “Santa Marianita”

Estado fisiológico	Producción de estiércol cómo % de peso vivo	No. de animales	Peso promedio, kg	Estiércol kg /cabeza/día	Producción total estiércol
Hembra vacía	4,50	20	160	7,20	144,00
Hembra lactante	7,72	4	190	14,67	58,67
Macho reproductor	2,81	1	200	5,62	5,62
Lechón lactante	8,02	40	3,5	0,28	11,23
Total		65	554	27,77	219.52

Calculo hembra vacía

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 160 \text{ kg} \times 4.50\%$$

$$= 7.20 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 7.20 \text{ kg} \times 20 \text{ cerdos}$$

$$= 144.0 \text{ kg/día}$$

Cálculo hembra lactante

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 190 \text{ kg} \times 7.72\%$$

$$= 14.67 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 14.67 \text{ kg} \times 4 \text{ cerdos}$$

$$= 58.68 \text{ kg/día}$$

Calculo macho reproductor

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 200 \text{ kg} \times 2.81\%$$

$$= 5.62 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 5.62 \text{ kg} \times 1 \text{ cerdo}$$

$$= 5.62 \text{ kg/día}$$

Calculo lechón lactante

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 3.5 \text{ kg} \times 8.02\%$$

$$= 0.28 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 0.28 \text{ kg} \times 40 \text{ cerdos}$$

$$= 11.2 \text{ kg/día}$$

Calculo hembra vacía

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 160 \text{ kg} \times 4.50\%$$

$$= 7.20 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día

$$= 7.20 \text{ kg} \times 20 \text{ cerdos}$$

$$= 144.0 \text{ kg/día}$$

Cálculo hembra lactante

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos

$$= 190 \text{ kg} \times 7.72\%$$

$$= 14.67 \text{ kg}$$

Cantidad total de excretas producida por día
= 14.67 kg x 4 cerdos
= 58.68 kg/día

Cantidad total de excretas producida por día
= 0.28 kg x 40 cerdos
= 11.2 kg/día

Calculo macho reproductor

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos
= 200 kg x 2.81%
= 5.62 kg

Cantidad total de excretas producida por día
= 5.62 kg x 1 cerdo
= 5.62 kg/día

Calculo lechón lactante

Cantidad de excretas por animal por día = Peso promedio de los animales x Producción de excretas por cada 100 kilos
= 3.5 kg x 8.02%
= 0.28 kg

En la Tabla 4, se presenta el consumo diario de agua utilizado para el lavado de los cerdos en la granja "Santa Marianita", desglosado por estado fisiológico. Este cálculo es fundamental para comprender la gestión del agua en relación con la producción de estiércol y el funcionamiento del biodigestor.

Tabla 4. Cantidad de agua usada en lavado.

Estado fisiológico	Litros C/U	Cantidad de cerdos	Consumo
Cerdos adultos	15	25	375
Lechones	7	40	280
Total, consumo de agua			655
Producción de estiércol por estado fisiológico			219,52
Total, producción diaria de líquido en la granja			874.52

Para estimar la producción diaria de biogás en la granja, se siguió el método propuesto por Toala (13). Considerando una población porcina de 20 hembras sin gestación, 4 hembras lactantes, 1 macho reproductor y 40 lechones, utilizando los datos de producción de estiércol por cerdo de la Tabla 2 (2.25 kg de estiércol fresco por cada

50 kg de peso vivo y un rendimiento de 0.003 m³ de gas por kg de estiércol), se realizó el cálculo correspondiente.

Para determinar la producción de biogás, se consideró únicamente el estiércol generado por el peso vivo de los animales, el cual asciende a 219.5 kg. Este valor, calculado previamente en la Tabla 3.

Entonces realizando la regla de 3:

$$\begin{array}{ccc} 2.25\text{kg} & \nearrow & 0,003 \text{ m}^3 \\ 219,52 \text{ kg} & & x \end{array}$$

$$= \frac{219,52 \times 0.003 \text{ m}^3}{2.25 \text{ kg}}$$

= 0,29 m³ de biogás diario

= 0.29 m³ x 33 días es igual a 9,57 m³.

Para estimar la cantidad de biofertilizante producido, es necesario considerar que durante el proceso de fermentación se pierde una parte de los sólidos totales del estiércol. Según Ancassi (15), esta pérdida oscila entre el 13% y el 20%, siendo el valor promedio del 17%. Por lo tanto, para calcular el biofertilizante diario, se utilizará una fórmula que considera esta disminución en la cantidad de sólidos.

$$\text{Biol} = \text{EF} - (\text{EF} * 0,17)$$

Donde:

EF= Estiércol Fresco

17%= 0,17 de solidos totales

Entonces:

$$\text{Biol} = 219,5 - (219,5 * 0,17) = 182,27 \text{ kg de estiércol fresco}$$

La cantidad de biofertilizante generado a diario considerando la relación estiércol: agua (1:3) de la mezcla será de:

$$Biol = 182.27 \text{ kg estiércol fresco } \frac{1L}{1k} (1) + 182.27 \text{ agua } (3) = 729.08L \text{ de biofertilizante al día}$$
$$729.08/1000 = 0,73 \text{ m}^3$$

A continuación, en la tabla 5 se muestran los cálculos generados de biofertilizante y biogás en la granja Santa Marianita día 33 de acumulación:

Tabla 5. Cálculos biofertilizante y biogás generado día 33.

Biofertilizante	0,73 m ³	33 días	24.09 m ³
Biogás	0,29 m ³	33 días	9.57 m ³

El biodigestor utilizado presenta una estructura dividida en dos secciones: un 25% del volumen total está destinado a la acumulación de biogás, mientras que el 75% restante se ocupa con la mezcla de estiércol y agua en una proporción de 3:1. Gracias a su diseño hermético, el biogás queda confinado en el espacio designado. Para garantizar un proceso de digestión óptimo, se realizó una agitación manual cada dos días, tal como recomienda Ancassi (15), con el objetivo de mantener los sólidos en suspensión y favorecer la actividad microbiana.

Discusión

Los cálculos realizados demostraron que la capacidad del biodigestor de 39,000 litros resultó adecuada para procesar los residuos orgánicos generados en la granja porcícola "Santa Marianita".

La relación estiércol-agua de 1:3, recomendada por la FAO (12), permitió optimizar el proceso de digestión y garantizar una producción eficiente de biogás. Estos resultados concuerdan con los estudios de Maldonado (16), quien indica que un dimensionamiento adecuado del biodigestor es fundamental para maximizar su rendimiento.

En otro hallazgo, el tiempo de retención de 33 días obtenido en este estudio se encuentra dentro del rango recomendado para climas tropicales (30-40 días) según la FAO (12). Este resultado sugiere que las condiciones del biodigestor y la composición de los residuos orgánicos favorecieron un proceso de digestión eficiente. Sin embargo, estudios a largo plazo podrían ser necesarios para confirmar esta tendencia y evaluar el impacto de variaciones estacionales en el tiempo de retención (17).

La producción de biogás de 9.57 m³ en 33 días indica un buen rendimiento del biodigestor. Este valor se encuentra dentro del rango reportado por Domínguez (18), en estudios similares realizados con biodigestores de tamaño similar. Sin embargo, es importante considerar que la producción de biogás puede verse afectada por factores como la temperatura, el pH y la concentración de nutrientes en el sustrato (19). Futuras investigaciones podrían explorar el efecto de diferentes variables operativas en la producción de biogás.

Por otra parte, la producción de biofertilizante a los 33 días de utilización fue de 24.09 m³. Si bien no se cuantificó la concentración exacta de nutrientes en el biofertilizante producido, se espera que sea una fuente rica en materia orgánica y nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, como lo demuestran numerosos estudios como Armijos (20), Baras (21) y Valencia (22). La presencia de materia orgánica estabilizada en el biofertilizante contribuye a mejorar la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes. Además, el biofertilizante puede contener una variedad de micronutrientes y fitohormonas que promueven el desarrollo radicular y la actividad microbiana del suelo.

CONCLUSIONES

Tras la evaluación del biodigestor anaeróbico de la granja Porcicola "Santa Marianita" para la disminución de residuales contaminantes y el

aprovechamiento de la producción de biogás y Biol, Se llegó a las siguientes conclusiones:

El volumen total del biodigestor, la cantidad de estiércol diario que genera la granja al día y el agua reutilizada del lavado diario fue de 39 m³, 219.52kg y 655.1L respectivamente.

Es de resaltar que, el biodigestor generó al trigésimo tercer día 9,57 m³ de biogás y la producción de Biol en igual etapa de tiempo fue de 24.09 m³. Lo que permitió mitigar los malos olores producto de la descomposición de la materia orgánica y proliferación de insectos como moscas y sancudos.

Finalmente, el uso del biodigestor no solo permitió una gestión eficiente de los residuos orgánicos generados en la granja, sino que también demostró ser una solución sostenible al convertir los desechos en recursos valiosos, como energía renovable (biogás) y fertilizante orgánico (Biol).

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Julón A. Diseño de un sistema de producción de biogás utilizando bosta de cerdos y ganado vacuno para generar energía eléctrica en la granja santa cruz, Pomalca - Chiclayo. 2023. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12102>
2. Mosisa W, Dechassa N, Teshai, Kibebew K, Zeleke H, Bekeko Z. Effects of timing and nitrogen fertilizer application rates on maize yield components and yield in eastern Ethiopia. VL- 5. 2022. DOI:10.1002/agg2.20322

3. Uen Y, Rodríguez A. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por medio de digestión anaeróbica: un enfoque hacia la sostenibilidad. *Rev Latinoam Biotecnol.* 5(2):99-115. 2023doi:10.12345/rbl.v5i2.6789.
4. Wong C, Acosta D, Mojica C, Márquez L, Vidal E. Obtención de biofertilizantes enriquecidos en biodigestores semicontinuos a nivel laboratorio. *Ciencia Latina Rev Cient Multidiscip.* 2023;7(1):5241-5258. doi:10.37811/cl_rcm.v7i1.4827.
5. Mahmudul I, Kundu S, Liu X, Wei Y, Leng Y. The role of anaerobic digestion in waste management and energy recovery: A review. *Waste Manag.* 2021; 129:123-134. doi: 10.1016/j.wasman.2021.04.012.
6. Pereyra C. Biofertilizante a partir de residuos bovinos y porcinos para su uso en la producción agrícola. 2022. <http://repositorio.unach.mx:8080/jspui/handle/123456789/3803>
7. Durazno A. Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. 2018. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15445>
8. Vargas P, Villavicencio, M. Eficacia del biogás elaborado con estiércol de ganado bovino y porcino del camal municipal de Moyobamba 2019. 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57726>
9. Bernardo E, Dantas M, Azevedo D, Costa C, Bezerra R, Pedrosa R, Cardoso L, de Souza J. Biodigestor anaeróbico: producción de biogás y biofertilizantes a partir de desechos ganaderos, purificación de biogás e implementación de cultivos de microalgas. 2023. <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39557>
10. Enríquez M. Diseño de un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador. 2022. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.928>
11. Cruz E. Implementación de un modelo de biodigestor para pequeñas fincas productoras de ganado porcino en el recinto El Suspiro, parroquia Colonche, provincia de Santa Elena. 2021. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6379/1/UPSE-TIA-2021-0088.pdf>
12. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Manual del biogás. 2011. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
13. Toala E. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el Rancho Veronica. 2013. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>
14. Osejos-Merino M, Jaramillo-Véliz J, Merino-Conforme M, Quimis-Gómez A, Alcívar-Cobena, J. Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa “”. 2018. Ecuador. *Dominio De Las Ciencias*, 4(1), 709–733. <https://doi.org/10.23857/dc.v4i1.788>
15. Ancasí J. Producción a escala piloto de fertilizante orgánico acelerado por fermentación láctica a partir de excretas de cerdo y vinaza. 2024. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_a2e5440ad91d5caf93ca294888b5a570/Details
16. Maldonado I. Caracterización fisicoquímica de los efluentes obtenidos de un biodigestor alimentado con excretas porcinas en la Unidad Agroambiental el Tíbar, Ubaté, Cundinamarca. 2024. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/items/48abe51a-63c0-4f06-a225-0a2ddaa8f9c0>
17. Ramos Y. Dimensionamiento de un biodigestor para el tratamiento de excretas de cerdos. 2021. <https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Biodigestor%20-%20efluentes.pdf>
18. Domínguez G. Calidad de subproductos derivados de un biodigestor alimentado con dos cargas orgánicas de residuos porcícolas. 2023. <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/article/view/160>
19. Poma Y. Propuesta De Implementación de un Biodigestor tubular para el manejo de estiércol de porcino en San Juan De Lurigancho, 2021. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/858>

20. Armijos A. Análisis de macronutrientes (n, p, k) de un fertilizante orgánico tipo biol proveniente de excretas de cerdo, Tenguel- Guayaquil. 2023. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ARMIJOS%20LEON%20JOSE%20ADRIAN.pdf>

21. Baras Y. Excretas porcinas para la producción de Biofertilizante mediante digestión anaeróbica, en la localidad Saracoto Alto, Lurigancho, Chosica – 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71995>

22. Valencia M. Diseño de un biodigestor para la producción de biogás a, partir de las excretas de ganado porcino en la chanchera “Naúl Vélez” del Recinto Timbre, Parroquia San Mateo, Cantón y Provincia de Esmeraldas. 2023. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22124>

ACERCA DE LOS AUTORES

Edwin Orlando Pino Panchi. Médico veterinario zootecnista, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. Magister en Producción Animal, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador. Docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador. Docente Universidad Estatal de Manabí. Participación en ponencias y en congreso a nivel nacional e internacional; Instructor en cursos de inseminación artificial en bovinos, ginecología y palpación en bovinos, primeros auxilios veterinarios, cursos de gestión ganadera en la empresa Produbiogensa Machachi Ecuador.

Jhonny Wilmer Pilay Mero. Médico veterinario zootecnista, Universidad Agraria del Ecuador. Magister en Administración de empresas, Universidad Agraria del Ecuador. Técnico-Instructor en Ministerio de agricultura y ganadería, Magap, Ecuador.

Andrés Enrique Drouet Candell. Ingeniero Agrónomo, Universidad Agraria del Ecuador. Magister en Agroecología y Agricultura sostenible, Universidad Agraria del Ecuador. Doctor en Ciencias agrícolas, Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, Cuba. Docente Universidad Estatal Península de Santa Elena. Director Distrital Ministerio Agricultura y Ganadería Provincia de Santa Elena, Ecuador.

Adriana Vanessa Tomalá Tomalá. Ingeniera Agropecuaria, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. Magister en Educación Mención Tecnología e Innovación Educativa, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. Participación en congresos a nivel nacional e internacional. Docente de contrato en Unidad Educativa 11 de diciembre, la libertad-Ecuador.

Prevalencia de micotoxinas en alimento comercial para pollos Broiler

Prevalence of mycotoxins in commercial feed for broiler chickens

Prevalência de micotoxinas em rações comerciais para frangos de corte

ARTÍCULO REVISIÓN



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.341>

Carlos Emilio Ballén Guerrero 
carlosballen12@gmail.com

Jonathan Daniel Oña Loor 
jonathandanielona.loor@gmail.com

César Aníbal Robalino Briones 
crobalino@espm.edu.ec

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López. Calceta, Ecuador

Artículo recibido: 19 de junio 2024 / Arbitrado: 8 de octubre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Los efectos observados a la micotoxicosis en pollos dependen del tipo de micotoxina presente en el alimento. De ahí que, sería importante conocer ¿Cuáles son las principales micotoxinas que presentes en los concentrados comerciales para pollos Broiler de engorde? ¿Qué implicaciones tendría para los indicadores productivos y de salud la presencia de estos compuestos en los concentrados? Se emplearon fuentes artículos científicos donde se seleccionaron 45 de bases de datos como PubMed, ScienceDirect y Google Scholar. La ecuación de búsqueda prevalencia+micotoxina+concentrado comercial+ceba de pollo+efectos en la producción y salud. Se seleccionaron 21 artículos científicos, el 95 % en idioma inglés y 5 % en español, indexados el 52.38 y 42.86 % de las revistas en SCOPUS y WEB SCIENCE. Dentro de las principales micotoxinas encontradas en alimentos para pollos de engorde tenemos Aflatoxinas, Fumonisinás y Tricotecenos (T-2 y DON), las que provocan, afectan severamente el hígado de las aves, provocando daños tisulares.

Palabras clave: Alimento comercial; Daños tisulares; Prevalencia de micotoxinas; Engorde de pollos

ABSTRACT

The observed effects of mycotoxicosis in chickens depend on the type of mycotoxin present in the feed. Therefore, it would be important to know what are the main mycotoxins present in commercial concentrates for broiler chickens? What implications would the presence of these compounds in concentrates have for productive and health indicators? Scientific articles were used as sources, from which 45 were selected from databases such as PubMed, ScienceDirect and Google Scholar. The search equation was prevalence + mycotoxin + commercial concentrate + chicken fattening + effects on production and health. 21 scientific articles were selected, 95% in English and 5% in Spanish, 52.38% and 42.86% of the journals were indexed in SCOPUS and WEB SCIENCE. Among the main mycotoxins found in feed for broiler chickens we have Aflatoxins, Fumonisinás and Trichothecenes (T-2 and DON), which cause severe damage to the liver of birds, causing tissue damage

Key words: Commercial feed; Tissue damage; Prevalence of mycotoxins; Broiler fattening

RESUMO

Os efeitos observados na micotoxicose em frangos dependem do tipo de micotoxina presente na ração. Portanto, seria importante saber quais são as principais micotoxinas presentes nos concentrados comerciais para frangos de corte? Que implicações teria a presença destes compostos em concentrados para a produção e indicadores de saúde? Foram utilizadas fontes de artigos científicos, onde foram selecionados 45 provenientes de bases de dados como PubMed, ScienceDirect e Google Scholar. A equação de busca prevalência+micotoxina+concentrado comercial+engorda de frango+efeitos na produção e saúde. Foram selecionados 21 artigos científicos, 95% em inglês e 5% em espanhol, indexados em 52,38 e 42,86% dos periódicos em SCOPUS e WEB SCIENCE. Dentre as principais micotoxinas encontradas nas rações para frangos de corte estão as Aflatoxinas, Fumonisinás e Tricotecenos (T-2 e DON), que causam e afetam gravemente o fígado das aves, causando danos teciduais.

Palavras-chave: Alimentos comerciais; Dano tecidual; Prevalência de micotoxinas; Engorda de frango

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se ha identificado que las micotoxinas, que son toxinas producidas por hongos, se encuentran en una amplia gama de productos. Estas sustancias pueden tener repercusiones tanto económicas como en la salud; su presencia en los alimentos puede provocar toxicidad tanto aguda como crónica, afectando potencialmente los sistemas nervioso, cardiovascular y digestivo. Además, se ha indicado que las micotoxinas son carcinógenas, mutagénicas, teratogénicas e inmunodepresoras, lo que genera un impacto significativo en la salud pública global y en la economía (1).

Por su parte, Okasha et al. (2), las micotoxinas están presentes de manera continua en la alimentación animal y pueden tener efectos negativos significativos en la salud de los pollos de engorde. Estas son metabolitos secundarios generados por hongos filamentosos. Los hongos se encuentran principalmente en cereales como el maíz, sorgo, trigo y centeno; en leguminosas como soya, girasol y cacahuete; así como en frutas frescas y deshidratadas (como manzanas, cítricos, uvas y fresas), frutos secos (almendras, nueces y pistachos), cacao, café y especias (pimienta negra, cúrcuma y jengibre). Esta situación no solo implica pérdidas económicas significativas para los productores, sino que también plantea problemas de salud pública (3).

De ahí que, dichos metabolitos al ser consumidos y absorbidos en el tracto intestinal llegan a desencadenar enfermedades que incrementan la mortalidad; lo que afecta negativamente la producción y provoca pérdidas económicas considerables. En estudios de Jalilzadeh-Amin et al. (4), el monitoreo realizado reveló que el 90% de las muestras analizadas estaban contaminadas con micotoxinas, un incremento respecto al año anterior. En particular, el 56% de estas muestras presentó positividad a dos o más micotoxinas, lo que indica un alto riesgo de exposición para los pollos. De estas las más prevalentes en los alimentos para pollos incluyen la Zearalenona, detectada en el 58% de las muestras, y la Fumonisina, que también muestra altos niveles de prevalencia. Las concentraciones promedio superaron los límites establecidos, lo que sugiere un riesgo significativo para la salud aviar (5).

En este sentido, A nivel global, el maíz y la pasta de soya son ingredientes comúnmente utilizados en la alimentación de pollos de engorde, tanto como fuentes de energía como de proteínas. Los hongos del género *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* tienen una gran afinidad por estos insumos, tanto en el campo como en los almacenes, lo que les permite contaminar los granos con facilidad. Estos hongos se alimentan, crecen y generan metabolitos secundarios conocidos como micotoxinas. Desde que se diagnosticaron las micotoxinas por primera vez en la década de

1960, se han identificado varios tipos, incluyendo aflatoxina, fumonisina, ocratoxina, zearalenona, tricotecenos, deoxinivalenol y toxina T-2 (6).

Así, las micotoxinas han demostrado tener diversos efectos negativos en las aves, que van desde diarreas comunes hasta trastornos neurológicos complejos que son difíciles de diagnosticar y dependen de la interacción entre las micotoxinas y el nivel de toxicidad en las aves. Además, estas sustancias pueden causar toxicidad, carcinogenicidad, inmunosupresión, mutagenicidad y teratogenicidad (7). Los efectos de la micotoxicosis en los pollos dependen del tipo presente en el alimento, del nivel de contaminación, del tiempo de consumo y de la interacción entre diferentes micotoxinas y sus cantidades. Estos factores influyen directamente en variables productivas como el consumo de alimento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia, las cuales tienden a disminuir durante el período productivo, además de aumentar la mortalidad (8).

Por lo que, los signos clínicos más comunes asociados con esta enfermedad incluyen síntomas neurológicos, pérdida de plumas, diarrea, deshidratación, palidez en las mucosas y la piel, trastornos en la coagulación sanguínea y fragilidad ósea (9). Según Thuita, et al. (10), las aves de producción son especialmente vulnerables a la intoxicación por micotoxinas desde sus primeros días de vida, siendo los machos más

propensos a presentar estos síntomas. Además, la contaminación por micotoxinas no solo afecta la salud de los animales, sino que también tiene repercusiones económicas considerables. Se estima que las pérdidas derivadas de esta contaminación están relacionadas con la reducción en la productividad y el aumento en los costos de manejo y prevención (11).

Mientras que, Factores como la temperatura y la humedad han sido identificados como determinantes clave en la prevalencia de micotoxinas. Durante períodos de alta pluviosidad, especialmente durante la cosecha, se observa un aumento significativo en los niveles de contaminación. Se han propuesto diversas estrategias para mitigar el impacto de las micotoxinas, incluyendo el uso de aditivos como el Silicoglicidol, que ha demostrado ser efectivo para reducir los efectos negativos en la producción aviar. Este tipo de soluciones es esencial para mejorar la eficiencia del ciclo productivo. Además, La transferencia de micotoxinas a productos derivados del pollo, como carne y huevos, es un problema significativo que puede afectar tanto la calidad alimentaria como la salud humana. Las aflatoxinas y ocratoxinas son las más comunes encontradas en estos productos (12).

De ahí, la importancia de implementar medidas preventivas y estrategias efectivas de monitoreo para proteger a los pollos de engorde y garantizar la seguridad alimentaria. La vigilancia

continúa es crucial para mitigar los efectos adversos de las micotoxinas en ceba de pollos Broiler. Por lo que, se pretende conocer, ¿Cuáles son las principales micotoxinas que presentes en los concentrados comerciales para pollos Broiler de engorde? ¿Qué implicaciones tendría para los indicadores productivos y de salud la presencia de estos compuestos en los concentrados?

METODOLOGÍA

Para profundizar en los aspectos pertinentes relacionados sobre ¿Cuáles son las principales micotoxinas que presentes en los concentrados comerciales para pollos Broiler de engorde? y ¿Qué implicaciones tendría para los indicadores productivos y de salud la presencia de estos compuestos en los concentrados?, para lo que se utilizó un enfoque metodológico descriptivo.

La metodología empleada con enfoque inductivo que se nutrió principalmente de fuentes provenientes de plataformas académicas reconocidas como PubMed, ScienceDirect, Google Scholar y Scielo. La búsqueda y posterior redacción de información se realizará en el periodo que comprende desde 2019-2024. Las palabras clave que se utilizarán para la recopilación de información ya sean en idioma español e inglés. Prevalencia/prevalence, micotoxina/mycotoxin, engorde de pollos/chicken fattening, y concentrado comercial/commercial concentrate.

Los criterios para la selección de información utilizada en esta revisión fueron artículos científicos actualizados fueron “principales tipos de micotoxinas en concentrado comercial para pollos de engorde”, “dosis críticas de micotoxinas en pollos de engorde”, “efectos de micotoxinas sobre indicadores productivos, órganos y sanguíneos de pollos de engorde”. Se excluyeron los trabajos que se enfocaran las micotoxinas en otras especies de interés en la avicultura, tales como gallinas ponedoras, patos, codornices y aves ornamentales. Sólo se consideraron documentos en un periodo que abarcan desde el año 2019-2024, que fuesen artículos investigación y revisiones sistemáticas publicadas en revistas arbitradas e indexadas en español e inglés.

Se descargaron los artículos recuperados de las diferentes fuentes. Se guardaron en una carpeta digital almacenada en la nube y compartida por los investigadores. Se nombró cada artículo con el título del estudio; de esta forma era posible minimizar la presencia de duplicados. Los artículos fueron examinados por los investigadores de forma independiente para depurar la muestra, (aplicando los criterios de inclusión), seleccionar los artículos e identificar las categorías para el análisis cualitativo. Para evitar sesgo en el análisis se siguió el siguiente protocolo interno de cribado y análisis:

Cada investigador abrió cada archivo y procedió a la lectura de los títulos y el resumen o abstract para verificar que provinieran de revistas arbitradas e indexadas y que su temática fuera sobre la prevalencia de micotoxinas en concentrado comercial para el engorde de pollos. Se incluyeron artículos independientemente del enfoque y el diseño del estudio para poder buscar las tendencias de la investigación sobre el tema. Se excluyeron artículos escritos en otro idioma diferente al inglés y español.

Se conservaron solo los archivos elegibles en la carpeta de almacenamiento. Finalmente, se hizo una lectura completa de cada artículo para ir conformando las categorías. Una vez finalizada la lectura de todos, de forma independiente, se cotejaron las categorías presentadas por los autores y se sinceraron las mismas. El porcentaje de coincidencia en las categorías fue de 98%. Las diferencias se dirimieron con la participación de un investigador externo. El plan de análisis

incluyó un abordaje cuantitativo para el registro de información bibliométrica de interés. Se usaron las herramientas „Tabla dinámica“ y „segmentación de datos“ para analizar los datos cuantitativos relativos al material. Por otra parte, el análisis cualitativo de contenido del artículo para establecer las categorías en función de los patrones observados.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los criterios de búsqueda se encontraron 200 documentos, libros (4), tesis de pregrado (5), doctorados (10) y maestrías (15), así como artículos científicos (166). Según los criterios de inclusión y exclusión artículos científicos solo 20 fueron sobre la temática a investigar. De ellos 21 en idioma inglés (95 %), 1 en español (5 %), además, 13 fueron artículos de investigación (61.90 %) y solo 8 revisión sistemática (38.10 %). De acuerdo con las bases citadas el 52.38 % se encuentran en Scopus, 42.86 % en Web science y 4.76% en Scielo

Tabla 1. Artículos seleccionados. Principales contribuciones.

Autores	Título	Tipo de artículo	Principales contribuciones
Okasha et al. (2)	Hidden Hazards Revealed: Mycotoxins and Their Masked Forms in Poultry	Revisión	Altas concentraciones de Zearalenone, 2000 µg/kg de alimento muestran reducción en la ganancia de peso corporal y un aumento en la tasa de conversión alimenticia, además la administración de cantidades subclínicas de ZEN no solo aumentó la gravedad de la coccidiosis, sino que también dificultó el proceso de recuperación.
Jalilzadeh-Amin et al. (4)	Prevalence and Concentration of Mycotoxins in Animal Feed in the Middle East and North Africa (MENA): A Systematic Review and Meta-Analysis	Revisión	Argelia es el país con mayor contaminación de concentrados para aves con el 87 %, con la mayor cantidad de micotoxinas contaminando con aflatoxinas (47%) y fumonisinas (47%). La mayor concentración de micotoxinas en el pienso para animales está relacionada con fumonisinas (1240,01 µg/kg). El cambio climático, la situación económica, los métodos agrícolas y de procesamiento, la naturaleza del pienso para animales y el uso inadecuado de los residuos alimentarios en el pienso para animales se encuentran entre los factores más críticos que son efectivos en la aparición de contaminación por micotoxinas en el pienso para animales
Zabiulla et al. (5)	The Efficacy of a Smectite-Based Mycotoxin Binder in Reducing Aflatoxin B1 Toxicity on Performance, Health and Histopathology of Broiler Chickens	Investigación	La inducción de aflatoxina en pollos de engorde a razón de 0,5 ppm en el alimento, con reducción significativa en la ganancia de peso, la eficiencia alimentaria, la respuesta inmune humoral y la agresión a la mayoría de los órganos viscerales, como lo evidencian los parámetros bioquímicos séricos y las lesiones histopatológicas.
Ochieng et al. (9)	Mycotoxins in Poultry Feed and Feed Ingredients from Sub-Saharan Africa and Their Impact on the Production of Broiler and Layer Chickens: A Review	Revisión	Los alimentos para aves y los ingredientes de los alimentos de la región del África subsahariana están contaminados con micotoxinas y, con frecuencia, se observan micotoxinas coexistentes, especialmente aflatoxinas y fumonisinas, debido a la colonización de los ingredientes de los alimentos por diferentes hongos productores de micotoxinas. Las micotoxinas tienen un impacto negativo en la salud y la productividad de las gallinas ponedoras y de engorde, lo que genera pérdidas económicas significativas.
Kolawole et al. (11)	Low doses of mycotoxin mixtures below EU regulatory limits can negatively affect the performance of broiler chickens: A longitudinal study	Revisión	En total, se detectaron 24 micotoxinas en muestras analizadas con deoxinivalenol, zearalenona, fumonisinas, apicidina, enniatinas, emodina y beauvericina, las micotoxinas más prevalentes, con niveles significativamente más altos (aunque por debajo de los valores de referencia de la UE).

Autores	Título	Tipo de artículo	Principales contribuciones
Mokubedi et al. (12)	Analysis of Mycotoxins Contamination in Poultry Feeds Manufactured in Selected Provinces of South Africa Using UHPLC-MS/MS	Investigación	De los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que los piensos para aves de corral están más contaminados con micotoxinas de Fusarium (Zearalenona, deoxinivaleno y aflatoxinas), ya que se encontraron en los niveles de contaminación más altos que otras micotoxinas.
Kemboi et al. (13)	Multi-mycotoxin occurrence in dairy cattle and poultry feeds and feed ingredients from Machakos Town, Kenya	Investigación	En Kenia se detectaron 153 toxinas, que comprenden micotoxinas, toxinas vegetales y bacterianas en las muestras. De las 153 toxinas representan un peligro para la salud animal, sino que las interacciones toxicológicas pueden aumentar la toxicidad de otras micotoxinas reguladas y, por lo tanto, representar un mayor peligro para la salud animal y la salud pública.
Gruber-Dorninger et al. (14)	Global Mycotoxin Occurrence in Feed: A Ten-Year Survey	Revisión	Las condiciones climáticas extremas pueden causar niveles de contaminación por micotoxinas muy superiores a las concentraciones observadas habitualmente en el centro y sur de Europa se han encontrado aumento repentino de zearalenona y deoxinivaleno por fuertes precipitaciones en julio y agosto
Santos Pereira et al. (15)	Prevalent Mycotoxins in Animal Feed: Occurrence and Analytical Methods	Revisión	Las micotoxinas de mayor prevalencia son aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, tricotecenos y zearalenona, las que representan una amenaza para la cadena de suministro de alimentos, la salud animal y, en última instancia, la salud humana. Por ello, las agencias reguladoras establecieron límites para mantener bajo control sus niveles en los alimentos para animales. De esta manera, se asegura de alguna manera la protección de todas las partes que puedan verse afectadas por la presencia de estas toxinas.
Olatoye et al. (16)	Incidence of Aflatoxin B1 in Commercial Poultry Feed and Tissues of Broiler Chickens in Ibadan, Nigeria	Investigación	La presencia de aflatoxina B1 en los alimentos para aves de corral y su posible transferencia a la carne de pollo es de importancia para la seguridad alimentaria y la salud pública. También es una preocupación tanto para la industria avícola como para la alimentaria. Lo que podría ser un riesgo potencial para la salud tanto de los pollos como de los consumidores de pollo y sus productos. La exportación de alimentos para pollos con una concentración de 20 µg/Kg no es aceptable en la mayor parte del mundo, especialmente

Autores	Titulo	Tipo de artículo	Principales contribuciones
Nakavuma et al. (17)	Awareness of mycotoxins and occurrence of aflatoxins in poultry feeds and feed ingredients in selected regions of Uganda	Investigación	Existe bajos niveles de conocimiento sobre las micotoxinas en los alimentos para aves de corral, tanto por parte de los procesadores de alimentos como de los granjeros, ya que la mayoría (> 50%) no conocía estas toxinas, su aparición, los factores predisponentes y los peligros tanto para los animales como para los seres humanos. El estudio reveló además prácticas deficientes de manipulación y almacenamiento de alimentos e ingredientes de alimentos que predisponen a la contaminación por mohos o aflatoxinas.
El-Nabarawy et al. (18)	Mycotoxins contamination levels in broiler feeds and aflatoxin residues in broiler tissues	Investigación	Se detectaron zearalenona y fumonisina en el 56,8% y el 16,2% de las muestras, respectivamente. Además, el 30,6% de las muestras positivas a aflatoxinas y el 91% de las muestras positivas a ocratoxina excedieron el límite permitido en pienso compuesto. Se registró co-contaminación con dos o más tipos de micotoxinas diferentes en el 86,6% de los piensos compuestos e ingredientes de piensos analizados y la contaminación combinada con aflatoxina y ocratoxina se encontró en el 76,8% de las muestras positivas
Hegazy et al. (19)	Problems of Some Mycotoxins in Broiler Farms in Egypt	Investigación	Los pollos suplementados con ración contaminada con aflatoxina en la dosis probada mostraron una tasa de mortalidad (32 y 16 %) mientras que para la ración contaminada con ocratoxina del 28 y 20%. Los grupos alimentados con raciones contaminadas con micotoxina (aflatoxina y ocratoxina) indujeron una disminución significativa en el peso corporal y la ganancia de peso corporal desde la segunda semana hasta la quinta semana después del tratamiento y aumentaron el FCR en los pollos de engorde. Por otro lado, los pollos suplementados con micotoxina (aflatoxina y ocratoxina) mostraron una disminución significativa en la proteína total, la albúmina y la actividad fagocítica heterófila junto con un aumento significativo en AST, ALT, bilirrubina, ácido úrico y creatinina séricas

Autores	Titulo	Tipo de artículo	Principales contribuciones
Bibani et al. (20)	Analyses of mycotoxins in broiler's local and imported feeds	Investigación	El resultado ha demostrado que se detectó aflatoxinas en 16 muestras (76,19%) de las manufacturas iraquíes y 16 muestras (84,21%) de las manufacturas iraníes, en concentraciones que oscilaban entre 1,00 y 23,00 µg/kg y entre 1,00 y 2,00 µg/kg respectivamente. La prevalencia de contaminación por aflatoxinas reveló una asociación significativa entre la manufactura iraquí e iraní, la prevalencia más alta se observó en las muestras iraníes 84,21%, mientras que la más baja en las muestras iraquíes 76,19%. La presencia de aflatoxinas en los alimentos para animales provoca un retraso en el crecimiento de los animales de granja y, en consecuencia, una enorme pérdida económica.
Ghazalah et al. (21)	Effect of nanosilica and bentonite as mycotoxins adsorbent agent in broiler chickens' diet on growth performance and hepatic histopathology	Investigación	Las estrategias de prevención y control de micotoxinas utilizando minerales arcillosos en forma de nanosílice y bentonita. Se pudo concluir que la adición de nanosílice y bentonita mejoró el rendimiento y la salud de los pollos de engorde en niveles de 0,20% y 0,50%, respectivamente. Los hallazgos sugieren que existe la necesidad de realizar más investigaciones en el campo utilizando nanomateriales como agentes adsorbentes para micotoxinas. Los resultados obtenidos se pueden implementar en diferentes áreas, incluida la utilización de cáscaras de arroz como fuente de nanosílice que actúa como agente adsorbente de micotoxinas para mejorar el rendimiento de los pollos de engorde
Aboagye-Nuamah et al. (22)	Prevalence and stakeholders' perception of mycotoxins in the Ghanaian poultry feed value chain	Investigación	El estudio ha identificado alimentos e ingredientes contaminados con micotoxinas en la cadena de alimentos para aves de corral de Ghana. Las muestras de alimentos de los procesadores de alimentos comerciales tienen niveles más bajos de aflatoxina. La mayoría de las muestras de alimentos superaron el umbral de 15 ppb de la Autoridad de Normas de Ghana, el límite máximo permisible de 30 ppb de la FAO/OMS y el límite reglamentario de la UE de 20 ppb para alimentos para aves de corral.
Fernández et al. (23)	Aflatoxin levels in commercial finisher balanced feeds for broilers and pigs from Venezuelan factories	Investigación	En las 11 empresas venezolanas de fabricación de alimentos balanceados muestreadas, durante el año 2010, se detectó la presencia de aflatoxinas en el 100 % del alimento balanceado final para aves. En los niveles de AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2, en alimentos balanceados de finalización para pollos de engorde se encontró que la aflatoxina en mayor concentración siempre fue la B1, considerada la más tóxica

Autores	Título	Tipo de artículo	Principales contribuciones
Aguilar-Rivera et al. (24)	Adición de zinc aminoquelatado en la dieta de pollos de engorde de la línea ROSS®, en la granja Santa María, Departamento de La Libertad, El Salvador	Investigación	La adición de zinc aminoquelatado, para alimentar pollos de engorde de la Línea ROSS® demostró tener efectos positivos sobre los parámetros productivos como consumo de alimento semanal, ganancia de peso, conversión alimenticia y mortalidad. Al adicionar 19.522 g de zinc aminoquelatado por cada 45.45 kg de alimento a base de maíz y soya, se obtienen mejores promedios en cuanto a peso vivo, ganancia de peso y mortalidad.
Kolawole et al. (25)	A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock	Revisión	La aparición de micotoxinas emergentes en alimentos y piensos es un problema creciente en países en desarrollo y desarrollados. Se descubrió que ocho micotoxinas emergentes (nivalenol, eniatinas, beauvericina, diacetoxiscirpenol, ácido fusárico, patulina, moniliformina y esterigmatocistina) eran los EM más frecuentes en piensos y cultivos en todo el mundo. Otros EM como el alternariol, la tentoxina y el ácido micofenólico no se detectaron ni se controlaron en muchos de los estudios evaluados.
Wang y Hogan (26)	Performance effects of feed-borne Fusarium mycotoxins on broiler chickens: Influences of timing and duration of exposure	Investigación	El estudio actual demostró que los pollos de engorde son más sensibles a las micotoxinas de Fusarium en la dieta (principalmente deoxinivalenol) durante las últimas etapas de crecimiento, como lo demuestra la reducción de la ingesta de alimento, la ganancia de peso y la eficiencia alimentaria en comparación con los efectos en las etapas tempranas (período de inicio)
Navale et al. (27)	Aspergillus derived mycotoxins in food and the environment: Prevalence, detection, and toxicity	Revisión	Los factores ambientales juegan un papel importante en el desarrollo de micotoxinas que ingresan a la cadena alimentaria y la interacción de hongos toxigénicos es una preocupación importante. El período continuo y prolongado de exposición a toxinas desarrolla un caos en la vida humana. Además, varias formas de suplementos alimenticios altamente contaminados con toxinas desde la etapa infantil pueden provocar brotes de toxicidad. Sin embargo, no hay datos cuantitativos disponibles para varias micotoxinas y se necesitan más estudios a nivel mundial para conocer el grado exacto de contaminación de micotoxinas en alimentos y piensos.

Esta Tabla 2, se resume las principales micotoxinas encontradas en concentrados para pollos de engorde y sus efectos adversos sobre la salud y productividad de los pollos. La presencia de estas micotoxinas no solo compromete el bienestar animal, sino que también tiene implicaciones económicas significativas para los productores avícolas debido a la reducción en el rendimiento productivo y los costos adicionales de manejo y tratamiento.

Tabla 2. Principales micotoxinas en concentrados para pollo y sus efectos.

Micotoxina	Concentración Crítica	Efectos en Pollos de Engorde
Aflatoxina B1	20 ppb	Causa hepatotoxicidad, disminución del crecimiento, y reducción en la respuesta inmune. Puede provocar hígado graso y afectaciones gastrointestinales.
Deoxinivalenol (DON)	1-5 ppm	Reduce el consumo de alimento y la ganancia de peso, afecta negativamente la salud intestinal y puede inducir vómitos. Se ha asociado con fallos en la vacunación.
Toxina T-2	1 ppm	Produce lesiones orales, reducción del consumo alimentario, retardo en el crecimiento y neurotoxicidad. Afecta el cuadro sanguíneo y puede ser letal en altas concentraciones.
Fumonisina	5-10 ppm	Interfiere con la síntesis de esfingolípidos, lo que puede resultar en problemas respiratorios y de crecimiento. Aunque los pollos son relativamente resistentes, los efectos son significativos.
Zearalenona	0.5-1 ppm	Afecta el sistema reproductivo, causando problemas hormonales y reducción en la fertilidad. También puede inducir hiperestrogenismo en aves jóvenes.
Diacetoxiscirpenol (DAS)	1 ppm	Produce síntomas similares a los de la Toxina T-2, incluyendo lesiones orales y efectos negativos en el crecimiento y salud general del ave.
Ocratoxina A	5-10 ppb	Causa daño renal y afecta el sistema inmunológico, lo que puede llevar a una mayor susceptibilidad a enfermedades infecciosas.

Dentro de los principales hallazgos sobre la prevalencia de micotoxinas en concentrados para pollos de engorde y sus efectos en la salud, basados en los resultados de las investigaciones, son los siguientes:

a) Alta Contaminación: Según la Encuesta Mundial de Micotoxinas de DSM, más del **90%** de las muestras de alimentos para aves analizadas

durante el período 2016-2020 mostraron contaminación con al menos una micotoxina. Esto indica un problema generalizado en la producción avícola.

b) Contaminación Múltiple: En Asia, se reportó que casi el **70%** de las muestras estaban contaminadas con dos o más micotoxinas, lo que resalta la complejidad del problema y el riesgo asociado a la exposición simultánea.

c) **Impacto en el Crecimiento:** La presencia de micotoxinas en las dietas puede reducir el consumo de alimento en un 12% y la ganancia de peso corporal en un 14%, lo que resulta en un deterioro del índice de conversión alimenticia del 7%. Estos efectos son más pronunciados durante las fases finales del ciclo de vida del pollo

d) **Daños Hepáticos:** La aflatoxina y otras micotoxinas han sido asociadas con hepatotoxicidad, manifestándose como hígado graso y aumento del peso hepático en aproximadamente un 15%. Esto implica un mayor costo en nutrientes necesarios para la producción

Alteraciones Inmunológicas: Las micotoxinas pueden interferir con el sistema inmunitario, llevando a fallos en la vacunación y aumentando la susceptibilidad a enfermedades. Esto se debe a su capacidad para modular negativamente la respuesta inmunitaria.

Por lo anteriormente descrito, la prevalencia elevada de micotoxinas en los concentrados para pollos de engorde representa un desafío significativo para la industria avícola. Los efectos adversos sobre el crecimiento, la salud hepática e inmunológica, así como los daños renales, subrayan la necesidad urgente de implementar estrategias efectivas para monitorear y controlar estas toxinas en los alimentos. La inclusión de secuestrantes

de micotoxinas ha mostrado ser una estrategia prometedora para mitigar estos efectos y mejorar el rendimiento productivo

Las principales limitaciones en el estudio de las micotoxinas en concentrados para pollos de engorde son variadas y pueden afectar la calidad de los resultados obtenidos. A continuación, se presentan algunas de las limitaciones más relevantes:

a) **Variabilidad en la Contaminación:** La presencia de micotoxinas puede variar significativamente entre lotes de alimentos, lo que dificulta la obtención de resultados consistentes. Esto se debe a factores como las condiciones climáticas durante el cultivo, almacenamiento y procesamiento de los ingredientes.

b) **Interacción entre Micotoxinas:** Las micotoxinas a menudo coexisten en los alimentos, y sus efectos pueden ser sinérgicos o aditivos. Esto complica la evaluación del riesgo, ya que el impacto combinado puede ser más severo que el de cada micotoxina por separado, lo que no siempre se refleja en los estudios.

c) **Falta de Estándares Uniformes:** Existen discrepancias en los límites máximos permitidos para diferentes micotoxinas entre países y organizaciones, lo que dificulta la comparación de datos y la implementación de medidas de control efectivas.

Métodos Analíticos Limitados: Aunque existen técnicas avanzadas para detectar micotoxinas, no todos los laboratorios tienen acceso a estas tecnologías, lo que puede llevar a subestimaciones o sobreestimaciones en la prevalencia y concentración de micotoxinas en los alimentos.

d) Impacto en el Sistema Inmunológico: Las micotoxinas pueden interferir con la respuesta inmunitaria, lo que no solo afecta la salud de los pollos, sino que también complica la interpretación de estudios sobre su efecto en el rendimiento productivo y la eficacia de las vacunas

Estas limitaciones subrayan la necesidad de un enfoque integral y multidisciplinario para abordar el problema de las micotoxinas en la producción avícola, así como la importancia de desarrollar estándares y métodos analíticos más robustos para mejorar la seguridad alimentaria.

Discusión

La presencia de micotoxinas en las dietas ha demostrado reducir el consumo de alimento en un **12%** y la ganancia de peso corporal en un **14%**, lo que resulta en un deterioro del índice de conversión alimenticia del **7%**. Estos efectos son más evidentes durante las fases finales del ciclo de vida del pollo, lo que subraya la importancia de controlar las micotoxinas para maximizar el

rendimiento productivo. Por su parte, Macías-Flores et al. (6) encontraron A partir de la segunda semana, se notaron aves con plumaje erizado y una evidente diferencia en su tamaño. Se observaron aves aletargadas, con problemas en la marcha, dificultad para mantenerse de pie y caminar, así como ataxia y temblores. Algunas de las aves que estaban en el suelo movían sus extremidades de manera similar a como se pedalea una bicicleta, mientras que otras se encontraban en posición decúbito dorsal o lateral, con las piernas abiertas como si estuvieran realizando un split de ballet.

De ahí que, los signos clínicos provocados por las micotoxinas varían según su origen fúngico o precursor, el tipo de micotoxina y la duración de la exposición. Los síntomas neurológicos observados en las aves están relacionados con la alteración de su sistema nervioso central, que inhibe la enzima ceramida sintasa, lo que a su vez provoca alteraciones en la biosíntesis de ceramida, esfingomielina y glicoesfingolípidos. La falta de esfingolípidos afecta el crecimiento, la diferenciación celular y la señalización tanto intra como intercelular en el tejido nervioso (2).

Además, se ha observado un aumento del **15%** en el peso del hígado debido a la acumulación de grasa, lo que implica un mayor costo en nutrientes necesarios para mantener la salud del ave. Este daño hepático puede resultar en una menor eficiencia nutricional y aumentar los costos de producción. Las micotoxinas

afectan negativamente el sistema inmunitario, lo que puede llevar a fallos en la vacunación y aumentar la susceptibilidad a enfermedades. La modulación de la respuesta inmunitaria es uno de los principales mecanismos por los cuales las micotoxinas impactan la salud aviar (13).

La inclusión de secuestrantes como Mycofix® Plus ha mostrado mejorar significativamente los parámetros productivos y reducir los efectos adversos asociados con las micotoxinas. En estudios, se observó un aumento en el consumo de alimento y una mejora en el índice de conversión alimenticia al utilizar estos aditivos. Aunque ajustar los niveles nutricionales puede ofrecer alivio temporal, no resuelve el problema subyacente. Por lo tanto, se sugiere que el uso de desactivadores es una estrategia más efectiva a largo plazo para mitigar las pérdidas nutricionales sin depender únicamente de cambios dietéticos (24).

Es por ello que, el uso de secuestrantes de micotoxinas en la industria avícola es una práctica común, ya que las aves son especialmente sensibles a estas toxinas y los secuestrantes ayudan a reducir su absorción intestinal (8). Sin embargo, la eficacia de los secuestrantes puede variar según el tipo y las características de las micotoxinas. Una alternativa para disminuir la cantidad de secuestrantes necesarios son los prebióticos. En el presente estudio, se observó que la fibra de nopal, administrada a una dosis de 400 mg/kg de alimento, redujo ligeramente

los efectos de las micotoxinas. Los prebióticos estimulan la proliferación de bacterias beneficiosas en el tracto gastrointestinal, lo que permite a estos microorganismos degradar parte de las micotoxinas o modificar su modo de acción, neutralizándolas o transformándolas en sustancias menos tóxicas, similar a lo que hacen los biotransformadores. Sin embargo, la respuesta clínica puede variar dependiendo del tipo y la cantidad de micotoxina ingerida (22).

CONCLUSIÓN

Dentro de las principales micotoxinas encontradas en alimentos para pollos de engorde tenemos Aflatoxinas, Fumonisin y Tricotecenos (T-2 y DON), las que provocan, afectan severamente el hígado de las aves, provocando daños tisulares y reducción en la tasa de crecimiento; causan problemas como discondroplasia. Se ha documentado que niveles altos pueden afectar negativamente el desarrollo óseo y reportes que provocan un deterioro del índice de conversión alimenticia y afectar la salud intestinal, aumentando la susceptibilidad a enfermedades.

La prevalencia elevada de micotoxinas en concentrados para pollos de engorde representa un desafío significativo para la industria avícola. Los efectos adversos sobre el crecimiento, la salud hepática e inmunológica subrayan la necesidad urgente de implementar medidas efectivas para monitorear y controlar estas toxinas. La

combinación de estrategias preventivas, como el uso de secuestrantes y ajustes nutricionales adecuados, es esencial para proteger la salud aviar y garantizar una producción sostenible.

CONFLICTO DE INTERESES. No existen conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FAO. Programa conjunto fao/oms sobre normas Alimentarias. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Utrecht: CODEX. 2023. <https://goo.su/dxc4>
2. Okasha H, Song B, Song Z. Hidden hazards revealed: Mycotoxins and their masked forms in poultry. *Toxins*. 2014; 16(3), 137. <https://lc.cx/eiB86g>
3. Sánchez E, Villagrán Z, Anaya L. Micotoxinas en alimentos, un peligro invisible. *Revista de Divulgación Científica iBIO*. 2023. 5(2), 1-7. <https://lc.cx/uZTi1s>
4. Jalilzadeh-Amin G, Dalir-Naghadeh B, Ahmadnejad-Asl-Gavvani M, Fallah A, Mousavi A. Prevalence and Concentration of Mycotoxins in Animal Feed in the Middle East and North Africa (MENA): A Systematic Review and Meta-Analysis. *Toxins*. 2023. 15, 214. <https://lc.cx/b5SewJ>
5. Zabiulla I, Malathi V, Swamy H, Naik J, Pineda L, Han Y. The Efficacy of a Smectite-Based Mycotoxin Binder in Reducing Aflatoxin B1 Toxicity on Performance, Health and Histopathology of Broiler Chickens. *Toxins*. 2021. 13, 856. <https://lc.cx/PWGQT5>
6. Macías-Flores M, Gutiérrez-Arenas D, Sánchez-Chiprés D, García-Munguía M, Martínez-González S, Avila-Ramos F. Micotoxicosis causada por la combinación de aflatoxina y fumonisina en pollo de engorda: caso clínico. *Abanico Veterinario*. 2023. 13, e2023-9. <https://lc.cx/oTmxZO>
7. Rojas J, Chacón C, Castañeda L, Díaz T. Cuantificación de aflatoxinas carcinogénicas en alimentos no procesados y su implicación para el consumo en Lima, Perú. *Nutrición Hospitalaria*. 2021. 38(1):146-151. <https://lc.cx/c0v1wi>
8. Ochieng P, Scippo M, Kemboi D, Croubels S, Okoth S, Kang'ethe E, et al. Mycotoxins in Poultry Feed and Feed Ingredients from Sub-Saharan Africa and Their Impact on the Production of Broiler and Layer Chickens: A Review. *Toxins*. 2021. 13, 633. <https://lc.cx/swISf>
9. Kemboi D, Ochieng P, Antonissen G, Croubels S, Scippo M, Okoth S, Gathumbi, J. Multi-mycotoxin occurrence in dairy cattle and poultry feeds and feed ingredients from Machakos Town, Kenya. *Toxins*. 2020. 12(12), 762. <https://lc.cx/jxMWdV>
10. Thuita F, Tuitoek J, King'ori A, Obonyo M. Prevalence of aflatoxins contamination in commercial broiler feeds in Kenya. *Livestock Research for Rural Development*. 2019. 31(1). <https://lc.cx/aKUCZ7>
11. Kolawole O, Graham A, Donaldson C, Owens B, Abia W A, Meneely J, Elliott C. Low doses of mycotoxin mixtures below EU regulatory limits can negatively affect the performance of broiler chickens: A longitudinal study. *Toxins*. 2020. 12(7), 433. <https://lc.cx/gvcO36>
12. Mokubedi S, Phoku J, Changwa R, Gbashi S, Njobeh P. Analysis of mycotoxins contamination in poultry feeds manufactured in selected provinces of South Africa using UHPLC-MS/MS. *Toxins*. 2019. 11(8), 452. <https://lc.cx/hr1idL>
13. Kemboi D, Ochieng P, Antonissen G, Croubels S, Scippo M, Okoth S, Gathumbi J. Multi-mycotoxin occurrence in dairy cattle and poultry feeds and feed ingredients from Machakos Town, Kenya. *Toxins*. 2020. 12(12), 762. <https://lc.cx/lv5-Kg>
14. Gruber-Dorninger C, Jenkins T, Schatzmayr G. Global mycotoxin occurrence in feed: A ten-year survey. *Toxins*. 2019. 11(7), 375. <https://lc.cx/A9MiZL>
15. Santos C, Cunha S, Fernandes J. Prevalent mycotoxins in animal feed: Occurrence and analytical methods. *Toxins*. 2019. 11(5), 290. <https://lc.cx/67wZE1>
16. Olatoye O, Aiyedun J, Oludairo O. Incidence of Aflatoxin B1 in Commercial Poultry Feed and Tissues of Broiler Chickens in Ibadan, Nigeria. *Sahel*

Journal of Veterinary Sciences. 2020. 17(2), 13-18. <https://lc.cx/7N0pdz>

17. Nakavuma J, Kirabo A, Bogere P, Nabulime M, Kaaya A, Gnonlonfin B. Awareness of mycotoxins and occurrence of aflatoxins in poultry feeds and feed ingredients in selected regions of Uganda. International Journal of Food Contamination. 2020. 7, 1-10. <https://lc.cx/KgiTke>

18. El-Nabarawy A, Ismael E, Shaaban K, El Basuni S, Batikh M, Shakal M. Mycotoxins contamination levels in broiler feeds and aflatoxin residues in broiler tissues. Journal of World's Poultry Research, 2020. 10(2S), 133-144. <https://lc.cx/lhpvgB>

19. Hegazy A, El Sisi M, El Bendari E, Abd-Allah E, Toliba H. Problems of Some Mycotoxins in Broiler Farms in Egypt. Kafrelsheikh Veterinary Medical Journal. 2022. 20(1), 25-32. <https://lc.cx/oScTzX>

20. Bibani N, Khidhir Z, Shaker A, Kirkuki S, Abdulateef S. Analyses of mycotoxins in broiler's local and imported feeds. Iraqi journal of veterinary sciences. 2019. 33(2), 267-271. <https://lc.cx/2bbBVM>

21. Ghazalah A, Abd-Elsamee M, Moustafa K, Khattab M, Rehan A. Effect of nanosilica and bentonite as mycotoxins adsorbent agent in broiler chickens' diet on growth performance and hepatic histopathology. Animals. 2021. 11(7), 2129. <https://lc.cx/RUgd8c>

22. Aboagye-Nuamah F, Kwoseh C, Maier D. Prevalence and stakeholders' perception of mycotoxins in the Ghanaian poultry feed value chain. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 2023. 23(2), 22354-22375. <https://lc.cx/OCciHI>

23. Fernández E, Riera-Betancourt J, Briceño-Ferreira E, Comerma-Steffensen S, Martínez-Camacaro E, Arrieta-Mendoza D. Aflatoxin levels in commercial finisher balanced feeds for broilers and pigs from Venezuelan factories. Revista Científica de la Facultad de Veterinaria. 2022. 32. <https://lc.cx/POL2rx>

24. Aguilar-Rivera A, Núñez-Vásquez E, Alas-García E, Alvarado-Deras H. Adición de zinc aminoquelatado en la dieta de pollos de engorde de la línea ROSS®, en la granja Santa María, Departamento de La Libertad, El Salvador. Revista Agrociencia. 2023. 6(23), 17-26. <https://lc.cx/v5WoiB>

25. Kolawole O, Siri-Anusornsak W, Petchkongkaew A, Elliott C. A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock. Emerging Contaminants. 2024. 100305. <https://lc.cx/kbmya3>

26. Wang A, Hogan N. Performance effects of feed-borne Fusarium mycotoxins on broiler chickens: Influences of timing and duration of exposure. Animal Nutrition. 2019. 5(1), 32-40. <https://lc.cx/1PD4hO>

27. Navale V, Vamkudoth K, Ajmera S, Dhuri V. (2021). Aspergillus derived mycotoxins in food and the environment: Prevalence, detection, and toxicity. Toxicology reports. 2021. 8, 1008-1030. <https://lc.cx/5AWraQ>

ACERCA DE LOS AUTORES

Carlos Emilio Ballén Guerrero. Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Cursos y congresos; prácticas pre-profesionales; experiencia práctica en el manejo de especies menores en una clínica y de especies mayores en una granja porcina, Ecuador.

Jonathan Daniel Oña Loor. Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Participación en cursos y congresos; prácticas pre-profesionales en el manejo de especies menores en una clínica y de especies mayores en una granja porcina, Ecuador.

César Aníbal Robalino Briones. Médico Veterinario Zootecnista, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Magister en Docencia e Investigación Educativa, Universidad Técnica de Manabí. Doctor en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Participación en seminarios y congresos nacionales e internacionales, Ecuador.



Tendencias emergentes en el aprendizaje de la botánica: Revisión sistemática

Emerging trends in botany learning: A systematic review

Tendências emergentes na aprendizagem de botânica: revisão sistemática

ARTÍCULO REVISIÓN



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.342>

Julio Cesar Matos Lizana
jmatosli1391@ucvvirtual.edu.pe

Nancy Ñañez Javier
correodelautor@investigación.com

Roxana Milagros Flores Cisneros
rfloresci@ucvvirtual.edu.pe

Janett Margarita Flores Reyes

Universidad César Vallejo. Lima, Perú

Artículo recibido: 7 de octubre 2024 / Arbitrado: 11 de noviembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Las plantas, seres fundamentales para la vida en la Tierra, han sido objeto de estudio de la botánica desde tiempos ancestrales. El **objetivo** es describir las tendencias emergentes en el aprendizaje de la botánica a través de una revisión sistemática. Con enfoque cualitativo, se realizaron búsquedas en diversas bases de datos como Dialnet, Scielo, EBSCO y Scopus, utilizando la estrategia PICO y siguiendo el protocolo PRISMA. Se incluyeron artículos originales publicados en los últimos 5 años a partir del año 2019, se excluyeron trabajos como resúmenes, libros, artículos de revisión y cartas al editor que no se relacionaban con la pregunta de investigación. De un total de 23 publicaciones evaluadas, se descartaron 15, lo que dejó 8 publicaciones para la revisión. El 37.5% de estas publicaciones se realizaron en el año 2022. Las tendencias emergentes en el aprendizaje de la botánica se observaron principalmente en países europeos. En América del Sur, se destaca Chile como el único país que enfatiza en esta temática. Entre las aplicaciones tecnológicas encontradas, se mencionó el uso de la plataforma Kahoot, y en cuanto a las metodologías de enseñanza innovadoras, se resaltaron el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y el Aula Invertida. En **conclusión**, las tendencias emergentes en el aprendizaje de la botánica están influenciadas por el uso de tecnologías educativas y estrategias metodológicas innovadoras. Estas tendencias son más prominentes en países europeos, y Chile como el único país de América del Sur que enfatiza en esta temática.

Palabras clave: Aprendizaje; Botánica; Educacional; Innovación; Metodología

ABSTRACT

Plants, beings fundamental to life on Earth, have been the subject of botany study since ancient times. The **objective** is to describe emerging trends in botany learning through a systematic review. With a qualitative approach, searches were carried out in various databases such as Dialnet, Scielo, EBSCO and Scopus, using the PICO strategy and following the PRISMA protocol. Original articles published in the last 5 years from 2019 were included, oncl such as abstracts, books, review articles and letters to the editor that were not related to the research question were excluded. Of a total of 23 publications evaluated, 15 were discarded, leaving 8 publications for review. 37.5% of these publications were made in 2022. Emerging trends in botany learning were observed mainly in European countries. In South America, Chile stands out as the only country that emphasizes this topic. Among the technological applications found, the use of the Kahoot platform was mentioned, and as for innovative teaching methodologies, Problem-Based Learning (PBL) and the Flipped Classroom were highlighted. In **conclusion**, emerging trends in botany learning are influenced by the use of educational technologies and innovative methodological strategies. These trends are more prominent in European countries, and Chile is the only country in South America that emphasizes this topic.

Key words: Learning; Botany; Educational; Innovation; Methodology

RESUMO

As plantas, seres fundamentais para a vida na Terra, são objeto de estudo botânico desde a antiguidade. O **objetivo** é descrever tendências emergentes na aprendizagem de botânica através de uma revisão sistemática. Com abordagem qualitativa, foram realizadas buscas em diversas bases de dados como Dialnet, Scielo, EBSCO e Scopus, utilizando a estratégia PICO e seguindo o protocolo PRISMA. Foram incluídos artigos originais publicados nos últimos 5 anos a partir de 2019; foram excluídos trabalhos como resumos, livros, artigos de revisão e cartas ao editor que não tivessem relação com a questão de pesquisa. De um total de 23 publicações avaliadas, 15 foram descartadas, restando 8 publicações para revisão. 37,5% destas publicações foram feitas no ano de 2022. As tendências emergentes na aprendizagem de botânica foram observadas principalmente em países europeus. Na América do Sul, o Chile se destaca como o único país que dá ênfase a essa questão. Dentre as aplicações tecnológicas encontradas, foi citada a utilização da plataforma Kahoot e, em termos de metodologias de ensino inovadoras, destacaram-se a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e a Sala de Aula Invertida. **Concluindo**, as tendências emergentes na aprendizagem da botânica são influenciadas pelo uso de tecnologias educacionais e estratégias metodológicas inovadoras. Estas tendências são mais proeminentes nos países europeus, e o Chile é o único país da América do Sul que enfatiza esta questão.

Palavras-chave: Aprendizagem; Botânica; Educacional; Inovação; Metodologia

INTRODUCCIÓN

La botánica, ciencia que estudia las plantas, ha sido fundamental para comprender los procesos ecológicos y evolutivos de nuestro planeta. Sin embargo, a pesar de su relevancia, el interés por esta disciplina ha fluctuado a lo largo de la historia. En la actualidad, ante los desafíos globales como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, la enseñanza de la botánica ha adquirido una nueva relevancia. Diversos organismos internacionales, como la UNESCO y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), han destacado la importancia de fomentar una educación científica que permita a las futuras generaciones comprender y abordar estos problemas ambientales (1, 2).

En el ámbito educativo, ha crecido la preocupación por la dificultad que tienen los estudiantes para adquirir los conocimientos esperados en las asignaturas como la botánica. Esto puede deberse a diversos factores como la falta de recursos didácticos adecuados y a la percepción que tienen de la botánica como un contenido complejo y abstracto, lo que puede desmotivar a los estudiantes. Además, la enseñanza tradicional se caracteriza por enfoques expositivos y una limitada vinculación con la vida cotidiana, lo que dificulta que los estudiantes establezcan las debidas conexiones con los contenidos programados. En la actualidad es una necesidad lograr un aprendizaje vinculado con la vida, con la práctica social y, en especial, con

el entorno social y productivo del territorio donde se encuentra la escuela, lo que constituye hoy uno de los desafíos en las universidades (3).

De igual forma, se destaca que, las dificultades en el aprendizaje de la botánica varían según el nivel educativo y el contexto de las instituciones. En la formación de biólogos o ingenieros agrónomos por ejemplo la demanda hacia los conocimientos botánicos es mayor y los estudiantes suelen estar más motivados. Sin embargo, en otros niveles de la educación, como en la secundaria, los desafíos se pronuncian debido a los factores como la cantidad de horas dedicadas a la asignatura, la practicidad y la competencia con otras materias consideradas más atractivas.

Cabe destacar, el creciente desinterés del alumnado por las materias científicas, afectando así mismo al campo de la botánica (4), y por ello, se enfrenta el desafío de un tiempo limitado en la currícula, lo cual restringe las oportunidades de los estudiantes para adquirir los conocimientos necesarios en este campo científico. Además, se observa que los estudiantes suelen prestar menos atención a las plantas en comparación con los animales al aprender sobre estas disciplinas (5).

En las últimas décadas, la botánica dejó de ser importante, y en muchos casos, fue desplegada en las currícula universitarias, además, desde la escuela se ha evidenciado una desconexión con la naturaleza, lo que limita más aun los aprendizajes relacionados con las plantas y la biodiversidad (6).

Además, los avances tecnológicos son cada vez más disruptivos y en la actualidad los procesos educativos están sufriendo de adaptación tecnológica transformando radicalmente los entornos educativos demandando una adaptación constante por parte de los docentes y estudiantes. La incorporación de tecnologías en los procesos de enseñanza-aprendizaje es cada vez más frecuente, y la gamificación se presenta como una estrategia prometedora. Esta metodología, que consiste en aplicar elementos propios de los juegos a contextos educativos, tiene el potencial de hacer que el aprendizaje sea más atractivo y motivador para los estudiantes (7). Sin embargo, es fundamental destacar que la gamificación no se reduce a la simple introducción de elementos lúdicos en el aula. Para que sea efectiva, debe estar diseñada de manera personalizada, considerando las características y necesidades de los estudiantes, así como los objetivos de aprendizaje específicos.

Ante este impacto, existe la necesidad de que los docentes también se actualicen e innoven en sus prácticas pedagógicas, mediante la inclusión de recursos o estrategias didácticas como la gamificación, dada su contribución no solo en los aprendizajes de los estudiantes, sino también, porque entre sus ventajas beneficia la comunicación, el trabajo en equipo, mejora la creatividad (8).

La pregunta de investigación se formuló bajo la estructura PICO, para conocer ¿cuáles son las tendencias emergentes en el aprendizaje

de la botánica en estudiantes de instituto superior técnico y universitarios? ¿Cuáles son los enfoques pedagógicos innovadores que se están implementando en la enseñanza de la botánica a nivel mundial?

¿Qué tecnologías y metodologías están siendo utilizadas para facilitar el aprendizaje de conceptos botánicos? A partir de lo expuesto, se planteó como objetivo, describir las tendencias emergentes en el aprendizaje de la botánica.

METODOLOGÍA

La presente investigación es de enfoque cualitativo, y se abordó desde una revisión sistemática. Este tipo de estudios se caracteriza por proporcionar un enfoque estructurado, organizado y transparente, con el propósito de recopilar información mediante la revisión de artículos sobre un tema específico, basada en la pregunta de investigación. Para llevar a cabo esta revisión, se siguió un protocolo establecido, evaluando el nivel de evidencia y calidad de cada publicación, y se aplicaron criterios de elegibilidad, como mencionan

En cuanto a los criterios de inclusión, se han considerado analizar las publicaciones de las principales fuentes o repositorios como Scielo, Redalyc, PROQUEST, EBSCO HOST, Dialnet, además de bases de datos como Scopus y Web Of Science, además, se consideró los artículos de investigación originales empíricos, con acceso gratuito, publicados en los últimos 5 años, a partir

del 2019, tanto en idioma inglés como en español. Por lo que respecta, a los criterios de exclusión, se consideraron todo tipo de trabajo como resúmenes, libros, artículos de revisión, cartas al editor, y otros, de igual manera, se excluyeron artículos que no respondieron a las preguntas de investigación, o que no aporten con el tema de estudio.

Para definir el ámbito de la presente revisión sistemática, se describió cada uno de los elementos PICO que ayudaron con el proceso de analizar los artículos y/o publicaciones académicas referidas al tema de investigación. En ese sentido se detalla el acrónimo de la siguiente forma

Tabla 1. Estructura de la estrategia PICO.

PICO	
(P) Población	Estudiantes del curso de botánica
(I) Intervención	Tendencias emergentes en la botánica. De contenido de enseñanza de aprendizaje de evaluación
(C) Comparación	No Aplica
(O) Resultados	Aprendizaje de la botánica
(C) Contexto –	Educación básica y superior

Para realizar la búsqueda de información se recurrió a Bases de datos de revistas indexadas como SCOPUS, Web Of Science, Scielo, Redalyc considerando en la búsqueda las palabras clave

Tabla 2. Ecuaciones de búsqueda para el tema tendencias emergentes en el aprendizaje de la botánica:

SCOPUS:

("emerging trends" OR "new trends")
And ("botany" OR "plant science")
And ("education" OR "teaching") And
("secondary education") and ("higher education")

("innovative teaching methods") AND
("botany" OR "plant science")

"gamification" AND "botany" AND
"education"

Web of Science:

TS=("emerging trends" OR "new trends") AND TS=("botany" OR "plant science") And TS=("education" OR "teaching") And ("secondary education") and ("higher education")

TS=("innovative teaching methods")
And TS=("botany" OR "plant science")

TS="gamification" AND TS="botany"
And TS="education"

SciELO:

(tendencias emergentes OR nuevas tendencias) And (botánica OR ciencia de las plantas) AND (educación OR enseñanza) And (educación secundaria) and (educación superior)

(métodos de enseñanza innovadores)
And (botánica OR ciencia de las plantas)

gamificación And botánica And educación

(métodos de enseñanza innovadores)
AND (botánica OR ciencia de las plantas)

gamificación AND botánica AND educación

La Tabla 2 a continuación, presenta un listado de términos clave en español e inglés, junto con ejemplos de tendencias emergentes en la enseñanza de la botánica

Redalyc:

(tendencias emergentes OR nuevas tendencias) AND (botánica OR ciencia de las plantas) AND (educación OR enseñanza) And (educación secundaria) and (educación superior)

Tabla 2. Palabras clave.

En español	En inglés
Tendencias emergentes	Emerging trends
Aprendizaje	Learning
Botánica	Botany
Enseñanza de la botánica	Teaching botany
Estrategias de enseñanza	Teaching strategies
Innovación educativa	Educational innovation
Enfoques pedagógicos	Pedagogical approaches
Aplicaciones tecnológicas	Technological applications
Metodologías	Methodologies

El proceso de búsqueda evaluación y selección de las publicaciones se realizó examinando que los artículos cumplieran los criterios de esta revisión, de elegibilidad y abordaran directamente la pregunta

de investigación planteada en este trabajo, mediante un proceso de selección de artículos (9). Tal como aparece en la Figura 1 el esquema PRISMA.

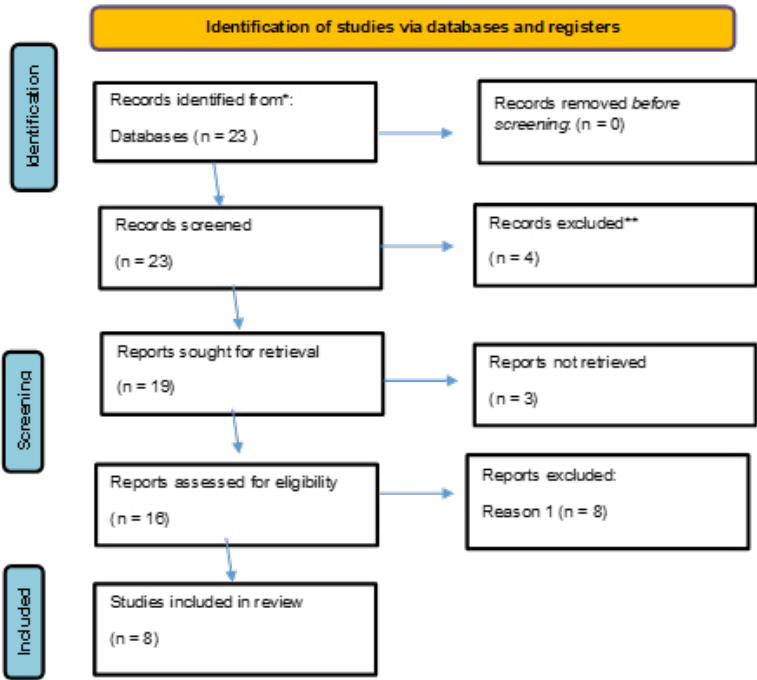


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados del estudio cuyo objetivo fue describir las tendencias emergentes en la enseñanza y aprendizaje de la botánica. A través de una revisión sistemática, se

identifican los enfoques pedagógicos innovadores, las tecnologías y metodologías empleadas para promover un aprendizaje significativo y atractivo de esta disciplina, Tabla 3.

Tabla 3. Declaración de artículos encontrados.

Fuente	Revisados	Descartados	Incluidos
Dialnet	5	2	3
Scielo	13	11	2
EBSCO	2	0	2
Scopus	3	2	1
Total	23	13	8

De acuerdo con la Tabla 3, del total de 23 artículos identificados en las diferentes fuentes de base de datos, se descartaron 13 publicaciones, y se redujo la muestra a sólo 8 publicaciones,

con lo que se efectuó la revisión sistemática de la literatura. En la Tabla 4, a continuación, publicaciones por año.

Tabla 4. Cantidad de publicaciones por año.

Año	Número	Porcentaje
2019	1	12.50%
2021	2	25.00%
2022	3	37.50%
2023	2	25.00%
Total	8	100.00%

En la Tabla 4, se observa que el 37.5% de artículos se realizaron en el 2022, el 25.0% se publicaron en el 2023, el 25.0% en el 2021 y

el 12.5% en el 2019. Se observa que la mayor cantidad de publicaciones se han realizado en los últimos años. Tabla 5, a continuación.

Tabla 5. Reporte de Información bibliométrica.

N	Autor(es)	Titulo	Año	País de la revista	Título de la revista	Fuente
1	Creagh, et al., (3)	El aprendizaje contextualizado de la Botánica I en la Educación Superior	2022	Cuba	ROCA. Revista Científico-Educacional	EBSCO
2	Aragón (5)	El aprendizaje basado en proyectos en el marco de la asignatura de botánica aplicada.	2023	España	ReiDoCrea: Revista electrónica de investigación y docencia creativa	Dialnet
3	Rivero (6)	Impacto de tres modelos de enseñanza de la asignatura botánica general sobre el rendimiento académico de los estudiantes	2019	Chile	Formación universitaria	Scielo
4	Navarro et al (7)	Gamificación educativa en el laboratorio de biología celular.	2022	Chile	International Journal of Morphology	EBSCO
5	Foresto (9)	¿Cómo aprender botánica sin morir en el intento? Una aproximación para docentes, estudiantes y aprendices informales	2021	Nicaragua	Revista Universitaria del Caribe	Scielo
6	Gutiérrez, et al., (10)	Enseñanza de la Botánica en un contexto local: una propuesta didáctica basada en el naranjo morisco de Hornachos	2021	España	Innovaciones docentes en tiempos de pandemia.	Dialnet
7	Foresto, (11)	Más allá del aula: los jardines botánicos como recursos educativos y contextos de aprendizaje	2022	Nicaragua	Revista Universitaria del Caribe	Dialnet
8	Bacon, (12)	Investigating student experiences of botanical field work using a semi-immersive virtual botanical fieldtrip	2023	Inglaterra	Journal of Biological Education	Scopus

Según la Tabla 5, se observa que las publicaciones sobre las tendencias emergentes en el aprendizaje de la botánica están predominantemente presentes en países europeos, lo cual refleja una mayor importancia otorgada a este campo de estudio. En América del Sur, solo Chile se destaca por su énfasis en esta temática, mientras que en Europa, España

e Inglaterra también son países que demuestran un interés significativo en este ámbito. Además, es importante señalar que no todas las revistas especializadas en este tema, sino que se encuentran en revistas que abarcan áreas más amplias como educación y ciencias sociales, lo que indica un enfoque más diversificado. Ver tabla 6, aplicaciones tecnológicas

Tabla 6. Aplicaciones tecnológicas en la enseñanza de la botánica.

N°	Aplicaciones tecnológicas	Aporte	Población	Autor y año
1	Kahoot	Contribuye aumento de la motivación	135 estudiantes universitarios	Navarro et al 2022 (7)
2	Uso de aplicaciones App PlantNet Ihuerting y Plantit	Resalta la importancia de las aplicaciones para facilitar el acceso de los estudiantes a conocimientos botánicos que antes generaban mayor interés.	Estudiantes.	Foresto 2021, (9)
3	Uso de H5P para Excursión botánica virtual semiinmersiva	Brinda a los estudiantes la oportunidad de sumergirse en experiencias de aprendizaje prácticas y significativas en diversos hábitats y ecosistemas de manera virtual. Al diseñar cursos de campo que permitan a los estudiantes explorar y estudiar la botánica en diferentes entornos naturales alrededor del mundo, se fomenta un aprendizaje más enriquecedor y completo.	Estudiantes	Bacon 2023, (12)

En la Tabla 6, se observan las aplicaciones tecnológicas empleadas para el aprendizaje de la botánica, destacando el uso del Kahoot,

aplicaciones App, PlantNet Ihuerting y Plantit; y la botánica inmersiva. Metodologías de la enseñanza de la botánica, a continuación, en la Tabla 7.

Tabla 7. Metodologías innovadoras en la enseñanza de la botánica.

N°	Enfoques utilizados en la enseñanza y aprendizaje de la botánica	Aporte	Población	Autor y año
1	Metodología ABP	Contribuye al desarrollo cognitivo, afectivo y social de los estudiantes	Estudiantes de secundaria	Aragón 2023, (5)
2	Aula invertida	Contribuye significativamente con el aprendizaje y rendimiento académico	29 estudiantes universitarios	Rivero 2019 (6)
3	Enfoque basado en contenidos e incorporación de actividades	Para lograr un aprendizaje de la botánica, aplica una innovación didáctica en base a una variedad de naranjos.	Estudiantes de secundaria	Gutiérrez et al. 2021, (10)
4	Aprendizaje más allá del aula	Se propone gamificación: salir del entorno tradicional del aula para explorar y aprender en contextos diferentes, como los Jardines Botánicos. Esto permite a los estudiantes tener experiencias de aprendizaje más enriquecedoras y significativas al interactuar directamente con el entorno natural y las plantas.	31 estudiantes universitarios	Foresto 2022, (11)
5	Aprendizaje situado contextualizado	Reconoce la importancia de la dimensión social en la construcción del conocimiento y valora la relevancia de los saberes significativos. En este tipo de aprendizaje, se considera fundamental tener en cuenta el entorno, el contexto y el medio sociohistórico y cultural en el cual se desarrolla el proceso de aprendizaje.	Estudiantes universitarios	Creagh et al. 2022, (3)

En la Tabla 7, se muestra una variedad de enfoques utilizados en la enseñanza y el aprendizaje de la botánica, tanto para estudiantes de secundaria como de educación superior. Una de las metodologías destacadas es el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), la cual se aplica específicamente al estudio de la botánica. Y el aprendizaje situado contextualizado este enfoque enfatiza la importancia del entorno, el contexto y

el medio sociohistórico y cultural en el proceso de aprendizaje.

DISCUSIÓN

De acuerdo con el estudio realizado por Navarro (7), que involucró a 135 estudiantes universitarios, se encontró que la utilización de Kahoot como herramienta de gamificación contribuyó a incrementar la motivación de los

estudiantes en el aprendizaje de la botánica. Kahoot permite la creación de cuestionarios interactivos y competitivos, lo que genera un mayor interés y participación activa de los estudiantes. Además, la retroalimentación inmediata proporcionada por Kahoot (9) fomenta el compromiso y la autoevaluación de los estudiantes. Por otro lado, Foresto resalta la importancia de herramientas como PlantNet, Ihuerting y Plantit para acercar los conocimientos botánicos a los estudiantes y despertar su motivación. Estas herramientas ofrecen una experiencia más práctica y cercana a la realidad, posiblemente mediadas por tecnologías como aplicaciones móviles, lo que genera un mayor interés y motivación hacia el estudio de la botánica.

En cuanto al estudio realizado por Bacon (12), se destaca el uso de la aplicación H5P para crear una excursión botánica virtual semiinmersiva. Este recurso permite a los estudiantes sumergirse en experiencias de aprendizaje prácticas y significativas en diversos hábitats y ecosistemas de manera virtual. Durante el tiempo de confinamiento, esta herramienta virtual se convirtió en un apoyo importante, aunque los estudiantes mostraban una mayor preferencia por el trabajo de campo. El recurso virtual diseñado por Bacon se basa en el estudio de las plantas, grabando imágenes en 360 grados para que los estudiantes puedan investigar las características de las plantas al moverlas en esa perspectiva.

Por otro lado, Ortiz (13), destaca la importancia del uso de metodologías de enseñanza de la botánica, como la implementación del aprendizaje basado en proyectos, la gamificación y el uso de tecnologías inmersivas puede ser altamente beneficioso. Estas metodologías promueven la participación activa de los estudiantes, el desarrollo de habilidades del siglo XXI y una mayor comprensión de los conceptos botánicos.

Al implementar metodologías innovadoras en la enseñanza de la botánica, diversos estudios proporcionan evidencia sobre enfoques efectivos. Según el estudio realizado por Aragón (5), el uso de la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en la enseñanza de la botánica beneficia el desarrollo cognitivo, afectivo y social de los estudiantes de secundaria. Esta metodología involucra a los estudiantes en proyectos o investigaciones relacionadas con la botánica, lo que les permite aplicar activamente los conocimientos adquiridos, desarrollar habilidades de investigación y resolución de problemas, y colaborar en equipo.

Por otra parte, Rivero (6) destaca el empleo del enfoque de Aula Invertida, el cual contribuye significativamente al aprendizaje de la botánica. Esta metodología permite que los estudiantes adquieran los conocimientos teóricos fuera del aula, a través de materiales de aprendizaje previos, y luego utilicen el tiempo en el aula para actividades prácticas y de aplicación, como la observación y el análisis de plantas, es decir, una

de las características de esta metodología es que permite la participación activa. Se propone una experiencia de aprendizaje contextualizado que se caracteriza por un enfoque más activo, utilizando la innovación didáctica a través del uso de una variedad de naranjos para el aprendizaje de la botánica.

En la misma línea, Foresto (9) sugiere una experiencia de aprendizaje diferente a la tradicional, mediante la exploración y el aprendizaje en entornos distintos, como visitas a jardines botánicos. Esta práctica facilita la construcción de conocimientos a través de experiencias enriquecedoras y significativas, al permitir la interacción de los estudiantes con la naturaleza y fomentar un aprendizaje positivo de la botánica. Además, Creagh et al. (3) señalan que existen diversas perspectivas curriculares aplicadas por investigadores, quienes han utilizado concepciones pedagógicas, metodologías, estrategias y alternativas para mejorar la enseñanza de la botánica. Finalmente, aunque se han obtenido resultados significativos, se reconoce que aún existen desafíos por abordar en este campo.

CONCLUSIÓN

En relación a los resultados del estudio, se destacan varias herramientas y metodologías innovadoras que pueden mejorar la enseñanza de la botánica y aumentar la motivación de los estudiantes. El uso de herramientas como Kahoot,

PlantNet, Ihuerting y Plantit, así como la aplicación H5P, brindan a los estudiantes oportunidades prácticas y significativas para aprender sobre las plantas. Estas herramientas pueden generar un mayor interés y compromiso, proporcionando retroalimentación inmediata y acercando los conocimientos botánicos a la realidad de los estudiantes.

En cuanto a las metodologías innovadoras, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y el enfoque de aula invertida se destacan como enfoques efectivos en la enseñanza de la botánica. Además, el aprendizaje contextualizado y las experiencias de aprendizaje más allá del aula, como visitar jardines botánicos, también se han identificado como enfoques beneficiosos. Estas experiencias permiten a los estudiantes interactuar directamente con el entorno natural y las plantas, fomentando una comprensión más profunda y una conexión más significativa con la botánica.

Finalmente, es importante destacar que esta investigación presenta algunas limitaciones debido a la escasez de publicaciones sobre innovaciones en el aprendizaje de la botánica. A pesar de los esfuerzos realizados para realizar una revisión sistemática exhaustiva, la disponibilidad limitada de artículos relevantes puede haber afectado la amplitud de los hallazgos y las conclusiones alcanzadas en este estudio. Esta situación subraya la necesidad de que futuras investigaciones se enfoquen en ampliar la base de datos, explorando

nuevas fuentes y regiones, a fin de obtener una visión más completa y actualizada de las prácticas innovadoras en este campo.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. UNESCO. Educación para el desarrollo sostenible: hacia una educación transformadora. UNESCO. 2017. <https://acortar.link/gSG4TU>
2. UICN. Lista Roja de Especies Amenazadas. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2019. <https://acortar.link/qWXFJv>
3. Creagh M, Gómez F, Hope Y. El aprendizaje contextualizado de la Botánica I en la Educación Superior. 2022. <https://acortar.link/SDmj4a>
4. García O. Las plantas como recursos didácticos. La Botánica en la enseñanza de las Ciencias. 2019. <https://acortar.link/2x9xPh>
5. Aragón Á. El Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco de la asignatura de Botánica aplicada. ReiDoCrea Rev Electr Investig Docencia Creat. 2023; 12:312-22. <https://acortar.link/lldW3O>
6. Rivero-Guerra A. Impacto de Tres Modelos de Enseñanza de la Asignatura Botánica General sobre el Rendimiento Académico de los Estudiantes. Form Univ. 2019; 12(3):67-80. <https://acortar.link/vC5F3q>
7. Navarro-Sempere A, García M, García E, Jiménez D, Pinilla V, López-Jaén AB, et al. Gamificación Educativa en el Laboratorio de Biología Celular. Int J Morphol. 2022; 40(6):1426-33. <https://acortar.link/gRBKC7>
8. Carbajal P, Rodríguez J, Palacios Garay J, Ávila G, Cadenillas V. Gamificación como técnica de motivación en el nivel superior. Horiz Investig Cienc Educ. 2022; 6(23):484-96. <https://acortar.link/kzub5S>
9. Foresto E. ¿Cómo aprender botánica sin morir en el intento? Una aproximación para docentes, estudiantes y aprendices informales. Rev Univ Caribe. 2021; 2:48-57. <https://acortar.link/vsnhkf>
10. Gutiérrez L, Blanco J, Corbacho I, Ruiz T, Sánchez J. Enseñanza de la Botánica en un contexto local: Una propuesta didáctica basada en el naranjo morisco de Hornachos. Innovaciones docentes en tiempos de pandemia. Actas del VI congreso internacional sobre aprendizaje, innovación y cooperación, CINAIC 2021. 2021. p. 393-6. <https://acortar.link/winEHN>
11. Foresto E. Más allá del aula: Los Jardines Botánicos como recursos educativos y contextos de aprendizaje. Didáct Cienc Exp Soc. 2022; 43. <https://acortar.link/s8A3jc>
12. Bacon K. Investigating student experiences of botanical field work using a semi-immersive virtual botanical fieldtrip. J Biol Educ. 2023; 1-40. <https://acortar.link/XSXdi6>
13. Ortiz J, Montes Y y Medina K. Enseñanza-aprendizaje de la botánica: impacto en un establecimiento. 2023. <https://acortar.link/ERU3FX>

ACERCA DE LOS AUTORES

Julio Cesar Matos Lizana. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Maestro en Administración de la Educación, Universidad César Vallejo. Maestría en Ciencias Agrícolas con mención en Sanidad Vegetal. Experiencia como docente en educación superior en institutos y universidad; participación en eventos académicos nacionales e internacionales en las áreas de educación y sanidad vegetal, afiliado a líneas de investigación en sanidad vegetal y gestión educativa, Perú.

Nancy Ñañez Javier. Profesional en ciencias matemática, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Maestra en administración de la educación, Universidad Cesar Vallejo. Maestría en docencia universitaria. Experiencia como docente en matemática y estadística en educación superior en universidades, participando en eventos académicos nacionales e internacionales en las áreas de educación y estadística aplicada a líneas de investigación, Perú.

Janett Margarita Flores Reyes. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Maestro en educación con mención en docencia y gestión educativa César Vallejo. Experiencia como docente en educación superior en institutos y universidad; participación en eventos de producción agrícolas de diferentes ciudades a nivel nacional, Perú.

Parámetros de bienestar animal en ganadería bovina de leche en Iberoamérica: Revisión sistemática

Animal welfare parameters in dairy cattle farming in Latin America: Systematic review

Parâmetros de bem-estar animal na pecuária leiteira na América Latina: revisão sistemática

ARTÍCULO REVISIÓN



Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.343>

Elizabeth Janeth Zurita Núñez ezurita2903@uta.edu.ec

Marco Antonio Rosero Peñaherrera ma.rosero@uta.edu.ec

Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador

Artículo recibido: 6 de noviembre 2024 / Arbitrado: 9 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

El Bienestar Animal (BA) actualmente es considerado uno de los criterios de interés social más relevantes en las explotaciones ganaderas, aunque este tiene diversas consideraciones legales a nivel mundial evidenciando una gran brecha entre países potencias y en vías de desarrollo su aplicación ha ido creciendo de manera relativa en su gran mayoría apoyada por la directriz del proyecto europeo WELFARE QUALITY®. El objetivo del estudio es generar una síntesis de los parámetros de bienestar animal en ganadería bovina de leche en Iberoamérica. La metodología es de enfoque cualitativo, de diseño documental, basada en una revisión sistemática los criterios de búsqueda utilizados fueron: fecha de publicación menor a 5 años para evaluaciones completas de los 4 principios de bienestar animal o la implementación de mejoras en alguno de estos, resultados (comprobables y verificables, positivos y negativos) y ubicación geográfica (pertenecientes a Iberoamérica). Los resultados muestran que, las investigaciones realizadas a nivel iberoamericano reflejan una evidente mejora en los animales luego de realizar un cambio positivo en cualquiera de los principios manejados por WELFARE QUALITY®. Se concluye que, aunque se puede observar un incremento en la aplicación de mejores condiciones de BA generalmente manejado por las granjas de alta producción, en Ecuador, aún hay la necesidad de incluir en el contexto rural este concepto puesto que en este nivel social se observa un deficiente cumplimiento de las libertades básicas del ganado bovino.

Palabras clave: Bienestar Animal; Ganado lechero; WELFARE QUALITY®; Eficiencia productiva; Estimulación Sensorial

ABSTRACT

Animal welfare parameters in dairy cattle farming in Latin America: Systematic reviewAnimal Welfare (AW) is currently considered one of the most relevant criteria of social interest in livestock farms, although it has various legal considerations worldwide, evidencing a large gap between powerful and developing countries, its application has been growing relatively, mostly supported by the guideline of the European WELFARE QUALITY® project. The objective of the study is to generate a synthesis of the animal welfare parameters in dairy cattle farming in Latin America. The methodology is qualitative, documentary design, based on a systematic review. The search criteria used were: publication date less than 5 years for complete evaluations of the 4 principles of animal welfare or the implementation of improvements in any of these, results (verifiable and verifiable, positive and negative) and geographic location (belonging to Latin America). The results show that research carried out at the Ibero-American level reflects an evident improvement in animals after making a positive change in any of the principles managed by WELFARE QUALITY®. It is concluded that, although an increase can be observed in the application of better BA conditions generally managed by high production farms, in Ecuador, there is still a need to include this concept in the rural context since at this social level there is a poor compliance with the basic freedoms of cattle.

Key words: Animal Welfare; Dairy cattle; WELFARE QUALITY®; Productive efficiency; Sensory stimulation

RESUMO

Parâmetros de bem-estar animal na pecuária leiteira na América Latina: Revisão sistemáticaO Bem-Estar Animal (BAA) é atualmente considerado um dos critérios de interesse social mais relevantes nas explorações pecuárias, embora tenha diversas considerações legais em todo o mundo, evidenciando uma grande lacuna entre os poderes e países em desenvolvimento, sua aplicação vem crescendo relativamente, amplamente apoiada pelas diretrizes do projeto europeu WELFARE QUALITY®. O objetivo do estudo é gerar uma síntese de parâmetros de bem-estar animal na pecuária leiteira na América Latina. A metodologia é qualitativa na abordagem, com delineamento documental, com base em revisão sistemática. Os critérios de busca utilizados foram: data de publicação inferior a 5 anos para avaliações completas dos 4 princípios do bem-estar animal ou implementação de melhorias em qualquer um deles, resultados (verificáveis e verificáveis, positivos e negativos) e localização geográfica (pertencente à América Latina). Os resultados mostram que as pesquisas realizadas a nível ibero-americano refletem uma clara melhoria nos animais após realizar uma mudança positiva em qualquer um dos princípios geridos pelo WELFARE QUALITY®. Conclui-se que, embora se observe um aumento na aplicação de melhores condições de BA geralmente administradas por fazendas de alta produção no Equador, ainda há necessidade de incluir este conceito no contexto rural, pois neste nível social se observa um baixo cumprimento com liberdades básicas para o gado.

Palavras-chave: Bem-estar animal; Gado leiteiro; QUALIDADE DE BEM-ESTAR®; Eficiência produtiva; Estimulação sensorial

INTRODUCCIÓN

La ganadería de leche en la actualidad se ha convertido en una de las actividades agropecuarias de mayor relevancia tanto económica como social por la influencia de los sujetos que intervienen en ella y su íntima relación con la soberanía alimentaria y la salud humana, la implicación del bienestar animal BA dentro de las explotaciones abarca todos los procesos o protocolos que se basan en mantener las 5 libertades básicas de un animal incluyendo acciones que las mejoren y garanticen la calidad e inocuidad de los productos derivados de la misma (1,2).

La actual demanda de la sociedad por un trato respetuoso hacia todo tipo de animal es lo que ha llevado a establecer diferentes parámetros determinados como indicadores, aunque no es a nivel mundial gran parte de los animales usados para producción en países desarrollados dentro de establecimientos de alta tecnología poseen un manejo deficiente que obedece a las demandas productivas es decir a la cantidad de animales que se manejan en los predios (3).

Contrario a esto, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (4), menciona de manera enfática en sus documentos, que los sistemas de explotación familiares por lo general muestran un vínculo humano animal más estrecho, no necesariamente refiriéndose a que este sea de buena calidad pues estos animales no suelen recibir todas las atenciones necesarias a nivel de

salud o complementación de su alimentación por lo que sus condiciones de Bienestar tampoco son las idóneas.

En atención a lo anterior expuesto, se plantea la interrogante, ¿cuáles son los parámetros de bienestar animal en la ganadería bovina de leche en Iberoamérica?, para responder a ello, el objetivo propuesto en esta investigación es generar una síntesis de los parámetros de bienestar animal en ganadería bovina de leche en Iberoamérica, considerando de manera enfática periodos como el ordeño y factores como el medio ambiente o la zona climática en la que se desarrolla la actividad ganadera en Ecuador.

METODOLOGÍA

Para esta investigación se empleó un enfoque cualitativo, con diseño documental, basado en una revisión sistemática de la literatura científica, con el objetivo de generar una síntesis de los parámetros más estudiados y desarrollados en el ganado bovino de leche en Iberoamérica, considerando de manera periodos como el ordeño y factores como el medio ambiente o la zona climática en la que se desarrolla la actividad ganadera. Los criterios de búsqueda que se han aplicado para que la información sea citada en este documento son: tiempo (fecha de publicación menor a 5 años para evaluaciones completas de los 4 principios de bienestar animal o la implementación de mejoras en alguno de estos), resultados

(comprobables y verificables, positivos y negativos) y ubicación geográfica (países pertenecientes a Iberoamérica). La muestra quedó constituida por 19 investigaciones que cumplieron con los criterios antes mencionados.

También, se emplearon las bases de datos Scopus, Web of Science y SciELO, utilizando las siguientes palabras clave: "bienestar animal", "ganado lechero", "Iberoamérica", "ordeño", "medio ambiente". Se incluyeron artículos publicados en español o inglés desde el año 2020 hasta el 2024. Se excluyeron estudios de caso.

revisiones narrativas y artículos que no evaluaran al menos uno de los cuatro principios del bienestar animal. En la Figura 1, a continuación, metodología de los estudios:

Los datos extraídos de los artículos científicos seleccionados se categorizaron según los criterios antes mencionados. Los resultados se sintetizaron mediante un análisis narrativo, identificando las tendencias y desafíos más comunes en la aplicación de prácticas de bienestar animal en las granjas de ganado bovino de Iberoamérica.

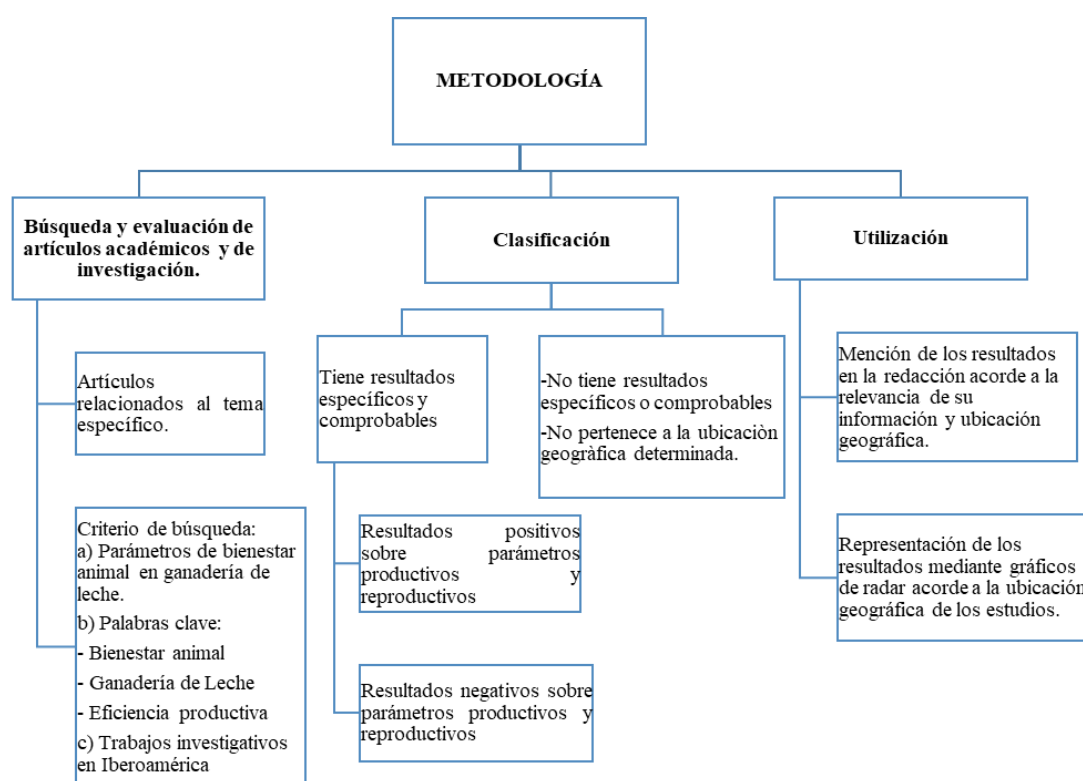


Figura 1. Metodología para la selección de los estudios.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A continuación, en la Tabla 1, se presenta una síntesis de las investigaciones incluidas en esta

revisión sistemática, las cuales abarcan un amplio espectro de estudios sobre el bienestar animal en ganado lechero de Iberoamérica

Tabla 1. Síntesis de las investigaciones: Revisión sistemática.

Título de la Investigación	Autor(es)	Año	País	Tipo de Documento	Temática o Categorías	Metodología	Resultados Principales/Conclusiones
Impacto socioeconómico de la ganadería lechera en comunidades indígenas del Ecuador	Andrade G et al. (1)	2023	Ecuador	Artículo científico	Sistemas de producción, socioeconomía	Análisis cuantitativo y cualitativo	Evalúa el impacto económico y social de la ganadería lechera en comunidades indígenas, sin profundizar en el bienestar animal.
La ganadería, fuerza impulsora de la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible	FAO (4)	2024	Sitio Web	Reporte	Sistemas de producción, seguridad alimentaria	Revisión bibliográfica y análisis de datos	Destaca la importancia de la ganadería para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible.
Una sola salud - OMSA - Organización Mundial de Sanidad Animal	OMS (9)	2023	Sitio web	Sitio web	Salud pública, bienestar animal, zoonosis	Información general	Promueve la conexión entre la salud humana, animal y ambiental.
Fundamento Científico del Bienestar Animal	Galindo F. (10)	2022	México	Material didáctico	Conceptos teóricos, bienestar animal	Revisión bibliográfica	Presenta los fundamentos científicos del bienestar animal.
Legislación comparada sobre bienestar animal	Gonzales P. (18)	2021	OMS	Reporte	Políticas de bienestar animal, legislación	Análisis comparativo	Compara la legislación sobre bienestar animal en diferentes países.
Política Nacional de Protección y Bienestar Animal	Ministerio del Ambiente (20)	2022	Colombia	Política pública	Políticas de bienestar animal, legislación	Marco legal	Establece la política nacional de protección y bienestar animal en Colombia.
Código Orgánico Integral Penal, COIP	Asamblea Nacional del Ecuador (22)	2021	Ecuador	Código penal	Legislación, bienestar animal	Normativa	Define los delitos relacionados con el maltrato animal y establece las sanciones correspondientes.
Valoración del bienestar animal en una finca lechera bovina	Álvarez C et al. (23)	2020	Cuba	Artículo científico	Evaluación en granja, bienestar animal	Observación, encuestas	Evalúa el bienestar animal en una finca lechera cubana.
Boletín Técnico N° 11-2022-ENEMDU. Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU), junio 2022	INECN (24)	2022	Ecuador	Informe estadístico	Socioeconomía, producción animal	Encuesta	Presenta datos sobre la producción animal en Ecuador, incluyendo aspectos relacionados con el bienestar animal.
Bienestar animal en ganaderías bovinas de la parroquia barraganete provincia de Manabí	Zambrano X. (32)	2023	Ecuador	Tesis	Evaluación en granja, bienestar animal	Observación, encuestas	Evalúa el bienestar animal en ganaderías bovinas de una parroquia ecuatoriana.

Título de la Investigación	Autor(es)	Año	País	Tipo de Documento	Temática o Categorías	Metodología	Resultados Principales/Conclusiones
Animal Welfare Conditions On A Farm In Canton Machala, El Oro	Vargas O et al. (33)	2023	Ecuador	Artículo científico	Evaluación en granja, bienestar animal	Observación, encuestas	Evalúa las condiciones de bienestar animal en una granja en Ecuador.
Evaluación de bienestar animal en fincas bovinas lecheras basadas en pastoreo en la Sabana de Bogotá, Colombia	Medrano-Galarza C et al. (34)	2020	Colombia	Artículo científico	Evaluación en granja, bienestar animal, sistemas de pastoreo	Observación, encuestas	Evalúa el bienestar animal en fincas lecheras basadas en pastoreo en Colombia.
Avaliação Do Bem-Estar De Bovinos De Leite De Acordo Com Protocolo Welfare Quality®	De Souza L. (35)	2021	Brasil	Tesis	Evaluación del bienestar animal, protocolo Welfare Quality®	Aplicación del protocolo	Evalúa el bienestar de vacas lecheras utilizando el protocolo Welfare Quality®.
Estimación del bienestar animal del bovino lechero en trópico, mediante criterios de acondicionamiento ambiental	Kido-Cruz M et al. (36)	2024	México	Artículo científico	Bienestar animal, ambiente térmico	Análisis de datos	Evalúa la influencia del ambiente térmico en el bienestar animal de vacas lecheras.
Evaluación del bienestar en vacas lecheras y su influencia sobre los índices productivos y reproductivos	Molina L (37)	2020	España	Tesis	Bienestar animal, producción	Análisis de datos	Evalúa la relación entre el bienestar animal y los índices productivos y reproductivos.
Indicadores de alojamiento relacionados al bienestar animal en vacas lecheras	Alejos J et al. (38)	2021	México	Artículo científico	Bienestar animal, alojamiento	Revisión bibliográfica	Revisa indicadores de alojamiento relacionados con el bienestar animal.
Bienestar animal de vacas lecheras para incrementar su productividad en clima templado	Hinojosa R et al. (39)	2021	Perú	Artículo científico	Bienestar animal, productividad	Revisión bibliográfica y estudios de caso	Relaciona el bienestar animal con la productividad en vacas lecheras.
Tactile, Auditory, and Visual Stimulation as Sensory Enrichment for Dairy Cattle	Mota-Rojas D et al. (42)	2024	México, España, Argentina	Artículo científico	Enriquecimiento sensorial, bienestar animal	Experimentación	Evalúa el efecto de la estimulación sensorial en el bienestar de vacas lecheras.

Los resultados de la revisión sistemática realizada en esta investigación son consistentes con los hallazgos de varios estudios incluidos, que muestran una asociación positiva entre el bienestar animal y la productividad en las granjas lecheras. Sin embargo, la presente investigación aporta nuevas evidencias sobre la importancia en la mejora del bienestar de las vacas lecheras en Iberoamérica. Además, se identificó una brecha en la literatura científica en relación con el tema investigado, lo que sugiere la necesidad de futuras investigaciones en esta área.

Ganadería de Leche

En la actualidad, la ganadería de leche para consumo humano está comprendida por varias especies animales como son los bovinos, bufalinos, caprinos, ovinos y dromedarios; considerando que su presencia depende de su ubicación geográfica ya que en ciertos lugares existen especies particulares usadas para este fin (1, 2).

Sin embargo, para la presente revisión se centra únicamente en la ganadería de leche bovina, pues es de considerar que cada una de las especies zootécnicas lecheras tienen necesidades distintas.

Como referente mundial en el Código de Animales Terrestres de la Organización Mundial de Sanidad Animal OMSA (5) se utilizan diferentes sistemas de producción acorde al tipo de animales, cantidad de producción entre otros factores que afectan la utilidad del sistema. Bajo estos criterios

podemos enlistar los siguientes sistemas de producción bovina:

Sistema Extensivo. - en el cual los animales pasan en una extensión de terreno conocida como pradera o potrero sin la supervisión de los humanos con quienes mantienen contacto únicamente al momento del ordeño o cuando se requiere realizar protocolos médicos.

Sistema semi extensivo. - es aquel en que los animales pasan la mayor parte del tiempo en un potrero alimentándose, pero también son ingresados en el establo para salvaguardarlos por ende mantienen mayor contacto con los humanos y es por esto por lo que su manejo y control es más fácil.

Sistema intensivo. - este está caracterizado por la estabulación del ganado dentro de establo la mayor parte del tiempo, donde la intervención a tiempo completo de los humanos dentro de la explotación es característica de este, los animales están constantemente en contacto con sus manejadores y son estos los encargados de facilitar la alimentación agua y comida a los mismos. Estas condiciones ayudan a mantener un control total de la producción y los protocolos médicos.

Por otro lado, en el estudio de Del Pozo (6) se observaron resultados positivos en cuanto a la implementación de variedades arbóreas y

forraje dentro de sistemas extensivos creando los llamados sistemas silvopastoriles con la finalidad de brindar sombra, protección y recreación a los semovientes contribuyendo de esta forma a elevar el nivel de bienestar animal en los animales a la par que se influye en el microclima y evita la erosión del suelo.

Concepto y directrices internacionales del bienestar animal

Es a partir de la publicación del libro “Animal Machines” de la autora Ruth Harrison en 1964 que este concepto toma un peso real dentro de la sociedad y de donde se parte para establecer las 5 libertades básicas de los animales considerando a los mismos seres psicoemocionales. Este libro genera un choque cultural dentro de la sociedad de ese entonces por la carga emocional que maneja al expresar de manera tácita las prácticas hasta cierto punto inhumanas que se empleaban en explotaciones de animales de producción (7).

Un concepto de bienestar animal que está relacionado a factores presentes en las sociedades actuales que van desde el ámbito científico hasta el político considerando también el ético, económico, cultural, social y las creencias religiosas. La base de este concepto obedece a la aplicación de las 5 libertades básicas que un animal debe tener; 1. - Libre de hambre, sed y desnutrición. 2. - Libre de temor o angustia. 3. - Libre de molestias físicas y térmicas. 4. - Libre de dolor, lesiones

o enfermedades. y 5. - Libre de expresar sus comportamientos naturales, mismas que son reconocidas de manera internacional desde 1965 (8).

La relación entre la sanidad animal, el bienestar animal, la salud humana cuando se observa una mejora relativa dentro de las producciones que evidencian la disminución de la prevalencia de aquellas enfermedades consideradas zoonóticas y cuya influencia en la salud mundial es de gran importancia teniendo estas una relación cíclica entre los tres ámbitos (9).

La conceptualización del bienestar animal es relativa e incluye dos aristas: la científica y la ética. Cada una de estas evalúa al mismo desde una perspectiva diferente que al ser correlacionadas muestran la importancia del manejo relativo y no absoluto de cada una de las situaciones que un animal enfrenta de maneja natural o artificial y cuya influencia afecta su equilibrio biológico durante su vida (10).

La importancia de la interacción humano – animal dentro de las explotaciones y como está influye de manera directa en los parámetros productivos de los animales, reconociendo que esta se da mediante estímulos que afectan a los órganos de los sentidos y generan una respuesta inmediata o retardada; estableciendo tres tipos de interacciones acorde a la respuesta efectuada por el animal, las neutras, positivas y negativas (11).

Como parte fundamental del BA cuyo equilibrio

se ve afectado por el estrés es indispensable crear un concepto sobre este, entendiéndolo como cualquier alteración que genere un desequilibrio en la homeostasis de un sujeto (12).

La importancia del temperamento de los animales con relación a la facilidad con la que estos reaccionan hacia los manejos diarios cabe mencionar que es indiscutible la capacidad de los animales para retener memorias sobre situaciones o personas que reflejaron una vivencia positiva o negativa variando en el tiempo que ésta está presente de acuerdo con la especie y estado fisiológico del animal (13).

Varios autores mencionan de manera específica que uno de los indicadores de mayor utilidad es el cortisol plasmático mismo que refleja el nivel de estrés al cual ha estado expuesto el animal de manera regular convirtiendo en crónico, éste es el encargado de regular el estado de equilibrio y en su defecto predisponer al animal para tener una adecuada adaptación a su entorno y no comprometer su supervivencia (14, 15).

Bienestar animal en Europa

En el repositorio legal de la Unión Europea (UE) el bienestar tiene un amplio estudio que data de 1974 donde se reconocen los derechos y las necesidades de los animales de granja tanto dentro de estas como durante su transporte y sacrificio de manera tacita dentro de sus leyes. Siendo esta región aquel referente mundial sobre

como abarcar de manera amplia pero enfocada al bienestar animal y naciendo de aquí aquellos criterios denominados indicadores cuya medición cuantitativa es la directriz para determinar si un establecimiento o un proceso tienen un adecuado nivel de bienestar animal (16-18).

Bienestar animal en Estados Unidos de América

En la legislación del BA se menciona que en los Estados Unidos Americanos la Ley Federal sobre bienestar animal (AWA) tiene un mayor enfoque en animales de compañía como caninos y felinos que en animales de granja como ganado bovino, caprino, porcino u otros similares, sin embargo, estos están considerados únicamente durante los procesos de transporte o faenamiento. Es importante mencionar que dadas las libertades de creencias y formas de expresión que maneja este país los rituales religiosos en los cuales se ven involucrados los animales son permitidos con la única directriz de la forma en la que se dé muerte al animal. Aunque Estados Unidos no es parte de los países iberoamericanos, es tomado en cuenta en esta revisión únicamente como referencia legislativa (18).

Bienestar animal en México

En el país Azteca el bienestar animal está a cargo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación la cual basa

su accionar en la Ley Federal de Sanidad Animal. Dentro de los manuales para Buenas Prácticas Pecuarias BPP que maneja el estado mexicano es importante mencionar que utilizan dos tipos de indicadores de Bienestar Animal, los fisiológicos y los comportamentales cada uno compuesto por subcategorías (19).

Bienestar animal en Colombia

Es manejado a través del Ministerio del Ambiente en cuyas directrices se establece de manera concreta a través de la Política de Protección y Bienestar, donde se habla del plan estratégico mediante el cual se realizan las acciones necesarias para capacitar a las instituciones públicas que intervienen en este tipo de actividades, es así como las instituciones a las que se les tiene mayor consideración son: el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Salud y Protección Social, Ministerio del Interior, Ministerio de Defensa y Policía Nacional, Ministerio de Comercio, Industrias y Turismo, Ministerio de Transporte. Instituto Colombiano Agropecuario, Servicio Nacional Agropecuario fiscalía general de la Nación, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, Ministerio de Educación, Ministerio de Ciencias, Tecnologías e Innovación, Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Gobernaciones y Alcaldías (20).

Acorde a la función que ejerce cada una de las entidades se ira priorizando una u otra área de las que comprenden el bienestar animal para

poder crear un ambiente eficiente al momento de tratar procesos de manera pertinente y con la presupuestación necesaria.

Bienestar animal en Ecuador

Actualmente Ecuador en su Registro Oficial no cuenta con una legislación que en realidad comprenda el bienestar animal desde todas las aristas existentes sin embargo las leyes con las que los procesos judiciales que ingresan al sistema Judicial son evaluados están basados en la Constitución de la Republica Ecuatoriana del año. 2008. Art. 71. y el Código Orgánico Integral Penal. Capítulo Cuarto. Artículos del 245 al 250.4, en los cuales se especifica que las sanciones por maltratar tanto física como psicológicamente a un animal perteneciente a la Fauna Urbana van desde los servicios comunitarios hasta un año de privación de la libertad (21, 22). No se incluye dentro de las autoridades competentes a Agrocalidad pues su enfoque de bienestar animal está dirigido a procesos de faenamiento antes que a la crianza y manejo en granja. Mientras que el Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG se centra en el cuidado de la sanidad de los animales desde un punto zoonótico lo que enfoca su criterio de bienestar animal al principio de salud dentro de las producciones.

Un establecimiento de explotación lechera en la Provincia de El Oro al ser evaluado bajo los parámetros establecidos por el Proyecto Europeo Welfare Quality® obtuvo puntuaciones que logran

colocarla en un nivel aceptable de Bienestar animal, tomando en cuenta que el bienestar animal es un concepto subjetivo las consideraciones con las que se colocaron las evaluaciones podrían diferir del criterio de otros médicos especializados en el área (23).

Aunque este es un avance en el Ecuador pues se está observando el interés de los propietarios por introducir el Bienestar Animal en sus producciones aún el camino a recorrer por los mismos es muy largo, en especial cuando consideramos los niveles socioeconómicos que refleja nuestra sociedad con los resultados obtenidos en el Censo Poblacional 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (24).

Bienestar animal aplicado a la ganadería de leche

El bienestar que se maneja en las explotaciones bovinas lecheras tiene en gran parte relación con el sistema que se utiliza ya que en relación con este será el tipo de interacción presente entre humanos y animales, así como la forma en la que se cubre de manera eficiente las necesidades de los animales. Es importante establecer las características propias de los bovinos para establecer aquellos indicadores que serán los medidores de la calidad del Bienestar en las explotaciones (25).

El término trato humanitario a los animales lo podemos definir como un trato respetuoso hacia los animales con lo cual se evite lo más posible la

innecesaria generación de estrés enfocándose en la influencia de este factor sobre la calidad de los productos terminados derivados de la ganadería de leche (26).

La ganadería de leche tiene a lo largo de sus procesos un sin número de problemáticas relacionadas al manejo mismas que con el tiempo empiezan a reflejar pérdidas a nivel económico. Estas han sido evaluadas desde distintas perspectivas y varios han sido los intentos por mitigarlas de los cuales se puede concluir que el manejo de los animales, la adecuada implementación de infraestructuras y tecnologías, así como la capacitación del personal implicado son las soluciones evidentes al macro problema (27).

Como se había discutido en un inicio los indicadores de bienestar animal se dividen en 2 grupos los que están basados en el animal y los que están basados en el ambiente (28).

Para determinar el nivel del Bienestar del Animal basados en los indicadores de los animales se consideran los siguientes:

a) Condición corporal (CC), b) Limpieza de los animales, c) Tos, d) Alteraciones tegumentarias, e) Descargas nasales, oculares/ovular, f) Respiraciones agitadas, g) Problemas de locomoción (cojeras), h) Mastitis, i) Mortalidad, j) Distancia de Fuga.

Los literales *c – i* se rigen al principio de salud, mientras que el *a* está ligado tanto al principio de Alimentación y de Salud, por otra parte, el principio de comportamiento rige al literal *j*.

Los indicadores ambientales son:

a) Disposición de agua, b) Limpieza de agua, c) Comedero, d) Ventilación del corral, e) Cama, f) Densidad de los animales, g) Instalaciones, h) Acceso a la pastura

Los literales de la $a - f$ pertenecen al principio de Alimentación mientras que instalaciones tiene una correlación con la salud de los animales y el Acceso a la pastura refiere al principio de Comportamiento.

Otro de los problemas evidentes que influyen de manera directa en el bienestar de los animales es el estrés térmico sea por frío o calor excesivo, El calor influye en el consumo general de alimento y agua de los animales lo cual se relaciona de manera particular con los problemas de cantidad y calidad de la producción láctea. Para evaluar de manera efectiva el calor térmico se debe tomar en consideración el Índice de Temperatura y Humedad (ITH). En el ganado lechero normalmente cuando el ITH es > 72 se considera que el animal empieza a desarrollar estrés térmico. Se puede establecer maneras económicas de menorar el estrés térmico que sufren los animales, como por ejemplo el uso de sistemas silvopastoriles con la finalidad de brindar sombra a los animales (29).

Los vacunos de leche deben tener periodos de descanso y sueño lo cual favorece la eficiencia productiva. Este indicador está relacionado directamente al alojamiento de los animales ya

que la calidad de estas influenciará en el tiempo de que el animal destine a su descanso, recordemos que el sueño influye en la fisiología endócrina y de manera indirecta con la inmunidad por el permanente estado de alerta del animal (30).

Protocolo de evaluación WELFARE QUALITY®

Este protocolo es una guía internacional desarrollada por expertos en la cual se encuentran cada uno de los indicadores necesarios para evaluar los 4 principios básicos de bienestar (alimentación, alojamiento, salud y comportamiento) dando a cada uno de estos una calificación cuantitativa acorde a su relevancia, estos indicadores estarán ligados los animales y el ambiente como se mencionó anteriormente. Para obtener esta información será necesario tanto la observación directa de los animales como la cooperación de aquellas personas que intervienen en los procesos diarios manejados dentro de los predios (médicos veterinarios, ganaderos, chalanos, ordeñadores, etc.) (28). La iniciativa **WELFARE QUALITY®** aparte de brindar las directrices para evaluar las condiciones en las que los animales se encuentran también tiene a disposición un simulador para la ponderación de los puntajes obtenidos por principio mediante al cual se puede establecer el nivel de bienestar animal de un predio como muestra la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios bajo el protocolo WQ®

Criterio para la obtención de una calificación cualitativa bajo el protocolo WQ®	
Excelente	El predio debe obtener un puntaje >80 en al menos 2 de sus principios y >55 en los restantes
Bueno	El predio debe obtener un puntaje >55 en al menos 2 de sus principios y >20 en los restantes
Suficiente	El predio debe obtener un puntaje >20 en al menos 3 de sus principios y >10 en los restantes
No Calificado	El predio debe obtener un puntaje menor a los señalados en el criterio anterior

WELFARE QUALITY®, 2009

La evaluación de diversos trabajos (31-36) da como resultado una variabilidad mínima de las

falencias evidenciadas a nivel del BA en los predios lecheros de varias localidades en Iberoamérica mismas que se representan en la Tabla 3.

Tabla 3. Deficiencias en el bienestar animal en fincas lecheras de Iberoamérica.

Principio País	Alimentación	Alojamiento	Salud	Comportamiento
España	Funcionalidad eficiente de los puntos de agua No mantienen acceso a pasto, pero si a patios externos	Las estructuras cumplen eficientemente sus funciones	Los predios muestran gran variabilidad con problemas de cojeras y daños en el integumento.	No menciona resultados positivos o negativos.
Brasil	Deficiencia en la limpieza y mantenimiento de los bebederos	Cumple con la normativa mínima	Se especifica que parte del hato es dependiente de la oxitocina para iniciar el ordeño	Los animales presentan comportamientos sociales adecuados entre congéneres y la distancia de fuga con los manejadores es mínima.
Colombia	Se encuentran algunas deficiencias en cuanto al flujo del agua sin embargo esta se considera limpia	Presenta deficiencias por falta de mantenimiento, pero cumple la normativa	Se presentan problemas de mastitis y cojeras relacionadas al manejo de los animales	Se observa comportamientos sociales normales entre congéneres, pero se observa una distancia de fuga incrementada
México	Presentan CC bajas por la falta de alimento al igual que una deficiencia en el agua a disposición.	Los alojamientos presentan una variabilidad amplia acorde a la escala de producción que maneja el predio. En general deficientes.	Presentan cojeras severas y también daños a nivel de tejido epitelial, así como inflamaciones en diferentes lugares anatómicos.	El comportamiento de los animales se ve afectado por las condiciones de los otros tres principios. Sin embargo, las investigaciones no hacen énfasis en este principio.
Ecuador	Presenta deficiencia de CC así como deficiencia en el parámetro agua derivada de la captación de la misma.	Las instalaciones son funcionales, pero no cumplen con la normativa necesaria.	Los animales presentan problemas de lesiones en patas, así como mastitis subclínicas en su mayoría.	Los comportamientos en general se ven afectados por el parámetro salud sin embargo está dentro de lo aceptable.

Una vez que se ha conceptualizado cada uno de los puntos clave, así como aquellos términos de importancia dentro de esta revisión se puede iniciar con el cuestionamiento de los resultados obtenidos en varias evaluaciones realizadas en predios las cuales tuvieron como objetivo establecer un nivel de bienestar animal en los semovientes de la producción utilizando el protocolo **WELFARE QUALITY®** para ganado lechero basado en los principios de: alimentación, alojamiento, salud y comportamiento.

Parámetros de importante consideración dentro de la ganadería de leche

Los trabajos investigativos (6, 31-39) puntualizan que más allá de la evidente necesidad de alimento y agua, al considerar la naturaleza de los semovientes el enriquecimiento de sus ambientes con artefactos o la mejora de sus instalaciones ayuda a optimar la expresividad de sus comportamientos tanto con sus congéneres como con sus manejadores, las interacciones positivas y negativas entre congéneres suelen generar problemas de salud en especial por golpes en la glándula mamaria dando como resultado mastitis, el enriquecimiento auditivo es de gran importancia en algunas vacas pues la correlación de la facilidad de extracción de la leche con la respuesta hormonal generada por los sonidos emitidos por los terneros es bastante notoria.

Evidentemente el principio de alojamiento en estos animales influye a nivel de salud en temas

como cojeras o lesiones cutáneas mayormente causadas por nulos o ineficientes mantenimientos de las instalaciones. En el caso de los indicadores que podemos evaluar durante la ordeña de importante consideración, la limpieza ineficiente de los equipos repercute de manera directa en la evaluación tanto de salud como de sanidad en el producto terminado (40, 41).

Por su parte, Mota (42) menciona en su trabajo que los estímulos multisensoriales en las vacas lecheras generan un incremento en la producción láctea junto a otros beneficios que incremental su nivel de bienestar general por todos los procesos neuronales derivados de las hormonas liberadas tras la presencia **WELFARE QUALITY®** que se asocian al placer.

Discusión

Los trabajos en los que se mide de manera integral el bienestar animal bajo sus 4 principios (31-35) difieren en el tiempo destinado a realizar la evaluación pues el mismo no está estandarizado en el protocolo **WELFARE QUALITY®**. Otro de los aspectos a considerar dentro de la variabilidad de resultados es que a pesar de que los climas de las localidades estudiadas tienen bastante similitud los pisos climáticos a los que pertenecen poseen factores climáticos distintos lo que influye directamente en el estrés calórico de los animales y por ende genera cambios en los principios que evalúan su bienestar.

El acceso a recursos económicos de los predios evaluados también es parte de los factores que pueden influir en la variabilidad de resultados, ya que muchos de ellos por ejemplo no tienen acceso a fuentes de agua potable y la misma es captada fluvialmente, lo que influye directamente en el flujo de cada punto de acceso al agua.

La consideración de BA acorde al profesional que aplica y las condiciones en las que se aplican generan la variabilidad en los resultados, sin embargo, es necesario tratar de incorporar la ética y profesionalismo, así como el acoplamiento de los protocolos a la realidad socio económica de las localidades en las que se realizan los estudios de campo.

Otro de los puntos a debatir es la ponderación que maneja cada uno de los investigadores para establecer el nivel general de bienestar en un establecimiento pues unos aplican de manera tácita los valores establecidos por WQ mientras que otros los acoplan a la necesidad del predio.

CONCLUSIÓN

La inclusión de BA en las producciones lácteas genera resultados en su mayoría positivos que se ven reflejados mayormente en el aumento de la producción láctea, así como un mejor manejo especialmente durante el proceso de ordeña. El nivel de respuesta hacia los estímulos sensoriales es medible a nivel productivo, así como a nivel conductual en dependencia del órgano que se estimula.

Aunque aún falta un gran camino por recorrer en materia de BA dentro de América Latina y especialmente en el Ecuador, actualmente nos encontramos con una sociedad un poco más concientizada y que considera más la vida y trato que se da a los animales de producción.

En general esta revisión cumple con el objetivo de sintetizar información de los estudios de campo realizados a nivel iberoamericano en cuanto a los parámetros de bienestar animal que se aplican, mejoran y evalúan con mayor frecuencia en ganaderías de leche bovina.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andrade G, Andrade M, Suárez-Usbek A, Bautista-Espinoza H, Haro-Haro A. Impacto socioeconómico de la ganadería lechera en comunidades indígenas del Ecuador. EASI: Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Industria. 2023;2(1):34–43. <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/71782>
2. Nallar R, Mollericon J, Society WC. Manual para la gestión de una ganadería sostenible. 2017. https://www.researchgate.net/publication/316487550_Manual_para_la_gestion_de_una_ganaderia_sostenible
3. Welfare Quality®. Los intereses del consumidor sobre el Bienestar De Los Animales Varían Ampliamente. s.f. https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1063/wq___fs_consumers_spa.pdf
4. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Diouf J, Chupin D. La ganadería, fuerza impulsora de la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible. <https://www.fao.org/4/v8180t/>

v8180T08.htm#l'C3%A9levage,%20%C3%A9l%C3%A9ment%20moteur%20de%20la%20s%C3%A9curit%C3%A9%20alim

5. OIE. Bienestar Animal y Sistemas de Producción de Ganado Vacuno de Leche. In: Código Sanitario para los Animales Terrestres. 2017. 1–14. https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/chapitre_aw_beef_catthe.pdf

6. Del Pozo P. Los sistemas Silvopastoriles. Una alternativa para el manejo ecológico de los pastizales: Experiencias de su aplicación en Cuba. III° Encontro Pan-Americano sobre manejo Agroecológico de Pastagens: Prv Nas Américas. 2019;14(2236–7934). <https://cadernos.abagroecologia.org.br/cadernos/article/view/2539>

7. Bienestar Animal-Bienestar Animal Europeo. <https://www.bienestaranimaleuropeo.eu/bienestar-animal/>

8. Webster J. Animal welfare: Freedoms, dominions and “A life worth living.” *Animals*. 2016;6(6):2–7. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4929415/>

9. Una sola salud-OMSA: Organización Mundial de Sanidad Animal. <https://www.woah.org/es/que-hacemos/iniciativas-mundiales/una-sola-salud/>

10. Galindo F. Fundamento Científico del Bienestar Animal. In: Diplomado de Bienestar Animal. Universidad Nacional Autónoma de México; 2022. <https://www.libros.unam.mx/etologia-aplicada-fundamento-cientifico-del-comportamiento-y-bienestar-animal-9786073095914-ebook.html>

11. Zulkifli I. Review of human-animal interactions and their impact on animal productivity and welfare. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2013;4(1):25. <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/2049-1891-4-25>

12. Romero M, Uribe-Velásquez L, Sánchez J. Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne: biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud*.

2011; 10(1): 71-87. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502011000100007&lng=en.

13. Grandin T. La reducción del estrés del manejo mejora la productividad y el Bienestar animal. *The Professional Animal Scientist*. 1998;14:1–19. <https://www.grandin.com/spanish/reduccion.estres.manejo.html>

14. Tadich N. Conferencia magistral Bienestar animal en bovinos lecheros. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2011;24:293–300. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902011000300007

15. Sepúlveda N, Gallo C, Allende R. Importancia Del Bienestar Animal En Producción Bovina. *Arch Latinoam Prod Anim*. 2007;15:127–32. <http://www.bioline.org.br/pdf/la07043>

16. Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea TFUE. 2016; 54. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.boe.es/doue/2010/083/Z00047-00199.pdf>

17. Nalon E, Stevenson P. Protection of Dairy Cattle in the EU: State of Play and Directions for Policymaking from a Legal and Animal Advocacy Perspective. *Animals*. 2019;9(12):1066. <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/12/1066>

18. Gonzales P. Legislación comparada sobre bienestar animal. 2021. <https://atp.bcn.cl>

19. Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), Consejo para el Fomento en la Calidad de la Leche y sus Derivados (A.C./COFOCALEC), Consejo Nacional de Mastitis ACMéxico. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en Unidades de Producción de Leche Bovina. Gobierno Federal de México. 2009; 45. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/buenas-practicas-buena-leche>

20. Ministerio del Ambiente. Política Nacional de Protección y Bienestar Animal. Gobierno de Colombia Colombia; 2022; 1–105. <https://>

www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/08/20220408_Politica-Bienestar-Animal_Vers3-doc-final-ok-16062022.pdf

21. Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial-Órgano del Gobierno del Ecuador 2008; 219. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

22. Asamblea Nacional del Ecuador. Código Orgánico Integral Penal, COIP. Registro Oficial-Órgano del Gobierno del Ecuador 2021; 297. <https://www.mendeley.com/import/>

23. Álvarez C, Ruiz A, Vargas O, Sánchez Á. Valoración del bienestar animal en una finca lechera bovina. AES. 200;8(3):83-92. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/431>

24. INEC. Boletín Técnico N° 11-2022-ENEMDU. Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU), 2022. INEC BUENAS CIFRAS, mejores vidas. 2022. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2022/Anual/Bolet%C3%ADn%20t%C3%A9cnico%20anual%20enero-diciembre%202022.pdf>

25. Rossner M, Aguilar N, Koscinczuk P. Bienestar animal aplicado a la producción bovina. Revista Veterinaria. 2010;21(2):151-6. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/1948>

26. Association Humane Slaughter. Manejo humanitario de ganado. Hsa. 2013;44(0):34. <https://www.hsa.org.uk/manejo-humanitario-de-ganado-introduccion/introduccion-5>

27. Martínez G, Suárez V, Ghezzi M. Bienestar animal en bovinos de leche: selección de indicadores vinculados a la salud y producción. RIA Revista de investigaciones agropecuarias. 2016;42(2):153-60. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142016000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=en
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1669-23142016000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=en

28. Welfare Quality®. Protocolo de evaluación Welfare Quality® para ganado vacuno. Consorcio Welfare Quality®. Lelystad, Países Bajos; 2009.

1-147. https://aucatel.com/auacert/Protocol_WQ_Cattle-es-final.pdf

29. Temple D, Bargo F, Mainau I, Ipharraguerre I, Manteca X. Efecto del estrés por calor en la producción de las vacas de leche: una visión práctica. Rev. med. vet. 2020, 101(3): 7 – 13 https://www.fawec.org/media/com_lazypdf/pdf/fs12-es.pdf

30. Temple D, Bargo F, Mainau E, Ipharraguerre I, Manteca X. Conducta de descanso y eficiencia productiva de las vacas de leche- una visión práctica-Awec. 2016. <https://awecadvisors.org/animales-de-granja/conducta-de-descanso-y-eficiencia-productiva-de-las-vacas-de-leche-una-vision-practica/>

31. Álvarez C, Ruiz A, Vargas O, Sánchez A. Valoración Del Bienestar Animal En Una Finca Lechera Bovina. Revista para la transformación agraria sostenible. 2020;8(2415-2862):84-92. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/431>

32. Zambrano X. Bienestar animal en ganaderías bovinas de la parroquia barraganete provincia de Manabí. Guayaquil; 2023. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ZAMBRANO%20INTRIAGO%20XAVIER%20OCTAVIO.pdf>

33. Vargas O, Riofrío C, Maza W. Animal welfare conditions on a farm in canton Machala, el Oro. Revista Científica Agroecosistemas. 2023;11:20-8. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

34. Medrano-Galarza C, Zúñiga-López A, García-Castro F. Evaluación de bienestar animal en fincas bovinas lecheras basadas en pastoreo en la Sabana de Bogotá, Colombia. Revista MVZ Córdoba. 2020;25(2):e1708. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-02682020000200049

35. De Souza L. Avaliação Do bem-estar de bovinos de leite de acordo com protocolo welfare quality®. 2021. <https://bit.ly/3PtTkJx>

36. Kido-Cruz M, Martínez-Castro C, Zúñiga-Marroquín T, Cotera-Rivera J. Estimación del bienestar animal del bovino lechero en trópico, mediante criterios de acondicionamiento

ambiental. Revista MVZ Córdoba. 2024;27(3):e2676. <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/2676>

37. Molina L. Evaluación del bienestar en vacas lecheras y su influencia sobre los índices productivos y reproductivos. Córdoba; 2020. <https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>

38. Alejos J, Almaraz B, Peralta J, Meza N, Torres M. Indicadores de alojamiento relacionados al bienestar animal en vacas lecheras. Revista Veterinaria. 2021;32(2):174. https://www.researchgate.net/publication/356701240_Indicadores_de_alojamiento_relacionados_al_bienestar_animal_en_vacas_lecheras

39. Hinojosa R, Escobar F, López D, Yzarra A. Bienestar animal de vacas lecheras para incrementar su productividad en clima templado. Revista Norandina. 2021;4(1):14–24. <https://unach.edu.pe/rcnorandina/index.php/ciencianorandina/article/view/18>

40. Mattiello S, Battini M, de Rosa G, Napolitano F, Dwyer C. How Can We Assess Positive Welfare in Ruminants? Animals. 2019;9(10):758. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6826499/>

41. Bolt S, George A. The use of environmental enrichment on farms benefits animal welfare and productivity. Livestock. 2019;24(4):183–8. <https://bit.ly/3DPsoBE>

42. Mota-Rojas D, Whittaker A, Domínguez-Oliva A, Strappini A, Álvarez-Macías A, Mora-Medina P, et al. Tactile, Auditory, and Visual Stimulation as Sensory Enrichment for Dairy Cattle. Animals. 2024;14(9):1265. <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/9/1265>

ACERCA DE LOS AUTORES

Elizabeth Janeth Zurita Núñez. Tecnóloga Superior, Instituto Tecnológico Superior “Luis Alfredo Martínez”. Agropecuario, Instituto Tecnológico Tungurahua. Estudiante de noveno semestre de la carrera de Medicina Veterinaria en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Marco Antonio Rosero Peñaherrera. Médico Veterinario Zootecnista, Universidad Católica de Cuenca. Magister en Producción Animal, Mención Nutrición Animal, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Catedrático en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Politécnica Salesiana. Catedrático en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Cuenca. Catedrático en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.



Contaminación ambiental y gestión de residuos sólidos en la ciudad minera de Cerro de Pasco

Environmental pollution and solid waste management in the mining town of Cerro de Pasco

Poluição ambiental e gestão de resíduos sólidos na cidade mineira de Cerro de Pasco

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.344>

Leonidas Félix Villaorduña Caldas
lvillaordunac@undac.edu.pe

Hans Nicolás Huamán López
hhuamanl@undac.edu.pe

Hitlser Juan Castillo Paredes
hcastillop@undac.edu.pe

Jhan Carlos Jimenez Inza
jjimenez@email.munipasco.gob.pe

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

La contaminación ambiental derivada de la actividad minera representa un desafío global con impactos locales devastadores, especialmente en comunidades como Cerro de Pasco, Perú, donde la exposición a metales pesados alcanza niveles alarmantes. El trabajo se desarrolló en la ciudad de Cerro de Pasco, en el año 2023. El objetivo es analizar la contaminación ambiental y manejo de residuos sólidos en la ciudad minera de Cerro de Pasco, Perú. Es un estudio enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y analítico, de corte transversal. Diseño no experimental. Se recogió la opinión de los pobladores sobre la contaminación ambiental en esta ciudad; se analizó también la gestión y manejo de los residuos sólidos. Mayormente contaminan el ambiente la actividad minera y la doméstica, los que afectan la salud pública. Los municipios son los responsables de la gestión y el manejo de los residuos domiciliarios y no domiciliarios, conocidos como los municipales. Los resultados revelan que se generan en total 65.81 t/día, resultando que el 40.29% corresponde a los domiciliarios, la mayoría (57.59%) son los no domiciliarios, y el 2.11 % corresponde a los especiales que son manejados por el Ministerio de Salud. Cada persona, genera en promedio 470 gramos de residuos domiciliarios por día. Los residuos aprovechables son el 62.77% del total de los residuos municipales, los orgánicos constituyen el 50% de los mismos. Finalmente, se concluye que existen dificultades en todas las etapas del manejo de los residuos, los más notorios están en la valoración y disposición final.

Palabras clave: Contaminación; Domiciliarios; Especiales; Municipales; Residuos

ABSTRACT

Environmental pollution from mining activity represents a global challenge with devastating local impacts, especially in communities such as Cerro de Pasco, Peru, where exposure to heavy metals reaches alarming levels. The work was carried out in the city of Cerro de Pasco, in 2023. The objective is to analyze environmental pollution and solid waste management in the mining city of Cerro de Pasco, Peru. It is a quantitative, descriptive and analytical, cross-sectional study. Non-experimental design. The opinion of the residents on environmental pollution in this city was collected; the management and handling of solid waste was also analyzed. Mining and domestic activity mostly pollute the environment, which affects public health. Municipalities are responsible for the management and handling of household and non-household waste, known as municipal waste. The results reveal that a total of 65.81 t/day is generated, of which 40.29% corresponds to household waste, the majority (57.59%) is non-household waste, and 2.11% corresponds to special waste handled by the Ministry of Health. Each person generates an average of 470 grams of household waste per day. Recyclable waste accounts for 62.77% of the total municipal waste, and organic waste accounts for 50% of it. Finally, it is concluded that there are difficulties in all stages of waste management, the most notable being in the assessment and final disposal.

Key words: Contamination; Household; Special; Municipal; Waste

RESUMO

A poluição ambiental causada pela atividade de mineração representa um desafio global com impactos locais devastadores, especialmente em comunidades como Cerro de Pasco, no Peru, onde a exposição a metais pesados atinge níveis alarmantes. O trabalho foi realizado na cidade de Cerro de Pasco, em 2023. O objetivo é analisar a poluição ambiental e a gestão de resíduos sólidos na cidade mineira de Cerro de Pasco, Peru. Trata-se de um estudo quantitativo, descritivo e analítico, de corte transversal. Design não experimental. Foi coletada a opinião dos moradores sobre a poluição ambiental nesta cidade; A gestão e o manuseio de resíduos sólidos também foram analisados. O meio ambiente é poluído principalmente pela mineração e atividades domésticas, que afetam a saúde pública. Os municípios são responsáveis pela gestão e tratamento de resíduos domésticos e não domésticos, conhecidos como resíduos urbanos. Os resultados revelam que são geradas um total de 65,81 t/dia, das quais 40,29% correspondem a resíduos domiciliários, a maioria (57,59%) são resíduos não domiciliários e 2,11% correspondem a resíduos especiais gerenciados pelo Ministério da Saúde. Cada pessoa gera em média 470 gramas de lixo doméstico por dia. Os resíduos recicláveis representam 62,77% do total de resíduos urbanos, enquanto os resíduos orgânicos representam 50%. Por fim, conclui-se que há dificuldades em todas as etapas do gerenciamento de resíduos, sendo as mais notáveis na avaliação e disposição final.

Palavras-chave: Poluição; Entregas ao domicílio; Especiais; Municipal; Desperdício

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental derivada de la actividad minera presenta un desafío global con impactos locales devastadores, especialmente en comunidades como Cerro de Pasco, Perú, donde la exposición a metales pesados alcanza niveles preocupantes (1) Por estas razones, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2), ha identificado a Cerro de Pasco como una "zona de sacrificio" en América Latina y el Caribe, reconociendo las graves consecuencias para la salud de sus habitantes debido a la contaminación persistente (3). Sobre el tema, estudios de Source International (1) revelan concentraciones extremadamente altas de metales pesados como plomo, arsénico, mercurio y cadmio en el agua, el suelo y el aire, superando los límites máximos de seguridad establecidos por estándares peruanos e internacionales. La exposición a estos metales pesados no solo afecta la salud física, provocando enfermedades crónicas, sino que también ha impactado el desarrollo cognitivo de los niños, disminuyendo sus niveles de coeficiente intelectual (4).

Es de resaltar que, el manejo inapropiado de residuos sólidos agrava los problemas de contaminación en Cerro de Pasco, donde factores como el crecimiento poblacional y la falta de conciencia ambiental contribuyen a la acumulación de desechos.

En este contexto, la Organización Mundial de la Salud (5), subraya la importancia de un

manejo integral de residuos para proteger la salud pública y el medio ambiente, destacando que la disposición final inadecuada de residuos sólidos genera impactos ambientales negativos y riesgos sanitarios. Es necesario implementar estrategias de gestión de residuos que involucren a la comunidad y promuevan prácticas ambientalmente responsables para mitigar estos impactos.

Por su parte, la Organización Panamericana de la salud (6), plantea que, mientras tanto, el medio ambiente y la crisis climática siguen acelerándose, los impactos de la mala gestión de los residuos y el cambio climático se sienten especialmente en las comunidades empobrecidas que carecen de suministros de agua y saneamiento gestionados de forma segura y resistente, y tienen una atención sanitaria de mala calidad.

Cabe decir además que, la gestión de residuos sólidos, es planificar ciudades y comunidades sostenibles, saludables e inclusivas; aún, cuando a muchas administraciones le asignen altos presupuestos como a países de bajos ingresos, más del 90% de los desechos todavía se están arrojando o quemando abiertamente; lo que conlleva, a la emisión de gases de efecto invernadero que favorecen al cambio climático y a crisis sanitarias -peste negra-; es por ello, que las ciudades y países que crecen, deben tener sistemas para gestionar los desechos que mantengan a los ciudadanos saludables y a las comunidades limpias (7, 8). Los desechos sólidos, si no son debidamente

manejados, originan problemas de salud y un medio ambiente desagradable, constituirse en criaderos de insectos, parásitos y de otros animales dañinos; lo que aumenta, la transmisión de enfermedades, contaminar las fuentes de agua y el medio ambiente (9).

Es interesante mencionar que, en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, se formularon áreas de programas relacionadas con residuos sólidos a fin de promover el desarrollo sostenible y ecológicamente racional para el siglo XXI: (a) reducción al mínimo de los residuos, (b) aumento al máximo de la reutilización y reciclado ecológico, (c) promoción de la eliminación y el tratamiento ecológicamente racional de los residuos y (d) ampliación del alcance de los servicios que se ocupan de los desechos. La población para el 2030 vivirán, en un 60% en las ciudades; con rápida urbanización y número creciente de habitantes en barrios pobres, con infraestructura y servicios inadecuados y sobrecargados, donde los hechos cruciales están de lado de la recogida de residuos y los sistemas de agua y saneamiento, carreteras y transporte, lo cual está empeorando la contaminación del medio ambiente (10).

En relación con la recolección, transporte y disposición de residuos en América Latina y el Caribe, se observa que pocos países recolectan, transportan y disponen residuos al exterior del casco urbano, son pocos los con plantas formales para la segregación y reciclado. También, el mal manejo de los residuos sólidos genera externalidades

negativas como el deterioro estético de ciudades, perjuicio al equilibrio natural (urbano y rural), con la consecuente pérdida de la belleza y atractivo del paisaje (11). En muchos países, ni la gestión ni el manejo están bien encaminados; así, la gestión de los residuos sólidos, pese a ser una pieza clave de las ciudades sostenibles, sanas e inclusivas, no suelen ser tomados con la misma importancia en los países de bajos ingresos (12).

Por consiguiente, en la gestión integral de residuos se debe reducir, reutilizar, reciclar, tratar o realizar la disposición final. Además, tiene que ver con la formulación de políticas, planes y estrategias sectoriales, aspectos legislativos y regulaciones ambientales institucionales; así como, con una apropiada ejecución del proyecto técnico de manejo integral con la provisión de elementos de decisión política legales, administrativos, socioculturales, financieros, de infraestructura de obras y equipos para lograr los objetivos (11).

Adicionalmente, la integralidad en la gestión de residuos sólidos urbanos es abordar desde fuentes domiciliarias, comerciales, institucionales, municipales, agropecuarias e industriales; incluso, durante la generación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final; también, con un enfoque interdisciplinario, social, técnico, económico, legal, institucional, ambiental y cultural; tanto, en la evaluación del impacto ambiental y social; así como, en la búsqueda de estrategias de minimización de riesgos ambientales (13).

El estudio de la contaminación ambiental tiene una importancia crucial, ya que permite implementar medidas que responden no sólo a cuestiones ambientales y de salud pública; sino también, a medidas de mitigación del cambio climático; en tanto que, los residuos sólidos orgánicos generan metano, mientras que la quema no controlada de residuos emite gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos (14).

Además, la degradación ambiental derivada de inadecuadas técnicas de manejo de residuos sólidos es un importante factor de deterioro del medio ambiente, que no sólo pone en riesgo a las generaciones presentes, sino que también produce impactos futuros debido a los pasivos ambientales que genera (15).

En este contexto en Perú, la disposición final en rellenos sanitarios es del 41% y el resto en vertederos o botaderos a cielo abierto. Los residuos sólidos son plásticos, metal, vidrio, textil, papel y cartón. Los residuos orgánicos son alrededor del 50%, los que generan gas metano en ausencia de oxígeno, provocando el efecto invernadero. Además, las emisiones generadas en rellenos sanitarios tienen el potencial de ser controlados a través de sistemas de captura y quema de metano, lo cual se torna difícil cuando se trata de disposiciones en vertederos cuyo manejo es inadecuado (16).

Históricamente, Cerro de Pasco tiene más de 400 años, con el virreinato (siglo XVII), por la

importancia de la minería, la Corona Española le otorga el título de la Ciudad Real de Minas. En el siglo XVIII es el mayor productor de plata en la colonia (17). Esta, afectada por la actividad minera, en Champamarca y Paragsha se encontró concentraciones de material particulado en suspensión en el aire que exceden los estándares de calidad ambiental del aire. Igualmente, los valores más elevados de metales pesados (cobre, manganeso, fierro, plomo y zinc) se determinaron en la Paragsha que supera la normativa del estándar establecida por Canadá. Identificándose que fuentes cercanas de contaminación del aire, dirección de viento y suspensión de partículas por la época de escasas lluvias, son factores que contribuyen con la contaminación (18).

Estudios han revelado altas concentraciones de arsénico, plomo, aluminio y manganeso en cabello de niños se determinaron en Paragsha respecto a Carhuamayo, superando los estándares alemanes. El valor promedio del cociente intelectual total fue de 82.5 en Paragsha; mientras que; el puntaje obtenido Carhuamayo fue de 94.8; es decir, los niños de Paragsha resultaron tener 12.3 puntos menos que los no expuestos a la contaminación ambiental (19).

Finalmente, estudios recientes relacionados a los decretos supremos 010-2017-SA y 005-2018-SA, para fundamentar medidas de emergencia sanitaria en las provincias de Pasco y Daniel A Carrión, revelan que hay problemas de salud pública en la ciudad de Cerro de Pasco (20, 11).

Por consiguiente, se desarrolló el estudio con el objetivo de analizar la contaminación ambiental y manejo de residuos sólidos en la ciudad minera de Cerro de Pasco, Perú, con la proyección de proponer medidas que permitan mejorar las condiciones ambientales de la ciudad en mención.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio presenta un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y analítico de corte transversal. Se analizó la relación entre la contaminación ambiental y la gestión de residuos sólidos en la ciudad de Cerro de Pasco durante el año 2023. Se empleó un diseño descriptivo para caracterizar la opinión de la población sobre la contaminación y las prácticas de gestión de residuos, y un diseño analítico para examinar la composición y valorización de los residuos sólidos. No se realizó manipulación de variables, por lo que es un estudio de diseño no experimental.

El estudio se desarrolló en la ciudad de Cerro de Pasco, durante el año 2023, comprendida por las áreas urbanas de los distritos de Chaupimarca, Simón Bolívar y Yanacancha. Que, por su cercanía a los trabajos de explotación minera y arrojo de relaves y desperdicios mineros, se encuentran expuestos a la contaminación y desde luego generan también sus residuos sólidos.

Se revisó el Decreto Legislativo 1278 y Decreto Supremo 014-2017-MINAM, referidos a gestión integral de recursos sólidos y recolección de la

información sobre contaminación ambiental (21, 22), también, la Guía Metodológica para el Desarrollo del Estudio de Caracterización para Residuos Sólidos Municipales del Ministerio del Ambiente del Perú (23); lo que, permitió precisar conceptos en cuanto a residuos sólidos y elaborar los instrumentos de investigación.

Para la opinión de los pobladores respecto a la contaminación y manejo de residuos sólidos domiciliarios se aplicó un cuestionario a 118 personas entre 18 y 70 años. Este constó de siete ítems: contaminación ambiental de la ciudad, agentes contaminantes, efectos de la contaminación, manejo de residuos en época del COVID 19, calificación al municipio por manejo de residuos sólidos y sugerencias para la mejora del manejo de residuos.

También, se determinó el peso, la composición y la valorización de los residuos en la planta piloto de tratamiento de residuos sólidos y hospitalarios Figura 1, de la Municipalidad Provincial de Pasco. Con la información proporcionada por las municipalidades provincial y distritales (Simón Bolívar y Yanacancha), se analizaron datos sobre la generación, segregación y características del aprovechamiento y valorizaciones, así como de la disposición final de los residuos municipales.

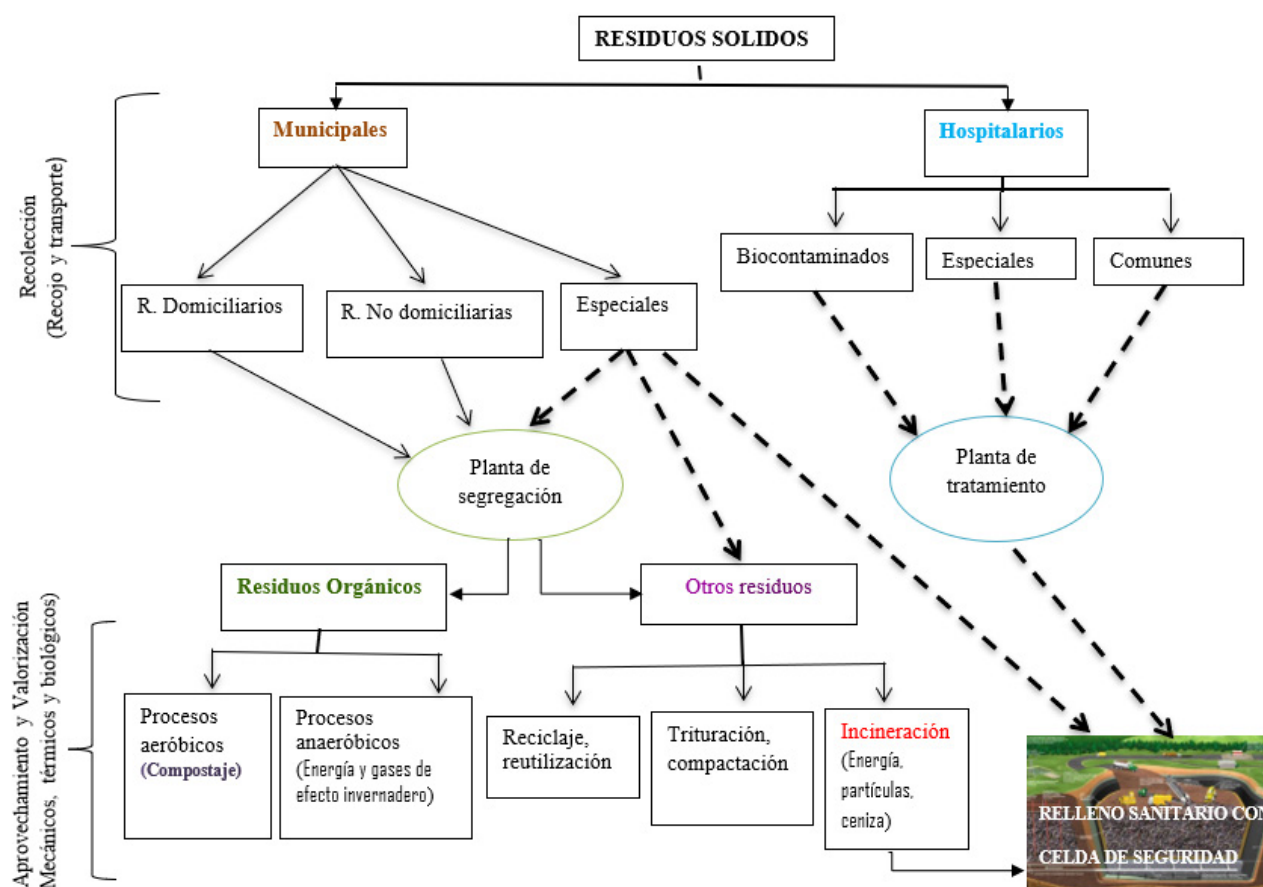


Figura 1. Manejo de residuos municipales y hospitalarios. Figura de elaboración propia.

A voluntad del participante para el estudio de caracterización, fue empadronado, codificado y visitado por 8 días consecutivos por el personal del municipio a fin de realizar el trabajo de campo. En este proceso, se entregaron las bolsas de color verde previamente codificadas, etiquetadas y numeradas para recolectar los residuos domiciliarios cada día y al día siguiente se recogieron las mismas con residuos de la vivienda seleccionada en la muestra.

Llegadas las muestras al lugar de caracterización, se clasificaron por estrato

socioeconómico; luego, fueron pesadas y registradas en el formato de generación per cápita de residuos. Este proceso, fue repetido durante 8 días consecutivos, los datos diarios de 7 días fueron promediados. Las muestras recolectadas del primer día no se consideraron como datos válidos para evitar la alteración de los resultados en el estudio. La unidad de medida fue kg/persona/día; los residuos pesados fueron determinados su composición. Finalmente, todos los residuos, al igual que sucede diariamente con los residuos

municipales de la ciudad fueron trasladados hacia la disposición final.

En el caso de residuos no domiciliarios y especiales, se tuvo en cuenta los días laborables de los establecimientos estudiados, se recogieron las muestras según los códigos y las numeraciones establecidas por 7 días consecutivos, estos datos fueron divididos adecuadamente para obtener la cifra promedio diario, la unidad de medida fue kg/día. Las muestras estudiadas fueron de los establecimientos comerciales, hoteles, mercados, restaurantes, instituciones educativas, instituciones públicas y privadas; así como de barrido y limpieza de espacios públicos. Los resultados fueron organizados, analizados e interpretados en el programa de acceso libre JAMOVI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, el apartado correspondiente a los resultados, en este se presenta un análisis de la percepción de la población sobre la contaminación ambiental en Cerro de Pasco, así como las prácticas de gestión y manejo de residuos en la

ciudad. Igualmente, se aborda la generación de residuos, los métodos para recoger y transportar, así como las iniciativas sobre el aprovechamiento y la valorización. Finalmente, se describen las características de la disposición final de los residuos.

En la tabla 1, la mayoría de los pobladores (80.4%) respondieron que la contaminación es muy grave. El 53.6% mencionaron a la actividad minera y los pasivos ambientales como agente que contamina más, seguido de los residuos sólidos con el 39.2%. En cuanto a los efectos que causa la contaminación ambiental, gran porcentaje (81.4%) dijeron que afecta a la salud humana. Con referencia al manejo de residuos en época del COVID 19, opinaron, el 42% ha seguido igual, el 43% desmejoró. Sobre la calificación al municipio por manejo de residuos sólidos, cifras mayores, el 49.2% manifestaron de regular con algunas fallas, el 32% regular con varias fallas. Como sugerencias para mejorar el manejo de los residuos, la mayoría (50%) piensan que se deben realizar campañas de sensibilización a la población.

Tabla 1. Opinión de la población sobre contaminación ambiental.

Ítems	Características	Cantidad (N°)	Porcentaje (%)
Contaminación ambiental de la ciudad	Muy grave	95	80.4
	Grave	17	14.6
	Leve	6	5.0
	Total	118	100.0
Agentes contaminantes	Minería y pasivos ambientales	63	53.6
	Residuos sólidos	46	39.2
	Agua contaminada	8	7.2
	Total	118	100.0

Ítems	Características	Cantidad (N°)	Porcentaje (%)
Efectos de la contaminación	Afecta la salud humana	96	81.4
	Ahuyenta a visitantes	12	10.3
	Afecta a negocios	6	5.0
	Perjudica el ornato de la ciudad	4	3.3
	Total	118	100.0
anejo de residuos en época del COVID-19	Ha seguido igual	50	42.0
	Desmejoró	51	43.0
	No sabe	18	15.0
	Total	118	100.0
Calificación al municipio por manejo de residuos sólidos	Regular con algunas fallas	58	49.2
	Regular con varias fallas	39	32.8
	Mala	21	18.0
	Total	118	100.0
Sugerencias para la mejora del manejo de residuos	Campañas de sensibilización	59	50.0
	Demostraciones de manejo	26	22.4
	Reparto de materiales educativos	20	16.6
	Conferencias y charlas	13	11.0
	Total	118	100.0

Gestión y manejo de los residuos sólidos. Generación

El recojo de residuos sólidos domiciliarios, es realizado en las puertas de las viviendas, esquinas de calles u otro lugar. Acumulan los residuos en bolsas de plástico y en latas, que posteriormente pasan al camión recolector.

La Tabla 2, muestra que la generación per cápita promedio de residuos sólidos domiciliarios es de 0.469 kg/día, con ligeras diferencias entre los estratos socioeconómicos distribuidos de la

siguiente manera: el sector medio alto generó 0.470 kg/día, mientras que el sector medio bajo produjo 0.468 kg/día. En términos de tonelaje diario, se tiene que, Yanacancha y Chaupimarca se identifican como los distritos con mayor producción de residuos domiciliarios, con 13.06 t/día y 12.3 t/día, respectivamente, seguidos por Simón Bolívar, con 1.16 t/día. En total, la generación diaria de residuos domiciliarios asciende a 26.52 t/día para una población total estimada en 56.473 habitantes.

Tabla 2. Generación per cápita de los residuos domiciliarios.

Ciudad de distritos	Estrato socioeconómico		Promedio (kg/día)	Población al 2023 (N°)	Generación de residuos (t/día)
	Medio alto	Medio bajo			
Chaupimarca	0.470	0.468	0.469	26234	12.3
Simón Bolívar	0.468	0.467	0.469	2450	1.16
Yanacancha	0.471	0.470	0.470	27789	13.06
Total	1.409	1.405	1.408	56473	26.52
Promedio	0.470	0.468	0.469		

Tomado de Municipalidad Provincial de San Román (31).

Por otro lado, la Tabla 3 muestra la generación de residuos no domiciliarios y especiales. Se observa que los residuos no domiciliarios alcanzaron un total de 37.20 t/día, siendo Yanacancha el distrito con mayor tonelaje (18.25 t/día), luego por Chaupimarca (16.24 t/día) y

Simón Bolívar (2.71 t/día). Los residuos especiales sumaron un total de 1.39 t/día, distribuidos principalmente entre Yanacancha (0.62 t/día) y Chaupimarca (0.59 t/día), mientras que Simón Bolívar aportó 0.18 t/día.

Tabla 3. Generación de residuos no domiciliarios (t/día).

Distritos	N° domiciliarios	Especiales
Chaupimarca	16.24	0.59
Simón Bolívar	2.71	0.18
Yanacancha	18.25	0.62
Total	37.20	1.39

Tomado de Municipalidad Provincial de San Román (31).

En cuanto a la composición de los residuos sólidos domiciliarios, la Tabla 4 revela que el 38.56% corresponde a residuos aprovechables (reciclados o reutilizables), seguidos por los orgánicos con un 30.68%, los no aprovechables con un 22.87%, por

último, los inorgánicos con un 7.89%. El sector medio bajo generó una mayor cantidad de residuos orgánicos (1,453.85 kg) en comparación con el sector medio alto (898.34 kg).

Tabla 4. Composición de los residuos sólidos domiciliarios.

Tipos de residuos	Medio alto		Medio bajo		Total	
	Peso (kg)	%	Peso (kg)	%	Peso (kg)	%
Aprovechables	358.30	40	548.82	37.75	907.12	38.56
Orgánicos	217.40	24	504.17	34.68	721.57	30.68
Inorgánicos	140.90	16	44.65	3.07	185.55	7.89
No aprovechables	181.74	20	356.21	24.50	537.95	22.87
Total	898.34	100	1453.85	100.00	2352.19	100.00

Tomado de Municipalidad Provincial de San Román (31).

Transporte

Se realiza utilizando 6 camiones compactadores de 6 200 kg de carga útil, 2 volquetes y 5 vehículos trimóviles de 600 kg. No existe estación de transferencia. En Yanacancha, hay deficiencias para cumplir con los servicios de recojo y transporte de residuos, la cobertura es alrededor de 85% del área establecida para el recojo, los sectores menos favorecidos son los asentamientos humanos donde la frecuencia de recojo es de dos días por semana.

Aprovechamiento y valorización de residuos

La Municipalidad Provincial de Pasco tiene una planta piloto para la valorización de residuos sólidos donde se realiza producción de compost como parte de la valoración biológica aeróbica, la cantidad producida mensual es de 1 500 kg; se deja más del 50% para ser llevados a disposición final a cielo abierto. El abono orgánico producido es utilizado para contribuir con la fertilización de los jardines de los espacios públicos de la ciudad.

La valorización (reciclaje y la reutilización) son ejecutadas en cantidades muy pequeñas, se estima, menos de media t/día, lo realizan recicladores informales. La valoración energética y biológica con proceso anaeróbicos no son realizados. De estos datos y teniendo en consideración que los residuos orgánicos abarcan el 50% de los residuos aprovechables, los inorgánicos que son el 13% de los aprovechables pueden ser mejor utilizados con mayor producción de abono orgánico que es técnicamente posible que está demostrado en la planta piloto.

Disposición final

El destino final es simplemente un botadero a cielo abierto que está ubicado en un lugar denominado Rumillana, a cinco kilómetros de la ciudad, tiene como coordenadas UTM WGS 84 Este: 361814 Norte 8821411 y asentada encima del desmonte de material minero de propiedad de una empresa minera sin ningún tipo de control.

Discusión

En la presente discusión, se aborda la problemática de la generación de residuos sólidos como consecuencia de la modernización y la cultura de usar y tirar, contrastando esta realidad con los datos obtenidos a través del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (EC-RSM) (24), el cual permite determinar la generación de residuos sólidos per cápita (GPC). Este indicador, como señala el INAM (Instituto Nacional del Ambiente), facilita la comparación entre diferentes estudios y la estimación de la generación total de residuos en función de la cantidad de habitantes, así como la densidad necesaria para dimensionar los sistemas de almacenamiento, transporte y disposición final.

El incremento y la densidad poblacional influyen en la provisión de servicios, lo cual coincide con lo expuesto por García (25), quien destaca la evolución de la conciencia ambiental y los conflictos culturales asociados a la crisis ecológica en paralelo a la capacidad de comprender las relaciones entre sociedad y naturaleza.

Lo que tiene que ver con el aprovechamiento y valorización de residuos, los hallazgos revelan que la Municipalidad Provincial de Pasco cuenta con una planta piloto para la valorización de residuos sólidos, donde se produce compost como parte de la valoración biológica aeróbica, con una producción mensual de 1 500 kg. No obstante, más del 50% de los residuos generados terminan

siendo llevados a disposición final a cielo abierto. El abono orgánico producido se utiliza para fertilizar los jardines de los espacios públicos de la ciudad. En este sentido, el aprovechamiento se enfoca en extraer los recursos contenidos en los residuos, resultados que coinciden con lo expuesto por Tello et al., (26), mientras que la valorización implica que los residuos puedan ser aprovechados e intercambiados en el mercado, generando valor económico para el poseedor.

En cuanto a la disposición final, los hallazgos revelan que esta se realiza en un botadero a cielo abierto denominado Rumillana. Esta práctica contrasta con lo afirmado por Alenza (27), quien señala que la disposición final consiste en la eliminación total o parcial de los residuos intentando no poner en riesgo el ambiente o la salud humana, lo cual debe realizarse en un relleno sanitario con diseño de ingeniería y celdas de seguridad para residuos especiales.

Por otro lado, la gestión y manejo de los residuos sólidos domiciliarios, no domiciliarios y especiales en Perú están bajo responsabilidad de los gobiernos locales y/o las empresas autorizadas por los municipios. En la ciudad de Cerro de Pasco las municipalidades asumen toda la responsabilidad; pero el desempeño del trabajo municipal está todavía lejos de tener características de manejo integral tal como la estable las normas peruanas.

En América Latina y el Caribe, se observa que el sistema de manejo de residuos sólidos

se encuentra aún en estado incipiente para ser considerado como integral y sustentable (28). Hoy se tiene una concepción amplia de lo que es el manejo integral de los residuos sólidos, parte de la adopción de medidas que permitan reducir su generación, lo cual requiere cambiar hábitos de producción y consumo (13). En este sentido, los resultados muestran que, en Cerro de Pasco no hay práctica de la ciudadanía de clasificar y minimizar los residuos sólidos en el ámbito de la generación. No obstante, hay intención para establecer estas actividades para los nuevos planes municipales de gestión y manejo de los residuos sólidos.

En el contexto de América Latina y el Caribe, la separación de residuos desde el origen se encuentra en estado de inicio; aunque algunos países han regulado a través de leyes la implementación del sistema orientado a los generadores de residuos, en la práctica no ha sido aplicado, ya sea por falta de disposición de los usuarios o los generadores, o por deficientes políticas y estrategias de implementación por parte de los prestadores del servicio de aseo urbano; también, por la inexistencia de consciencia ecológica de ambas partes. En el Perú y Pasco, la no clasificación en la fuente se puede atribuir también a la reciente legislación con vigencia de hace 4 años, norma que está en proceso de aplicación. Lo que coincide con los resultados de Sáenz y Urdaneta (29) quienes afirman que, para lograr mejoras en el manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe, se

requiere voluntad por parte de los gobernantes, fuertes inversiones y educación continua de la ciudadanía en el tema del aprovechamiento de los residuos.

De manera similar, se debe decir también, que la generación de residuos sólidos municipales en Cerro de Pasco es de 65.11 t/día, los residuos domiciliarios generados son de 0.470 kg/hab./día, valores similares encontrados en el estudio de caracterización de San Román, en el 2015 generó 0.536 Kg/hab/día (30). En Chimbote, la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios fue de 0.425 kg/hab./día, donde los orgánicos representan el 69,03 (25) y los de América Latina y el Caribe, estimó que la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios llega a 0.41 kg/hab./día, para ciudades no grandes (31).

Adicionalmente, en Cerro de Pasco la poca valorización de residuos sólidos se realiza con la práctica del compostaje para generar abono orgánico, pero en cantidades pequeñas de 1.5 t/mes. La valorización, energética o biológica con procesos anaeróbicos no son realizadas, sea directamente por los municipios o a través de terceros. Hay pequeñas cantidades de residuos llamados recuperados (reciclaje y reutilización) que es de menos de 15 t/mes. En una realidad urbana, los residuos más allá de ser meramente basura, cada vez más se vuelven importantes reservas de materiales utilizados no sólo mediante el reciclaje de los flujos inmediatos de salida

de materiales; sino, a partir de la disposición y concentrado de sustancias para hacerlas técnica y económicamente viables en el futuro próximo (32).

En América Latina y el Caribe ha prevalecido el manejo de los residuos bajo el esquema de recolección y disposición final dejando rezagados el aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos, así como la disposición final sanitaria y ambientalmente adecuada (33). El proceso energético muy utilizado es la incineración, la cual es un método de reducción química del volumen de los residuos, la tendencia en países desarrollados es la de utilizar la incineración con recuperación de energía en forma de calor (34).

Se han encontrado las ventajas de aprovechar los residuos orgánicos al implementar los biohuertos en los domicilios familiares en Huancavelica-Perú (19, 35). Se tiene propuestas de valorizaciones de residuos sólidos para la ciudad de Juliaca, en Perú que son técnicamente viable, económicamente beneficio y ambientalmente conveniente (32).

CONCLUSIONES

En primer lugar, este estudio ha puesto de manifiesto la grave situación de contaminación ambiental que enfrenta la ciudad de Cerro de Pasco, resultado directo de las actividades mineras y del manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales.

Además, la cantidad generada por día es 66 toneladas métricas de una población estimada de 56 473 habitantes. Las cantidades promedio generadas de residuos domiciliarios es de 0.470 kilogramos por persona cada día. Estos resultados confirman que, la gestión y el manejo de estos residuos están lejos de ser integrales y sostenibles, evidenciando la necesidad urgente de mejorar las prácticas actuales.

Por otro lado, la población de Cerro de Pasco percibe claramente cómo los residuos sólidos municipales contribuyen a la contaminación ambiental de la ciudad, se han identificados las dificultades en cada una de las etapas del manejo de estos residuos y que constituyen los elementos de juicio para ayudar a las autoridades municipales a mejorar la gestión y manejo de estos residuos, porque contribuirá a la mejora tanto para la planificación técnica y operativa del manejo de estos residuos cuanto para la planificación administrativa y financiera del servicio de limpieza pública.

Finalmente, es necesario considerar la implementación de prácticas sostenibles para el manejo de residuos sólidos y reducir la contaminación ambiental en Cerro de Pasco. De esta forma, no solo protegerá la salud pública y el medio ambiente, sino que también contribuirá a mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta histórica ciudad minera. Considerar la adopción de medidas correctivas y preventivas es imperativo

para revertir los efectos de la contaminación y posibilitar la construcción de un futuro más saludable y sostenible para Cerro de Pasco.

CONFLICTO DE INTERESES. Se declara que se ha cumplido con los requisitos éticos y legales pertinentes, durante el estudio y en la producción del manuscrito. No hay conflictos de intereses de ningún tipo. todas las fuentes financieras han sido asumidas por el equipo investigador. y que se está totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Source International. Cerro de Pasco: Entre violaciones a derechos humanos y la ausencia de justicia ambiental. 2024. <https://www.source-international.org/news/cerro-de-pasco-entre-violaciones-a-derechos-humanos-y-la-ausencia-de-justicia-ambiental>
2. Organización de las Naciones Unidas [ONU]. Perú: Comunidades de Cerro de Pasco llevan década Business & Human Rights Resource Centre. 2022. <https://www.business-humanrights.org/es/%C3%BAltimas-noticias/per%C3%BA-comunidades-de-cerro-de-pasco-llevan-d%C3%A9cadas-viviendo-con-la-contaminaci%C3%B3n-de-la-producci%C3%B3n-minera/>
3. Mongabay. Perú: comunidades envenenadas por la minería en Cerro de Pasco. 2024, January 11. <https://es.mongabay.com/2024/01/peru-comunidades-envenenadas-por-mineria-cerro-de-pasco/>
4. EarthRights International. Cerro de Pasco: Entre violaciones a derechos humanos y la ausencia de justicia ambiental. 2024, June 21. http://earthrights.org/media_release/cerro-de-pasco-entre-violaciones-a-derechos-humanos-y-la-ausencia-de-justicia-ambiental/
5. Organización Mundial de la Salud [OMS]. (s.f.). Residuos sólidos. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/solid-waste>
6. Organización Panamericana de la Salud OPS. Residuos sólidos OPS, OMS. S.f. <https://www.paho.org/es/temas/residuos-solidos>
7. Virgili A. La peste negra, la epidemia más mortífera. 2012. https://historia.nationalgeographic.com.es/a/peste-negra-epidemia-que-hizo-temblar-europa_6280
8. Banco Mundial. Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos. 2018. <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
9. OPS, OMS. Manejo de desechos sólidos. 2013. <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.paho.org/sites/default/files/2019-12/Nota-tecnica-sobre-agua-saneamiento-higiene-12.pdf>
10. Naciones Unidas. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, Brasil. 1992. <https://www.un.org/es/conferences/environment/rio1992>
11. Rondón E, Szató M, Pacheco J, Contreras E, Gálvez A. Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Manuales de la CEPAL. Santiago: Naciones Unidas; 2016. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40407>
12. Kaza S, Yao L, Bhada-Tata P, Woerden F Van. WHAT A WASTE 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington; 2018: 1–34. <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/system/files/generated/document/en/211329ov.pdf>
13. Moyano S. Buenas prácticas de gestión de gases de efecto invernadero de R.S.U. en la provincia de Córdoba. Universidad Nacional de Córdoba; 2016. <https://n9.cl/pd1whw>
14. Delgado G. Residuos sólidos municipales, minería urbana y cambio climático. El Cotid. 2016;(195):75–84. <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/325/32543454009.pdf>

- 15.** Montes C. Estudio de los residuos en Colombia. Primera. Colombia: Universidad Externado de Colombia; 2018. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/34996da5-2eab-4fc3-ad8b-2eb67a322507/content
- 16.** Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). La gestión y manejo de residuos sólidos y sus propuestas regulatorias e impositivas. Naciones Unidas. Santiago; 2017. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45252/1/S1700148_es.pdf
- 17.** Contreras C. Indios y blancos en la ciudad minera: Cerro de Paso en el siglo XIX. In: Kingman Garcés E, editor. Ciudad de los Andes, Visión histórica y contemporánea. Primera. Ecuador; 1992: 175–222. file:///C:/Users/HITLSE/Downloads/LFLACSO-Kingman-COMP-5714-PUBCOM.pdf
- 18.** MINSA. Monitoreo de calidad de Aire en Cerro de Pasco. Cerro de Pasco: MINSA; 2008: 1–13. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/pral2/mpca-informes/Pasco NOV 2008.pdf
- 19.** SOURCE. Assessment of human exposure to heavy metals pollution Cerro de Pasco. Sour. 2022. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://n9.cl/md3kby
- 19.** SOURCE. Assessment of human exposure to heavy metals pollution Cerro de Pasco. Sour. 2022. https://n9.cl/w2kg5
- 20.** Ministerio de Salud. Decreto Supremo que declara en Emergencia Sanitaria por el plazo de noventa (90) días calendario en doce (12) distritos de las provincias de Pasco y Daniel Alcides Carrión del departamento de Pasco. Diario Oficial El Peruano, 14441 Lima: El Peruano; 2018: 31–3. https://diariooficial.elperuano.pe/Normas/VisorPDF
- 21.** Ministerio de Salud. Decreto Supremo que prorroga la emergencia sanitaria aprobado por Decreto Supremo N° 005-2018-SA. Diario Oficial El Peruano, 14542 Lima: El; 2018: 1–2. https://n9.cl/c6e6to
- 22.** Poder Ejecutivo. Decreto legislativo que aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos. 1278 Lima: El Peruano; 2016: 607472–88. https://diariooficial.elperuano.pe/normas
- 23.** Ministerio del Ambiente. Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. El Peruano, 014 Lima: El Peruano; 2020: 18–49. https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-de-urgencia-que-establece-medidas-excepcionales-y-te-decreto-de-urgencia-n-090-2020-1874820-3
- 24.** MINAM. Guía para la Caracterización de residuos sólidos Municipales. Lima - Perú: Ministerio del Ambiente; 2019. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/523785/Guía_para_la_caracterización_rsm-29012020__1_.pdf?v=1581976231
- 25.** García E. Medio ambiente y sociedad. La civilización industrial y los límites del planeta. Madrid: Alianza Editorial; 2004. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=293076
- 26.** Tello P, Martínez E, Diego D, Soulier M, Terraza H. Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe 2010. 2010. file:///C:/Users/HITLSE/Downloads/Informe-de-la-evaluación-regional-del-manejo-de-residuos-sólidos-urbanos-en-América-Latina-y-el-Caribe-2010 (1).pdf
- 27.** Alenza J. El sistema de la gestión de residuos sólidos urbanos en el derecho español [Internet]. Madrid: Boletín Oficial del Estado (BOE); 1977. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=116127
- 28.** Betancor Rodríguez A. Instituciones de Derecho Ambiental. Madrid: LA LEY-ACTUALIDAD, S.A.; 2001: 142–181 file:///C:/Users/HITLSE/Downloads/Betancor.PDF.pdf
- 29.** Sáez A, Urdaneta A. Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Omnia. 2014;20(3):121–35. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf

- 30.** Organización Panamericana de la Salud. Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington; 2005.
- 31.** Municipalidad Provincial de San Román. Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Juliaca. Puno, Perú. 2015. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2799095/RESOLUCION%20DE%20ALCALD%C3%8DA%20N%C2%B0%20318%20-2019.pdf>
- 32.** Huamaní Montesinos C, Tudela Mamani JW, Huamaní Peralta A. PROBLEMA AMBIENTAL DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE JULIACA-PUNO-PERÚ. Rev Investig Altoandinas - J HighAndeanRes.2020Jan23;22(1):106–15. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v22n1/2313-2957-ria-22-01-106.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v22n1/2313-2957-ria-22-01-106.pdf)
- 33.** Baccini P, Brunner PH. Metabolism of the Anthroposphere: Analysis, evaluation, design. 2nd ed. The MIT Press; 2012. <https://direct.mit.edu/books/monograph/2185/Metabolism-of-the-AnthroposphereAnalysis>
- 34.** Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS, Internacional de Investigaciones para el Desarrollo - IDRC. Directrices para la gestión integrada y sostenible de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe. São Paulo; 2005. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/57fa7d3f-8f30-4896-a3bd-f74ef48c8525/content](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/57fa7d3f-8f30-4896-a3bd-f74ef48c8525/content)
- 35.** Jaramillo J. Gestión integral de residuos sólidos municipales-GIRSM. In: Seminario Internacional: Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos Siglo XXI. Medellín; 1999. <https://es.scribd.com/document/318348634/GESTION-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-MUNICIPALES-pdf>

ACERCA DE LOS AUTORES

Leonidas Félix Villaorduña Caldas. Doctor en Economía, Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Docente en varias universidades de Perú y profesor visitante en la Universidad de Burgos de España. En la UNDAC; Vicerrector de Investigación y docente investigador con registro RENACYT. Líneas de investigación microeconomía y economía ambiental con producción de libros y artículos científicos en revistas indizadas, Perú.

Hiltser Juan Castillo Paredes. Bachiller en Ciencias Biológicas. Maestro en Ciencias-Gestión Ambiental. Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Docente, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Vicepresidente Académico, Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas. Participación en eventos nacionales. Línea de investigación en medio ambiente. Investigador RENACYT, Perú.

Hans Nicolás Huamán López. Maestro en Educación, mención: Investigación y Tecnología Educativa, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Docente universitario. Línea de Investigación en Medicina tradicional, ciencia del cuidado e interculturalidad, Perú.

Jhan Carlos Jimenez Inza. Ingeniero Ambiental Colegiado. Maestría en Gestión del Sistema Ambiental, con experiencia laboral en la elaboración y evaluación de estudios ambientales, gestión integral de residuos sólidos y en seguridad y salud, Perú.

Macroinvertebrados bentónicos y la calidad de agua de afluente del río Aguaytía en la selva baja de Perú

Benthic macroinvertebrates and water quality of a tributary of the Aguaytía river in the lowland rainforest of Peru

Macroinvertebrados bentônicos e a qualidade da água de um afluente do rio Aguaytía na selva de várzea do Peru

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.345>

Greysy Minchola Soto¹
greiskath@hotmail.com

Manuel Ñique Álvarez²
mnique@undc.edu.pe

José Gil Bacilio¹
jose.gil@unas.edu.pe

¹Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Tingo María, Perú

²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cañete. Lima, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Introducción: El agua dulce es un recurso renovable, pero su calidad, con las actividades antropogénicas ha sido afectada; en ese sentido, para determinar la calidad del agua de la quebrada Río Negro afluente al río Aguaytía (Ucayali, Perú). **Objetivo:** Evaluar cómo las variaciones estacionales (épocas de estiaje y lluvia) influyen en la calidad del agua y la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Aguaytía. **Materiales y método:** El enfoque del estudio es cuantitativo, tipo descriptivo y experimental. Se calcularon los índices ASPT y Shannon-Weiner (H'). Los muestreos se realizaron en septiembre 2020 (época de estiaje) y enero 2021 (época de lluvia), considerando métodos estandarizados para coleccionar las muestras e identificar los macroinvertebrados bentónicos, los que se coleccionaron en 8 puntos de muestreo, en épocas de estiaje y de lluvia. **Resultados:** En concordancia al Índice ASPT y H' los valores de la calidad de agua están en el rango de buena, aceptable y dudosa; y estadísticamente no difieren en la estacionalidad y lugar de muestreo; además los valores de ASPT correlacionan moderadamente con los valores de H'. **Conclusiones:** Se demuestra la existencia de una relación positiva moderada entre la calidad de agua y niveles de biodiversidad de los macro invertebrados bentónicos.

Palabras clave: Agua; Biodiversidad, Calidad; Índice; Macroinvertebrados

ABSTRACT

Introduction: Sweet water is a renewable resource, but its quality has been affected by anthropogenic activities; In this sense, to determine the quality of the water of the Río Negro tributary of the Aguaytía river (Ucayali, Peru). **Objective:** Evaluate how seasonal variations (dry seasons and rain) influence water quality and biodiversity of benthic macroinvertebrates in the Aguaytía River. **Materials and method:** The approach of the study is quantitative, descriptive and experimental. The ASPT and Shannon-Weiner (H') indices were calculated. The muestreos will be carried out in September 2020 (dry season) and 2021 (rainy season), considering standardized methods to collect samples and identify benthic macroinvertebrates, which were collected in 8 sampling points, in dry and rainy seasons. **Results:** In agreement with the ASPT Index and H' the values of water quality are within the range of good, acceptable and dubious; and statistically no difference in season and museum location; Furthermore, ASPT values moderately correlate with H' values. **Conclusions:** The existence of a moderate positive relationship between water quality and biodiversity levels of benthic macro invertebrates is demonstrated.

Key words: Water; Biodiversity, Quality; Index; Macroinvertebrates

RESUMO

Introdução: A água doce é um recurso renovável, mas de qualidade, pois atividades antropogênicas foram afetadas; nesse sentido, para determinar a qualidade da água da quebrada Rio Negro, afluente do rio Aguaytía (Ucayali, Peru). **Objetivo:** Avaliar como as variações estacionais (épocas de estiagem e aluvião) influenciam a qualidade da água e a biodiversidade de macroinvertebrados bentônicos no rio Aguaytía. **Material e método:** A abordagem do estudo é quantitativa, do tipo descritivo e experimental. Se calcular os índices ASPT e Shannon-Weiner (H'). Os monumentos foram realizados em setembro de 2020 (época de estiagem) e janeiro de 2021 (época de chuva), considerando métodos padronizados para coletar as amostras e identificar os macroinvertebrados bentônicos, aqueles que foram coletados em 8 pontos de monumento, em épocas de estiagem e de chuva. **Resultados:** Em concordância com o Índice ASPT e H' os valores da qualidade da água estão na faixa de bom, aceitável e dudosa; e estatisticamente não difere na estacionalidade e local de museu; além dos valores de ASPT correlacionaram-se moderadamente com os valores de H'. **Conclusões:** Demonstra-se a existência de uma relação moderadamente positiva entre a qualidade da água e os níveis de biodiversidade dos macroinvertebrados bentônicos.

Palavras-chave: Água; Biodiversidade, Qualidade; Índice; Macroinvertebrados

INTRODUCCIÓN

El recurso agua dulce es un recurso renovable pero finito y al llevar a cabo evaluaciones de posibles causas de deterioro de la calidad de los cuerpos de agua naturales (1) se indica que la principal amenaza para la calidad del agua es la descarga de aguas residuales urbanas, seguida por los vertederos de desechos sólidos y los pasivos ambientales de minas, lo que afecta a la salud humana y de los ecosistemas.

En ese sentido, para determinar la calidad de los cuerpos de agua, tradicionalmente se hace mediante análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, que son caros y dan una información puntual y restringidos temporalmente. Alternativamente, en los últimos años se ha incluido a los macroinvertebrados de aguas dulces como parte del monitoreo ambiental; además, de aperturar nuevas ideas y maneras de estudiar el monitoreo ambiental ha conllevado a obtener conocimiento acerca cómo y con qué tipo de contaminante afectan las aguas dulces mediante el implemento de presencia/ausencia, comportamiento y bioquímica de estos animales(2), pero en Perú no está incorporado en el concepto general de la evaluación de la calidad del agua en la normatividad oficial (3).

Estos macroinvertebrados bentónicos que son de un tamaño relativamente grande (visibles al ojo humano), no muy inferiores a 0.5 mm pero habitualmente mayores de 3 mm, son los

más utilizados como indicadores de calidad de agua debido a su elevada diversidad y que estén representados por diferentes taxones, requerimientos ecológicos diferentes relacionados con las características hidromorfológicas, físico-químicas y biológicas del medio acuático (4); por lo que resultan ser una herramienta biológica para determinar un daño ambiental específico, debido a que, mediante estos macroinvertebrados bentónicos se puede evaluar y monitorear la calidad del agua por las respuestas a una variedad de factores ambientales que alteran el ecosistema acuático.

Asimismo, estos macroinvertebrados tienen amplia distribución, son fáciles de coleccionar e identificar y además en su mayoría son sedentarios, por lo tanto, reflejan las condiciones de su hábitat, representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo, proporcionan información sobre efectos acumulativos y poseen ciclos de vida largos (semanas y/o meses) lo que contribuye a informar el estado de los ríos que han experimentado una intensa presión debido a la explotación y los cambios en el uso de la tierra en las últimas décadas, lo que ha tenido un impacto en la calidad del agua en las cuencas hidrográficas (5, 6).

Considerando estas características de sensibilidad de los macroinvertebrados bentónicos a la contaminación acuática, se comprobó la calidad de agua de la quebrada Rio Negro afluente

al río Aguaytía, mediante la determinación de un índice de Shannon-Wiener (H') e índice ASPT.

La importancia de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua es ampliamente reconocida, ya que su presencia y abundancia pueden reflejar cambios en las condiciones ambientales acuáticas. Sin embargo, en la región de la selva baja de Perú, específicamente en el río Aguaytía, existe una necesidad de investigar cómo las variaciones estacionales afectan la calidad del agua y la biodiversidad de estos organismos. Esto es particularmente relevante debido a los cambios climáticos y actividades humanas que podrían estar impactando negativamente en el ecosistema. Por lo tanto, surge la interrogante: ¿Cómo afectan las variaciones estacionales en las condiciones ambientales la calidad del agua y la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Aguaytía?

En consecuencia, el objetivo de este estudio es evaluar cómo las variaciones estacionales (épocas de estiaje y lluvia) influyen en la calidad del agua y la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Aguaytía, utilizando índices como BMWP/Col y ASPT para determinar la calidad del agua y el índice de Shannon-Wiener para evaluar la biodiversidad. Este objetivo busca dar respuesta a la interrogante planteada, a su vez, proporcionar información para la gestión ambiental sostenible del río Aguaytía.

MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se realizó en la quebrada denominada “Río Negro” (7) que cruza de sur a norte el centro poblado Villa Aguaytía, distrito Padre Abad, provincia Padre Abad, departamento de Ucayali (8) y es un afluente del río Aguaytía (Ucayali, Perú).

El enfoque para realizar el estudio fue cuantitativo, ya que se recolectaron datos numéricos sobre la abundancia de macroinvertebrados, utilizando índices cuantitativos como BMWP/Col y ASPT para evaluar la calidad del agua. Además, se analiza estadísticamente la relación entre estos índices y la diversidad de macroinvertebrados.

En cuanto al tipo de estudio es descriptivo, ya que se describe la composición de macroinvertebrados y la calidad del agua en diferentes puntos de muestreo y épocas del año. Sin embargo, también contiene un componente exploratorio, pues trata de explicar cómo las variaciones estacionales afectan la calidad del agua y la biodiversidad.

El diseño seleccionado es transversal, ya que se realizan muestreos en diferentes momentos (estiaje y lluvia) en varios puntos del río. Aunque no se sigue a los mismos individuos a lo largo del tiempo, se compara la situación en dos momentos específicos, lo que permite evaluar cambios en la calidad del agua y la biodiversidad entre estas épocas.

Los muestreos se realizaron en 8 puntos de muestreos, según se muestra en la Tabla 1, en época de estiaje en septiembre 2019 (Muestreo 1=

M1) y en época de lluvia en enero 2020 (Muestreo 2= M2) y las condiciones climáticas se indican en la Tabla 2.

Tabla 1. Ubicación de puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Coordenadas UTM (WGS84)	
	Este (m)	Norte (m)
P1	443039	9000395
P2	443125	9000417
P3	443209	9000384
P4	443363	9000332
P5	443653	9000431
P6	443758	9000536
P7	444076	9000864
P8	444142	9001285

La colecta de macroinvertebrados bentónicos se realizó según lo establecido en Samanez (9), para lo cual, en cada lugar muestreado se delimitó un espacio de 20 metros de largo y se dividió en tres

partes, haciendo para cada estación una unidad de esfuerzo (10) de 1.5 horas, y luego se hizo la identificación taxonómica a nivel de familias (5).

Tabla 2. Condiciones ambientales en la fecha del muestreo.

Muestreo	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)	Precipitación (mm/día)
	Max	Min		Total
M 1	34	21.5	83.8	0
M 2	30	24	86.1	19

*Tomado de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (11).

Para determinar el índice de calidad del agua, inicialmente se desarrolló el cálculo del índice BMWP/Col. (Biological Monitoring Working Party) (5,12), que consiste en asignar puntajes de tolerancia a las familias presentes un determinado lugar de muestreo y sensibles o tolerantes a la

contaminación del agua, y además independiente al número de individuos colectados (13).

Posteriormente, se sumaron las puntuaciones asignadas a las familias presentes, y se obtiene el valor del Índice BMWP/Col, lo que corresponde a la calidad de agua del lugar muestreado (14,15)

tal como se muestra en la Tabla 3. Con los valores de BMWP/Col. se calculó el índice ASPT (Average Score per Taxon) que expresa el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas en un sitio determinado (16) y los valores de ASPT Tabla 3, están en el rango 0 - 10 y además se caracteriza al agua según su clase y calidad (17) y además se da un significado.

Para hallar la diversidad, se calculó el índice de Shannon-Wiener (H') (18,19) mediante el uso del software Past 4.03 (20). Asimismo, se analizó estadísticamente la relación entre los valores de ASPT y el Índice de Shannon-Weiner mediante la correlación de Pearson y los estadísticos de Shapiro-Wilk, Kruskal Wallis y prueba t para la igualdad de medias.

Tabla 3. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo a los índices BMWP/Col. y ASPT.

Clase	Calidad	BMWP	ASPT	Significado
I	Buena	≥150	>9 -10	Aguas muy limpias
		123-149	>8 - 9	Aguas no contaminadas
II	Aceptable	71-122	>6.5 - 8	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación
III	Dudosa	46-70	>4.5- 6.5	Aguas moderadamente contaminadas
IV	Crítica	21-45	>3 – 4.5	Aguas muy contaminadas
V	Muy crítica	<20	1 - 3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica

Fuente: Álvarez (5).

La distribución y abundancia de cualquier organismo son modeladas por factores bióticos y abióticos, inertes o físicos (21,22), principio que se aplica a los macroinvertebrados bentónicos, que son organismos bioindicadores sensibles a las perturbaciones ambientales, afectándose su distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras; por ello, estos son usados como estimadoras de las condiciones ambientales, entre ellas la calidad de agua que en algunos casos resultan difíciles, inconvenientes o costosas de

medir directamente. Así, los bioindicadores en un estricto sentido, proporcionan información cualitativa de la salud del ambiente a través de su presencia/ausencia o mediante cambios en su abundancia (23).

En las Tablas 4 y 5, se indica la presencia de 12 familias, las que se repiten de las dos épocas de muestreo, lo que indica que dichos organismos tienen un nivel de tolerancia a la perturbación del ambiente acuático (24).

Tabla 4. Taxonomía y abundancia del muestreo 1.

Familia	Abundancia							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Leptophlebiidae	15	10	15	23	19	4		
Perlidae	20							
Hidropsychidae	3		2	6	9			
Odontoceridae	12							
Coenagrionidae	17		6	7	6	2	2	1
Gomphidae	9	2	1					
Elmidae	2	3						
Psephenidae	4		1	6	2			
Naucoridae	3	6						
Hyalellidae	4							
Glossiphoniidae	1	6	4			7	10	6
Planariidae	1	2	3	2	1			
Abundancia por familia	12	6	7	5	5	3	2	2
Total	42							

Asimismo, la abundancia de familias Tablas 4 y 5, cambia según la estacionalidad, así Leptophlebiidae que tiene la mayor abundancia (86 individuos) y es indicador de agua limpias o ligeramente contaminada, en época de en época de estiaje explicado por las condiciones favorables del habitat, que cambia para la época de lluvia, periodo en que la familia Coenagrionidae tiene la mayor abundancia (44 individuos), la variación del número de individuos podrían estar afectada

por los factores físicos y químicos del cuerpo de agua y además por los ciclos biológicos de los macroinvertebrados.

Una observación especial merece la familia Elmidae, que en ambos muestreos tiene abundancia baja (5 y 9 individuos), son comunes en aguas loticas con alto contenido de oxígeno, pero también se les puede encontrar en cuerpos de agua moderadamente contaminados (25).

Tabla 5. Taxonomía y abundancia del muestreo 2 (época de lluvia).

Familia	Abundancia							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Leptophlebiidae	12	6	4					
Perlidae	17	11	10	6				
Hidropsychidae	6		6	7	13	12		
Odontoceriidae	2							
Coenagrionidae	9	1	1	6	12	10	4	2
Gomphidae	6							
Elmidae	9							
Psephenidae	10	2		1				
Naucoridae	2	1			1			
Hyalellidae	4							
Glossiphoniidae	4					11	11	8
Planariidae	2	1	3	5	3			
Abundancia por familia	12	6	5	5	4	3	2	2
Total	39							

Con los datos de ambas épocas muestreos (estiaje y lluvia) se determinaron, para cada época, la diversidad con el criterio de la heterogeneidad, mediante el índice Shannon-Weiner (H') el que es muy sensible al cambio de la abundancia de las especies (26, 27).

Para el primer muestreo Tabla 6, H' oscila entre 0.4101 bits/ind. a 2.122 bits/indiv., lo que

significa un nivel de diversidad media y baja respectivamente. El nivel de diversidad media coincide con la calidad de agua aceptable y dudosa según el índice ASPT, mientras que los valores bajo de diversidad, coinciden con la calidad de agua solamente dudosa.

Tabla 6. Índices BMWP//Col, ASPT y Biodiversidad (H') de Muestreo 1 (estiaje).

Estación de muestreo	BMWP/Col	Número de familias	ASPT				Diversidad H' Bits/indiv.	
			Clase	Calidad	Valor	Significado	Valor	Nivel
E1	86	12	II	Aceptable	7.16	Ligeramente contaminada: se evidencian efectos de la contaminación	2.122	Diversidad media
E2	38	6	III	Dudosa	6.33	Aguas moderadamente contaminadas	1.623	D. media
E3	43	7	III	Dudosa	6.14	Aguas moderadamente contaminadas	1.541	D. media
E4	40	5	II	Aceptable	8	Ligeramente contaminada: se evidencian efectos de la contaminación	1.315	D. media
E5	40	5	II	Aceptable	8	Ligeramente contaminada: se evidencian efectos de la contaminación	1.236	D. media
E6	17	3	III	Dudosa	5.6	Aguas moderadamente contaminadas	0.984	D. baja
E7	10	2	III	Dudosa	5	Aguas moderadamente contaminadas	0.451	D. baja
E8	10	2	III	Dudosa	5	Aguas moderadamente contaminadas	0.4101	D. baja

Para el segundo muestreo los valores de la diversidad oscilan entre 2.283 bits/indiv. y 0.5004 bits/indiv Tabla 7, lo que significa diversidad del nivel mediana y baja respectivamente. Estos niveles de diversidad media coinciden con la calidad de agua buena, aceptable y dudosa según el índice ASPT, mientras que los niveles bajo de diversidad coinciden con agua de calidad dudosa.

Tabla 7. Índices BMWP//Col, ASPT y Biodiversidad (H') del muestreo 2 (lluvia)

Estación de muestreo	BMWP/Col	Número de familias	ASPT							Diversidad H' Bits/indiv.	
			Clase	Calidad	Valor	Significado				Valor	Nivel
E1	86	12	II	Aceptable	7.2	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación				2.283	Media
E2	50	6	I	Buena	8.3	Aguas no contaminadas				1.34	Media
E3	40	5	I	Buena	8.0	Aguas no contaminadas				1.402	Media
E4	41	5	I	Buena	8.2	Aguas no contaminadas				1.492	Media
E5	28	4	II	Aceptable	7.0	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación				1.076	Media
E6	17	3	III	Dudosa	5.7	Aguas moderadamente contaminadas				1.096	Media
E7	10	2	III	Dudosa	5.0	Aguas moderadamente contaminadas				0.58	Baja
E8	10	2	III	Dudosa	5.0	Aguas moderadamente contaminadas				0.5004	Baja

La media de los valores del índice de Shannon-Wiener (H') para el muestreo 1 (estiaje) fue de 1.210262, mientras que para el muestreo 2 (lluvia) fue ligeramente mayor, con un valor de 1.221175. La desviación estándar para el muestreo 1 fue de 0.5843887, y para el muestreo 2 fue de 0.5625201. La media de error estándar fue de 0.2066126 para el muestreo 1 y de 0.1988809 para el muestreo 2.

Para evaluar si existen diferencias significativas en las medias de H' entre las dos épocas de muestreo, se realizó una prueba t-student. El

resultado de esta prueba arrojó un valor de t igual a -0.038, con un grado de libertad de 14 y una significancia bilateral de 0.970. Este resultado indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en los valores de H' entre el estiaje y la lluvia, ya que el valor de significancia es mayor que 5%. Los resultados se visualizan gráficamente en la Figura 1, que muestra un diagrama de cajas simple de los valores del índice de Shannon-Wiener H' según época de muestreo.

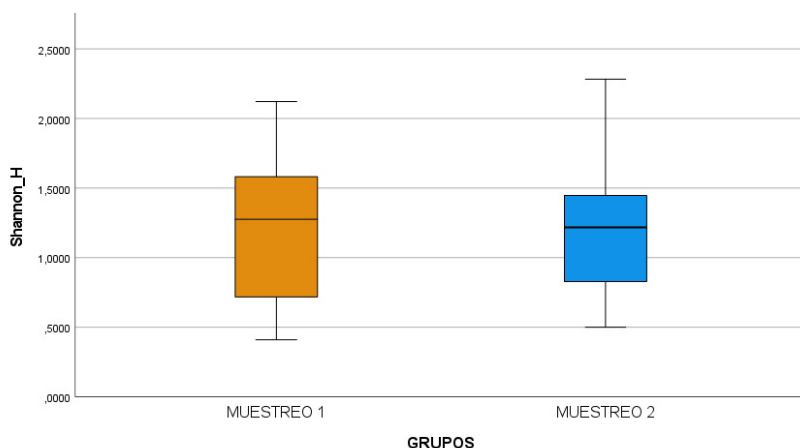


Figura 1. Diagrama de cajas simple de los valores del índice de Shannon-Weiner H' según época de muestreo.

La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para determinar si los datos de los índices ASPT y H' siguen una distribución normal. Para el índice ASPT, el estadístico de Shapiro-Wilk fue de 0.875, con un grado de libertad de 16 y una significancia de 0.033, lo que indica que los datos no siguen una distribución normal. Por otro lado, para el índice H' , el estadístico fue de 0.947, también con un

grado de libertad de 16, pero con una significancia de 0.443, lo que sugiere que los datos sí siguen una distribución normal.

Además, se determinó el índice ASPT, generado a partir del BMWP/Col, debido a que ASPT resulta ser un mejor índice de medición, ya que calcula el promedio de la puntuación de tolerancia (18) y es más sensible que el BMWP,

considerando que es la división del valor de este último por la cantidad de taxa utilizados en el cálculo (28, 29).

Al realizar el análisis de los valores medios del índice ASPT por época de muestreo, se encontró que el ASPT es mayor en la época de lluvia, con un valor de 6.800, mientras que en la época de estiaje alcanza un valor de 6.4038. Aunque el valor medio de ASPT fue mayor en la lluvia, una prueba estadística Kruskal-Wallis no encontró diferencias significativas entre las medias de ASPT para las dos épocas. La prueba arrojó un estadístico de prueba de 0.552, con un grado de libertad de 1 y una significancia asintótica bilateral de 0.458. Las estadísticas de prueba se ajustaron para empates, y no se realizaron comparaciones múltiples porque la prueba global no mostró diferencias significativas entre las muestras.

Esta falta de diferencias significativas se fundamenta en una evaluación previa con la prueba de Shapiro-Wilk, que mostró que el índice ASPT presenta un valor de significancia de 0.033, lo cual es menor que 5%, indicando que los datos no siguen una distribución normal. El total de observaciones para ambos muestreos fue de 16.

Discusión

A partir de los resultados obtenidos en este estudio se destaca la importancia de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua en el río

Aguaytía, Perú. Estos organismos, debido a su amplia distribución, facilidad de colecta e identificación, y naturaleza sedentaria, reflejan efectivamente las condiciones de su hábitat y los efectos de las variaciones ambientales tanto a corto como a largo plazo. Además, su ciclo de vida, que puede durar semanas o meses, permite evaluar los impactos acumulativos de las actividades humanas en el ecosistema acuático.

También, se observó que la composición de macroinvertebrados y los índices de calidad del agua (BMWP/Col y ASPT) variaron entre las épocas de estiaje y lluvia. Durante el estiaje, se encontraron aguas ligeramente contaminadas en algunas estaciones, mientras que, en la época de lluvia, la calidad del agua mejoró en varias áreas, lo que podría deberse a la dilución de contaminantes debido al aumento del caudal del río. Estos hallazgos se alinean con lo que presenta el autor Álvarez (5), quien destaca la importancia de los macroinvertebrados para evaluar la calidad del agua en ecosistemas similares.

La relación entre los índices ASPT y la diversidad de macroinvertebrados (H') también fue significativa, lo que sugiere que la calidad del agua influye en la biodiversidad acuática. Esto se contrasta con lo que presenta el autor Roldan (6), quien encontró que los cambios en la calidad del agua pueden afectar la estructura de las comunidades de macroinvertebrados de manera diferente en otros contextos.

Finalmente, los resultados sugieren que, las actividades humanas y los cambios en el uso del suelo en la cuenca hidrográfica podrían estar impactando la calidad del agua del río Aguaytía.

CONCLUSIONES

Este estudio proporciona evidencia de la calidad de agua de la quebrada “Río Negro” afluente del río Aguaytía, según los macroinvertebrados bentónicos, está en el rango de agua aceptable y dudosa en época de estiaje y en época de lluvia. Durante el estiaje, la calidad del agua se clasifica principalmente como calidades aceptable y dudosa, mientras que, en época de lluvia, se observan calidades del agua buena, aceptable y dudosa. Además, se encontró una relación positiva moderada entre la calidad del agua y los niveles de biodiversidad de los macroinvertebrados bentónicos.

Además, este estudio demuestra que las variaciones estacionales influyen en la calidad del agua y la biodiversidad de macroinvertebrados en el río Aguaytía. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la gestión ambiental sostenible de la cuenca hidrográfica, sugiriendo la necesidad de monitorear periódicamente la calidad del agua y la biodiversidad acuática para impulsar estrategias efectivas de conservación mitigación de impactos ambientales.

Finalmente, para la región amazónica este estudio contribuye al conocimiento sobre

la importancia de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos de esta zona, y a su vez destaca su utilidad para evaluar el impacto de las actividades humanas y los cambios climáticos en la salud del ecosistema acuático.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Autoridad Nacional del Agua. Monitoreo de los Recursos Hídricos en el Perú. ANA; s.f. <https://www.ana.gob.pe/gestion-agua/calidad/pagina/2>
2. Gamboa M, Reyes R, Arrivillaga J. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. Boletín de Malariología y Salud Ambiental. 2008; 48(2): 109-120. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482008000200001&lng=es&tlng=es
3. Lazo C, Piscoya J, Roa P. Análisis crítico del uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua en el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente. 2022; (9): 140-153. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202201.007>
4. Confederación Hidrológica del Ebro. Gestión de cuencas: Macroinvertebrados. 2024. <https://www.chebro.es/web/guest/macroinvertebrados>
5. Álvarez L. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. 2005. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357>
6. Roldán G. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. 2016; Revista Academia Colombiana. 40(155): 254-274. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335>

7. Autoridad Nacional del Agua. Observatorio Nacional de Recursos Hídricos. ANA: s.f. <https://snirh.ana.gob.pe/VisorPorCuenca/?IdVar=251>
8. Autoridad Nacional del Agua. Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables de la quebrada Rio Negro, centro poblado Villa Aguaytía, departamento de Ucayali. ANA: 2016. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5673>
9. Samanez I, Rimarachín V, Palma C, Arana J, Ortega H, Correa V, Hidalgo M. Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. 2014. Ministerio del Ambiente. https://museohn.unmsm.edu.pe/docs/pub_ictio/Mtodoscolectaide ntificacinyanlisisdecomunidadeshidrobiologicasMU SM-MINAMdic2014.pdf
10. Resh V, Jackson J. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. En Rosenberg D.M, Resh V.H, editor. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*: Chapman and Hall, New York, New York; 1993. 195-233. https://www.researchgate.net/publication/247332759_Rapid_Assessment_Approaches_to_Biomonitoring_Using_Benthic_Macroinvertebrates
11. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional. s.f. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
12. Roldán G. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia; 2003.
13. Ayala S, Reinoso W, Calderón D, Jaramillo A, Mesa D. Determinación de la calidad del agua del río Frío (Cundinamarca, Colombia) a partir de macroinvertebrados bentónico. *Avances Investigación En Ingeniería*. 2019; 16 (1): 49-65. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.15191>
14. Arrunátegui K. Utilización de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua y algunos parámetros fisicoquímicos del río Casca, La libertad, marzo- agosto; 2015. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8761/Arrun%C3%A1tegui%20Rojas%2C%20Katherine%20Kelly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. Bullón V. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perene, Chanchamayo; 2016. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3462>
16. Arango M, Álvarez L, Arango G, Torres O, Monsalve A. Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*. 2013. 5(9): 121-141. <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/203>
17. Tolosa D, Castillo-Aguilar M, Beltrán F. Macroinvertebrados bentónicos en tres afluentes de Caño Grande en la zona de influencia de la reserva natural nacional Nukak, Guaviare, Colombia: Aporte a la calidad de agua y características fisicoquímicas. En Serna E, editor. *Ciencia Transdisciplinaria en la Nueva Era*: Instituto Antioqueño de Investigación; 2022; 71-83. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/879378.pdf>
18. Custodio M, Chanamé F. Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales. Junín, Perú. *Revista Scientia Agropecuaria*. 2013; 7 (1): 33-44. 2016. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.01.04>
19. Magurran E. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing. 2004. <https://bit.ly/4ijShsg>
20. Hammer Ø, Harper D, Ryan P. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001; 4(1): 1-9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
21. Frías M. La ecología dinámica. UNAM. 2012. https://www.academia.edu/29593620/Unidad_1_La_Ecolog%C3%AD%Din%C3%A1mica_Autor
22. Khan Academy. ¿Qué es la ecología?. <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/intro-to-ecology/a/what-is-ecology#:~:text=La%20distribuci%C3%B3n%20y%20abundancia%20de,%2C%20comunidad%2C%20ecosistema%20y%20bi%C3%B3sfera>
23. De la Lanza G, Hernández S. Organismos acuáticos como indicadores de cambios

ambientales: características, elección, interpretación, monitoreo. Ventajas y desventajas. En González C, Vallarino A, Pérez J, Low A, editores. Bioindicadores guardianes de nuestro futuro ambiental: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC): 2014. 42-65. https://www.academia.edu/15806347/Bioindicadores_guardianes_de_nuestro_futuro_ambiental

24. Alvan-Aguilar M, Ochoa M, Tuesta S, Ismiño-Orbe R, Chu-Koo F. Comunidades de macroinvertebrados bentónicos de quebradas del área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta, Loreto- Perú. *Ecología Aplicada*. 2024; 23(1): 47-57. <https://doi.org/10.21704/rea.v23i1.2164>

25. González-Córdoba M, Zúñiga M, Giraldo L, Ramírez Y, Chará J. Sensibilidad de Elmidae (Insecta: Coleoptera) a la perturbación del hábitat y la calidad fisicoquímica del agua en ambientes lóticos de los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical*. 2020; 68(2): 601- 622. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i2.36702>

26. Nagendra H. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography*. 2002; 22(2): 175-186. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4)

27. Kiernan D. Introduction, Simpson's Index and Shannon-Weiner Index. Statistics

Library. 2024. https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Applied_Statistics/Natural_Resources_Biometrics_%28Kiernan%29/10%3A_Quantitative_Measures_of_Diversity_Site_Similarity_and_Habitat_Suitability/10.01%3A_Introduction__Simpsons_Index_and_Shannon-Weiner_Index

28. Armitage P, Moss D, Wright J, Furse M. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research*. 1983; 17(3): 333-347. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(83\)90188-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(83)90188-4)

29. Walley W, Hawkes H. A computer-based development of the Biological Monitoring Working Party score system incorporating abundance rating, site type and indicator value. *Water research*. 1997; 31(2): 201-210. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00249-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00249-7)

30. Hernández R, Fernández C, Baptista M. Metodología de la investigación. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V; 2014. 600. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

ACERCA DE LOS AUTORES

Greysy Minchola Soto. Ingeniera Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.

Manuel Ñique Álvarez. Biólogo, Universidad Nacional de Cañete, Perú.

José Gil Bacilio. Biólogo, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.



Riqueza Oculta en el Bosque de Neblina de Unchog, Perú: Diversidad de Flora, Fauna y Belleza Paisajística

Hidden Wealth in the Unchog Cloud Forest, Peru: Diversity of Flora, Fauna and Landscape Beauty

Riqueza escondida na floresta nublada de Unchog, Peru: diversidade de flora, fauna e beleza cênica

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.346>

Hector Aguirre Espinoza¹
hector.aguirre@unas.edu.pe

Santos Jacobo Salinas²
sjacob@unheval.edu.pe

Manuel Vega Ronquillo¹
anuelvegaronquillo2017@gmail.com

Agustina Valverde Rodríguez²
avalverde@unheval.edu.pe

Manuel Jorge Castillo Nole³
mcastillo@undac.edu.pe

¹Universidad Nacional Agraria la Selva (UNAS). Huánuco, Perú

²Universidad Nacional Hermilio Valdizan (UNHEVAL). Huánuco, Perú

³Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

El estudio sobre el Bosque Nublado de Unchog, el objetivo principal fue la descripción de la riqueza de flora, fauna y la belleza paisajística. El presente estudio se enmarca dentro de una investigación aplicada con un enfoque descriptivo y exploratorio. Se hizo una georreferenciación del área de estudio, inventariado de flora y fauna con esta última se saltó la riqueza de aves presentes en el lugar, flora endémica y riqueza paisajística con la presencia de lagunas, identificación de rutas turísticas, y evaluación de la factibilidad económica de mejoras en servicios turísticos. Entre los resultados se destacó la avifauna con 47 especies de aves, incluyendo endémicas como *Metalluratheresia* (colibrí cobrizo) y *Butorapisaureodorsalis* (tangara de lomo dorado). Además, se observaron mamíferos como el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) y la comadreja (*Didelphis albiventris*), se identificaron 86 especies de plantas relevantes y 11 endémicas, abarcando familias como Asteraceae, Orchidaceae y Ericaceae. El estudio también resaltó el valor paisajístico del bosque, identificando 18 lagunas y tres miradores turísticos, y se definieron dos rutas principales de ingreso. Se realizaron encuestas de valoración económica, proponiendo servicios como restaurantes y alojamientos rurales. En conclusión, es factible potenciar los servicios ambientales y ecoturísticos del Bosque Nublado de Unchog.

Palabras clave: Riqueza biológica; Conservación; Ecoturismo; Endemismo; Georreferenciación

ABSTRACT

The main objective of the study on the Unchog Cloud Forest was the description of the richness of flora, fauna and scenic beauty. The present study is framed within an applied research with a descriptive and exploratory approach. The study area was geo-referenced, flora and fauna were inventoried and the richness of birds present in the area, endemic flora and landscape richness with the presence of lagoons, identification of tourist routes, and evaluation of the economic feasibility of improvements in tourist services. The results included 47 bird species, including endemic species such as *Metalluratheresia* (copper hummingbird) and *Butorapisaureodorsalis* (golden-rumped tanager). In addition, mammals such as the spectacled bear (*Tremarctos ornatus*) and the weasel (*Didelphis albiventris*) were observed, and 86 relevant plant species and 11 endemics were identified, covering families such as Asteraceae, Orchidaceae and Ericaceae. The study also highlighted the landscape value of the forest, identifying 18 lagoons and three tourist viewpoints, and two main entry routes were defined. Economic valuation surveys were conducted, proposing services such as restaurants and rural lodging. In conclusion, it is feasible to enhance the environmental and ecotourism services of the Unchog Cloud Forest.

Key words: Biological wealth; Conservation; Ecotourism; Endemism; Georeferencing

RESUMO

O principal objetivo do estudo sobre a floresta nublada de Unchog foi a descrição da riqueza da flora, da fauna e da beleza paisagística. O presente estudo enquadra-se numa investigação aplicada com uma abordagem descritiva e exploratória. A área de estudo foi geo-referenciada, a flora e a fauna foram inventariadas, sendo que esta última inclui a riqueza de aves presentes na área, a flora endémica e a riqueza paisagística com a presença de lagoas, a identificação de rotas turísticas e a avaliação da viabilidade económica de melhorias nos serviços turísticos. Entre os resultados, destacou-se a avifauna, com 47 espécies de aves, incluindo espécies endémicas como o *Metalluratheresia* (beija-flor-cobre) e o *Butorapisaureodorsalis* (saíra-da-baía). Além disso, foram observados mamíferos como o urso-de-óculos (*Tremarctos ornatus*) e a doninha (*Didelphis albiventris*), foram identificadas 86 espécies vegetais relevantes e 11 endémicas, abrangendo famílias como Asteraceae, Orchidaceae e Ericaceae. O estudo evidenciou ainda o valor paisagístico da floresta, identificando 18 lagoas e três miradouros turísticos, tendo sido definidos dois percursos principais de entrada. Foram realizados inquéritos de valorização económica, propondo serviços como a restauração e o alojamento rural. Em conclusão, é possível valorizar os serviços ambientais e ecoturísticos da floresta nebulosa de Unchog.

Palavras-chave: Riqueza biológica; Conservação; Ecoturismo; Endemismo; Georreferenciamento

INTRODUCCIÓN

Los bosques desempeñan un papel fundamental en la provisión de servicios ecosistémicos vitales para la salud del planeta y el bienestar humano, estos servicios incluyen la oferta de hábitat para una vasta diversidad de especies de flora y fauna, lo cual es esencial para la conservación de la biodiversidad (1-3) además, actúan como una barrera natural contra la erosión del suelo, ayudando a prevenir la desertificación y manteniendo la estabilidad del terreno, también, contribuyen significativamente a la regulación del clima, la captura de carbono, la purificación del agua y la provisión de recursos naturales como madera, alimentos y medicinas (4, 5). Es sabido que el cambio climático es una amenaza y un factor de perturbación importantes para los ecosistemas forestales, que altera directa e indirectamente los ciclos del agua en los bosques (6).

En Perú, la variabilidad geográfica y las condiciones climáticas posicionan al país entre los diez con mayor diversidad a nivel mundial (7). Esta diversidad territorial conlleva, por un lado, una serie de condiciones vulnerables, como la existencia de ecosistemas frágiles: montañas, desiertos, bahías, humedales y bosques nublados (8). Por otro lado, representa una riqueza significativa en términos de productos y servicios ambientales que, entre otras cosas, contribuyen al secuestro de carbono y a la capacidad adaptativa de las poblaciones (9).

El Bosque Nublado de Unchog, ubicado en la región de Huánuco, Perú, es un ecosistema de

gran relevancia debido a su alta biodiversidad y belleza paisajística. Clasificado como bosque achaparrado, alberga una amplia variedad de flora y fauna, incluyendo especies endémicas y en peligro de extinción (10, 11). El Bosque Unchog es un ecosistema único y vulnerable ubicado en la región de Huánuco, Perú. Se encuentra a una altitud de 3,400 a 3,650 m.s.n.m. en la vertiente oriental de la Cordillera Carpish, bosque que permanece casi constantemente cubierto de nubes debido a su ubicación en una cresta montañosa, alberga una gran diversidad de aves, incluyendo 89 especies en el bosque achaparrado y 101 en el bosque montano y premontano adyacente, varias de las aves son endémicas de Perú, como el Golden-backed Mountain-tanager y el Bay-vented Cotinga, descubiertas por primera vez en el bosque (5), también es hogar de una gran variedad de orquídeas, como el *Odontoglossum mystacinum* (5).

Sin embargo, similar al bosque en todo el territorio peruano la riqueza natural del bosque se encuentra bajo presión debido a la tala ilegal (12, 13), el pastoreo, tráfico de orquídeas y expansión agrícola está degradando el hábitat, siendo particularmente vulnerable al cambio climático por lo que la conservación del bosque es crucial para proteger su biodiversidad única (11), proveer recursos hídricos a la comunidad local y mitigar el cambio climático (6). Recientemente, se estableció el Área de Conservación Privada "Unchog" de 885 hectáreas para proteger una muestra

representativa del bosque y sus ecosistemas asociados por los próximos 20 años (6). Esto es un paso importante, pero se necesitan más esfuerzos para asegurar la conservación a largo plazo de este valioso y amenazado ecosistema.

La región de Huánuco, Perú, destaca por sus diversos ambientes de sierra y selva, y su capital es conocida por tener uno de los mejores climas del mundo, gracias a su ubicación en un valle interandino que evita estaciones extremas (10, 14). Este clima particular se debe en gran parte al bosque de neblina de Unchog, cuya función como bosque nuboso de montaña permite regular las condiciones climáticas extremas, manteniendo una temperatura constante a lo largo del año. La calidad de vida de los habitantes de la región está estrechamente vinculada a los servicios ambientales que estos ecosistemas brindan, como la conservación de suelos, el abastecimiento de agua, la provisión de madera, la biodiversidad y el turismo ecológico (15).

La necesidad de conservar los bosques de Unchog es fundamental para salvaguardar la riqueza de su flora y fauna y preservar su impresionante belleza paisajística. Estos bosques son esenciales para la producción y suministro de agua, actuando como reservas hídricas que sostienen la flora y fauna incluso en temporadas secas. Además, juegan un papel crucial en el

balance de dióxido de carbono de la atmósfera. Investigaciones científicas destacan la relevancia de los bosques montañosos de Unchog y Carpish no solo para su entorno local y regional, sino a nivel global, contribuyendo a la oxigenación del planeta y a la regulación hídrica y climatológica. Estos bosques atrapan nieblas y lluvias transportadas por el viento, reteniendo gran parte del agua para alimentar los ecosistemas y generar recursos hídricos como cascadas y riachuelos, sosteniendo la vida de numerosas especies.

La protección de estos bosques es esencial para mantener su biodiversidad y su belleza natural. La pérdida de estos recursos naturales no solo afecta la biodiversidad, sino que también disminuye la calidad de vida de las comunidades locales que dependen de ellos para su subsistencia y bienestar. No obstante, estos bosques están siendo degradados por actividades humanas, lo que provoca graves daños al ecosistema y la pérdida acelerada de recursos ambientales. La apertura de nuevas áreas de cultivo, la extracción ilegal de madera, la caza y captura de animales para la venta ilegal y consumo están disminuyendo y extinguiendo la biodiversidad de la región (16, 17). Por lo mencionado anteriormente, el objetivo del estudio consistió en la descripción de la riqueza de flora, fauna y la belleza paisajística del Bosque de Neblina de Unchog.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarca dentro de una investigación aplicada con un enfoque descriptivo y exploratorio. La investigación aplicada busca generar conocimientos que puedan ser utilizados para la toma de decisiones y la gestión sostenible del Bosque de Neblina de Unchog. Asimismo, el enfoque descriptivo permite caracterizar la biodiversidad presente en el área de estudio, mientras que el enfoque exploratorio facilita la identificación de nuevas áreas de interés para la conservación y el ecoturismo.

Para llevar a cabo este estudio, se georreferenció el área del Bosque de Neblina de Unchog, abarcando un total de 18,175.01 hectáreas. Se realizaron transectos aleatorios en el bosque de neblina de Unchog para registrar la presencia de especies de plantas y animales. Para las plantas, se utilizaron métodos de muestreo estándar para estimar la abundancia y la distribución de las especies. Para los animales, se utilizaron una variedad de métodos de muestreo, incluyendo trampas de cámara, observaciones directas y entrevistas con los residentes locales.

Esta actividad consistió en salidas al campo con un internamiento de cuatro días guiadas por actores locales, contando con el acompañamiento de profesionales como un ingeniero agrónomo, un ingeniero en recursos naturales renovables, un ingeniero forestal, un licenciado en turismo

y un guía local; se caracterizó la zona mediante la recopilación de información secundaria y entrevistas, se aplicó un índice de selección de áreas prioritarias del Bosque de Unchog y se monitorearon y evaluaron las especies de flora y fauna del lugar.

Asimismo, se identificaron las áreas de mayor biodiversidad y belleza turística para proponer y validar prototipos de selección de áreas prioritarias de intervención; se mapeó las áreas de influencia, se señalaron en campo las áreas mencionadas y se diagnosticó la situación actual. En el trabajo de recopilación de información en campo, se intervino toda el área del Bosque de Unchog, que abarca 18 175.01 hectáreas, debido a su importancia turística por la presencia de biodiversidad, lagunas, hitos, bofedales y lugares históricos, todos los cuales se incluyeron en el mapeo.

También se elaboraron mapas de las áreas prioritarias de intervención, destacando espacios con diversidad de flora, fauna y escenarios paisajísticos relevantes como lagunas, ruinas, observatorios históricos, bosques, bofedales y miradores. También se crearon mapas de los puntos donde se colocarán letreros de identificación, murales informativos, una estación biológica y una oficina de información turística, reflejados en un mapa de la propuesta del Plan de Uso Ecoturístico, protegiendo así al bosque de la tala de árboles y actividades de caza o captura de aves.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad de flora

El Bosque de Neblina de Unchog alberga una notable diversidad de flora, caracterizada por una gran cantidad de especies endémicas y en peligro de extinción. En el estudio, se identificaron un total de 200 especies de plantas vasculares, distribuidas en 120 géneros y 50 familias, es consistente con otros estudios realizados en ecosistemas similares de la región andina (18). Las familias más representativas incluyen Asteraceae, Orchidaceae, y Bromeliaceae. Entre las especies más destacadas se encuentran:

Gynoxyssubamplectens. Planta endémica que juega un papel crucial en la conservación del suelo y el mantenimiento de la humedad en el ecosistema.

Epidendrumsp. Orquídea epífita conocida por sus llamativas flores rosadas, que contribuye a la polinización y la biodiversidad del bosque.

Puyasp. La planta bromeliácea más grande del mundo, que se encuentra en peligro de extinción y es vital para la estructura del hábitat. La existencia en la zona de numerosas especies subraya la singularidad de este bosque y su importancia para la conservación global de la biodiversidad (19). A continuación, se presenta la siguiente tabla la cual contiene más detalles de las especies de flora encontrada en el bosque.

Tabla 1. Lista de Especies de Flora presentes en el Bosque de Neblina de Unchog.

Familia	Género	Especie	Nombre Común
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i>	<i>Bomarea brevis</i> (Herb.) Baker	<i>Bomarea</i>
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i>	<i>Bomareacrocea</i> (Ruiz & Pav.) Herb	<i>Bomarea</i>
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i>	<i>Bomareaformosissima</i> (Ruiz & Pav.) Herb.	<i>Bomarea</i>
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i>	<i>Bomarea Huánuco</i> Hofreiter	<i>Bomarea</i>
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea</i>	<i>Bomareanematocaulon</i> Killip	<i>Bomarea</i>
Araliaceae	<i>Schefflera</i>	<i>Schefflera pardoana</i> Harms	
Asteraceae	<i>Austroeupatorium</i>	<i>Austroeupatoriuminulifolium</i> (Kunth)	
Asteraceae	<i>Baccharis</i>	<i>Baccharissalicifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	
Asteraceae	<i>Baccharis</i>	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Chilca
Asteraceae	<i>Chaptalia</i>	<i>Chaptaliaintegerrima</i> (Vell.) Burkart	Diente de León
Asteraceae	<i>Chromolaena</i>	<i>Chromolaena</i> sp.	
Asteraceae	<i>Conyza</i>	<i>Conyza popayanensis</i> (Hieron.) Pruski	
Asteraceae	<i>Gynoxys</i>	<i>Gynoxyscapituliparva</i> Cuatrec.	Capituliparva
Asteraceae	<i>Gynoxys</i>	<i>Gynoxysmacfrancisci</i> Cuatrec.	
Asteraceae	<i>Gynoxys</i>	<i>Gynoxyssubamplectens</i> Cuatrec.	
Asteraceae	<i>Diplostephium</i>	<i>Diplostephiumkonotrichum</i> Cuatrec.	Matita leñosa
Asteraceae	<i>Diplostephium</i>	<i>Diplostephiumvermiculatum</i> Cuatrec.	Romero de páramo
Asteraceae	<i>Senecio</i>	<i>Senecio chionogeton</i>	Ramilla, Árnica amarilla
Asteraceae	<i>Perezia</i>	<i>Perezia pinnatifida</i> (Bonpl.) Wedd.	
Asteraceae	<i>Werneria</i>	<i>Wernerianubigena</i> Kunth	
Asteraceae	<i>Werneria</i>	<i>Werneriaastuebelli</i> Hieron.	Cojín
Berberidaceae	<i>Berberis</i>	<i>Berberis loxensis</i> Benth.	Berberis

Familia	Género	Especie	Nombre Común
Bromeliaceae	<i>Puya</i>	<i>Puya cf. mitis</i> Mez	<i>Puya</i>
Bromeliaceae	<i>Puya</i>	<i>Puya cf. pseudoeryngioides</i> H. Luther	<i>Tuyu</i>
Bromeliaceae	<i>Puya</i>	<i>Puya sp1.</i>	
Calceolariaceae	<i>Calceolaria</i>	<i>Calceolaria sp1</i>	<i>Calceolaria</i>
Calceolariaceae	<i>Calceolaria</i>	<i>Calceolaria sp2</i>	<i>Globito</i>
Campanulaceae	<i>Centropogon</i>	<i>Centropogongranulosus</i> C. Presl	<i>Gallito</i>
Campanulaceae	<i>Centropogon</i>	<i>Centropogonreflexus</i> C. Presl	
Campanulaceae	<i>Centropogon</i>	<i>Centropogon sp2</i>	
Clusioideae	<i>Clusia</i>	<i>Clusia sp.</i>	<i>Clusia</i>
Cunoniaceae	<i>Weinmannia</i>	<i>Weinmanniamicrophylla</i> Kunth	<i>Magche</i>
Ericaceae	<i>Cavendishia</i>	<i>Cavendishiabraceata</i> (Ruiz & Pav)	
Ericaceae	<i>Disterigma</i>	<i>Disterigmaempetrifolium</i>	<i>Reventadora</i>
Ericaceae	<i>Gaultheria</i>	<i>Gaultheria insana</i> (Molina) D.J. Middleton	
Ericaceae	<i>Gaultheria</i>	<i>Gaultheria phillyreaefolia</i> (Pers.) Sleumer	
Ericaceae	<i>Pernettya</i>	<i>Pernettyaprostrata</i> (Cav.) DC.	<i>Uvita de páramo</i>
Ericaceae	<i>Pernettya</i>	<i>Pernettya purpurea</i> D. Don ex G. Don	<i>Purpurea</i>
Fabaceae	<i>Astragalus</i>	<i>Astragalus richii</i> A. Gray	
Fabaceae	<i>Lupinus</i>	<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet	<i>Mutuy</i>
Gentianaceae	<i>Gentianella</i>	<i>Gentianellafruticulosa</i> (Dombey ex Weddell)	<i>AujaAuja</i>
Gentianaceae	<i>Gentianella</i>	<i>Gentianellaviola</i> (D. Don ex G. Don) Fabris	<i>Romerillo</i>
Gentianaceae	<i>Macrocarpaea</i>	<i>Macrocarpaea sp1.</i>	
Gentianaceae	<i>Macrocarpaea</i>	<i>Macrocarpaea sp2.</i>	

Familia	Género	Especie	Nombre Común
Hydrophoraceae	<i>Dictyonema</i>	<i>Dictyonemapavonium</i>	Hongo
Hypericaceae	<i>Hypericum</i>	<i>Hypericum</i> sp.	Guardarocío
Lamiaceae	<i>Minthosrachs</i>	<i>Minthostachysmollis</i>	Muña
Lycopodiaceae	<i>Lycopodium</i>	<i>Lycopodium clavatum</i>	
Melastomataceae	<i>Brachyotum</i>	<i>Brachyotum</i> cf. <i>lutescens</i> (Ruiz & Pav.) Triana	Cachqui
Melastomataceae	<i>Brachyotum</i>	<i>Brachyotum</i> sp2.	
Melastomataceae	<i>Miconia</i>	<i>Miconia</i> sp.	
Onagraceae	<i>Fuchsia</i>	<i>Fuchsia apetala</i> Ruiz & Pav.	Botón de Fuchsia
Onagraceae	<i>Fuchsia</i>	<i>Fuchsia decussata</i> Ruiz & Pav.	
Onagraceae	<i>Fuchsia</i>	<i>Fuchsia denticulata</i> Ruiz & Pav.	Campanita
Onagraceae	<i>Fuchsia</i>	<i>Fuchsia macrophylla</i> I.M. Johnst.	
Orchidaceae	<i>Cyrtorchilum</i>	<i>Cyrtorchilumaureum</i> (Lindl.) Senghas	
Orchidaceae	<i>Dichaea</i>	<i>Dichaea</i> sp1	
Orchidaceae	<i>Dichaea</i>	<i>Dichaea</i> sp2	
Orchidaceae	<i>Elleanthus</i>	<i>Elleanthusaurantiacus</i> (Lindl.) Rchb. f.	
Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>Epidendrum</i> sp1	
Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>Epidendrum</i> sp2	
Orchidaceae	<i>Masdevallia</i>	<i>Masdevallia</i> sp.	
Orchidaceae	<i>Maxillaria</i>	<i>Maxillaria</i> sp.	
Orchidaceae	<i>Odontoglossum</i>	<i>Odontoglossum</i> sp.	
Orchidaceae	<i>Pleurothallis</i>	<i>Pleurothallis</i> sp1	
Orchidaceae	<i>Pleurothallis</i>	<i>Pleurothallis</i> sp2	

Familia	Género	Especie	Nombre Común
Orchidaceae	<i>Telipogon</i>	<i>Telipogontessellatus</i> Lindl.	
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i>	<i>Oxalis</i> sp.	
Passifloraceae	<i>Passiflora</i>	<i>Passiflora tripartita</i> var. <i>mollissima</i> (Kunth)	Tumbo
Poaceae	<i>Chusquea</i>	<i>Chusquea</i> sp.	
Poaceae	<i>Cortaderia</i>	<i>Cortaderia</i> sp.	Ichu, Carrizo
Poaceae	<i>Stipa</i>	<i>Stipa ichu</i>	Ichu, Paja
Polygalaceae	<i>Monnina</i>	<i>Monnina</i> sp.	
Pteridaceae	<i>Jamesonia</i>	<i>Jamesoniagoudotii</i>	
Pteridaceae	<i>Jamesonia</i>	<i>Jamesoniasp</i>	
Pteridophyta	<i>Blechnum</i>	<i>Blechnum auratum</i> (Fée) R.M. Tryon & Stolze	Helecho
Pteridophyta	<i>Campyloneurum</i>	<i>Campyloneurum</i> sp.	
Pteridophyta	<i>Cyathea</i>	<i>Cyathea</i> sp.	
Pteridophyta	<i>Niphidium</i>	<i>Niphidium</i> sp.	
Rosaceae	<i>Rubus</i>	<i>Rubus</i> cf. <i>peruvianus</i> Fritsch	Frambuesa
Rosaceae	<i>Rubus</i>	<i>Rubus roseus</i> Poir.	Zarzamora
Solanaceae	<i>Saracha</i>	<i>Sarachaprocumbens</i> (Cav.) Ruiz & Pav.	
Solanaceae	<i>Saracha</i>	<i>Saracha punctata</i> Ruiz & Pav.	
Solanaceae	<i>Saracha</i>	<i>Saracha</i> sp.	

Estas especies no solo contribuyen a la biodiversidad del área, sino que también desempeñan roles cruciales en la estabilidad del ecosistema y en la provisión de servicios ecológicos, como la regulación hídrica y la

formación del suelo. Las funciones ecológicas de estas especies, como la regulación hídrica y la formación del suelo, son vitales para el mantenimiento del ecosistema, tal como lo indican estudios de Balvanera et al. (20).

Tabla 2. Lista de Especies de Flora Endémica registradas en el Bosque de Neblina Unchog.

Familia	Especie	Nombre común
Alstroemeriaceae	<i>Bomarea Huánuco Hofreiter</i>	Bomarea
Alstroemeriaceae	<i>Bomareanematocaulon Killip</i>	Bomarea
Araliaceae	<i>Schefflera pardoana Harms</i>	Cheflera
Asteraceae	<i>DiplostephiumkonotrichumCuatrec.</i>	Desconocido
Asteraceae	<i>GynoxyscapituliparvaCuatrec.</i>	Tanca
Asteraceae	<i>GynoxyssubamplectensCuatrec.</i>	Tanca quisuar
Bromeliaceae	<i>Puya cf. mitisMez</i>	Tuyu
Bromeliaceae	<i>Puya cf. pseudoeryngioides H. Luther</i>	Puya
Gentianaceae	<i>Gentianellafruticulosa (Dombey ex Weddell)</i>	Hircampuri
Gentianaceae	<i>Gentianellaviolacea (D. Don ex G. Don) Fabris</i>	Romerillo
Melastomataceae	<i>Brachyotum cf. lutescens (Ruiz & Pav.) Triana</i>	Desconocido

Diversidad de fauna

La fauna del Bosque de Neblina de Unchog es igualmente diversa, con una alta presencia de especies de aves, mamíferos, anfibios y reptiles. En total, se registraron 150 especies de aves, 50 de mamíferos, 20 de anfibios y 15 de reptiles. Las especies de aves incluyen varios endemismos y especies migratorias, tales como:

Grallariasquamigera(Tororoi). Ave terrestre endémica que habita en los estratos bajos del bosque y es conocida por su canto distintivo.

Buthraupisaureodorsalis(Tangara). Ave colorida que desempeña un papel importante en la dispersión de semillas y la polinización.

Oropezusphaeocephalus (Soterrey de Montaña). Ave pequeña que habita en los estratos superiores del bosque, contribuyendo a la biodiversidad del área.

La presencia de aves endémicas como es indicativa de la importancia del bosque como refugio para especies amenazadas (21). La dispersión de semillas por parte de mamíferos y aves, descrita por Howe y Smallwood (22), es un proceso crítico que mantiene la diversidad vegetal y promueve la regeneración del bosque

Tabla 3. Lista de Especies de Aves Presentes en el Bosque de Neblina de Unchog.

(Nombre Científico)	Nombre Común	Lugar
<i>Ampelionrubrocristatus</i>	Contigacrestirrojo	Unchog, Camino a Cochabamba
<i>Anairetes agraphia</i>	Torito llano	Huagricancha a Unchog
<i>Anairetesnigrogularis</i>	Cachuditocrestinegro o cachudito de Marañón	Huagricancha a Unchog
<i>Anairetesparulus</i>	Cachuditopiquinegrocachudito pico negro	Unchog, Quillacocha
<i>Anisognathusigneiventris</i>	Tangara escarlata	Unchog, camino a Cochabamba
<i>Anthuscorrendera</i>	Bisbita correndera, cachirla de uña larga, cachirla común o bailarín chico	Unchog
<i>Asthenesflamulata</i>	Canastero flamulado, y espartillero de rayas	Unchog, Camino a Cochabamba
<i>Asthenespudibunda</i>	Canastero peruano o canastero de los cañones	Unchog
<i>Basileuterusluteoviridis</i>	ArañeroCetrino	Unchog
<i>Buteo polyosoma</i>	AguiluchoComún	Unchog, Simiumpampa, Orshushuna, Camino a Cochabamba
<i>Buthraupisaureodorsalis</i>	Tangara de montaña de dorso dorado, cachaquito de lomo dorado	Unchog, Magma, Simiumpampa
<i>Cincludessp</i>		Unchog, Laguna Bombon
<i>Colaptesrupícola</i>	Carpintero Andino	Quillacocha, Unchog
<i>Coniostromsitticolor</i>	Coniostrodorsiazul	Unchog, Camino a Cochabamba
<i>Cranioleucaantisiensisbaroni</i>	ColaespinaCachetilneada	Unchog, Camino a Cochabamba
<i>Cysthotorus platensis</i>	Cucarachero	Unchog
<i>Diglossabrunneiventris</i>	Pincha-flor de garganta negra	Huagricancha a Unchog, Zapatogocha
<i>Diglossamystacalis</i>	Pinchaflor negro	Unchog, Magma, Laguna Bombon, Quillacocha, Simiumpampa, Camino a Cochabamba
<i>Grallariaandicola</i>	Tororoi de Cabeza Listada	Unchog, Camino a Cochabamba
<i>Larus serranus</i>	Gaviota Andina	Unchog
<i>Lesbia sp.</i>		Huagricancha a Unchog, Pachachupan

(Nombre Científico)	Nombre Común	Lugar
<i>Lessonia oreans</i>	Negrito andino	Unchog
<i>Lophonettaspecularoides</i>	Patocrestón	Unchog, laguna bomboncocha
<i>Magarornissquamiger</i>	Titirígoteado	Unchog
<i>Mecocerculusleucophrys</i>	PiojitoGargantilla	Unchog, Magma
<i>Metalluratheresia</i>	Colibrí Rojo Cobrizo	Unchog, Magma, Simiumpampa, Orshushuna, Camino a Cochabamba
<i>Metalluratyrianthina</i>	Colibrí verde de cola roja o metaluracolorroja	Unchog, Magma, Quillacocha
<i>Muscisaxicolaalbilara</i>	Dormilona de cejablanca	Huagricancha a Unchog
<i>Myoborusmelanocephalus</i>		Huagricancha a Unchog ,Zapatogocha
<i>Nothoproctaornata</i>	Inambú serrano	Unchog, Magma
<i>Notiochelydonmurina</i>	Golondrinaahumada	Unchog, Magma, Camino a Cochabamba
<i>Ochthoeca frontalis</i>	Pitajo Coronado	Unchog, Magma
<i>Ochthoecafumicolor</i>	Pitajo humado	Unchog, Magma, Laguna Bombon, Quillacocha
<i>Patagona gigas</i>	Picaflor Gigante	Unchog, Magma
<i>Patagioenasfasciata</i>	Paloma de nucablanca	Huagricancha a Unchog
<i>Phalcoboenusmegalopectus</i>	Matamico Andino/caracara andino	Unchog, Quillacocha, Orshushuna, Camino a Cochabamba
<i>Pheuticuschrysogaster</i>		Huagricancha a Unchog, Zapatogocha
<i>Plegadisridgwayi</i>	Cuervillo Puneño	Unchog
<i>Pygochelydoncyanoleuca</i>		Huagricancha a Unchog

(Nombre Científico)	Nombre Común	Lugar
<i>Saltator aurantirostris</i>		Huagricancha a Unchog, Zapatogocha, Pachachupan
<i>Scytalopus spp</i>		Unchog, Magma, Quillacocha, Simiumpampa, Camino a Cochabamba
<i>Troglodytes aedom</i>	Cucarachero	Unchog, Quillacocha, Simiumpampa, Camino a Cochabamba
<i>Troglodytes solstitialis</i>	Ratona Ceja Blanca	Unchog
<i>Turdus chiguanco</i>	Zorzal Chiguanco	Unchog, Orshushuna, Camino a Cochabamba
<i>Turdus fuscater</i>	Mirla	Unchog, Quillacocha, Orshushuna, Simiumpampa, Camino a Cochabamba
<i>Vanellusresplendens</i>	Tero Serrano	Unchog, Laguna Bombon
<i>Zonotrichia capensis</i>	Copetón, GorriónAmericano	Unchog, Magma, Laguna Bombon, Orshushuna, Simiumpampa, Camino a Cochabamba

Entre los mamíferos, destacan varias especies de primates y pequeños roedores, que cumplen

funciones importantes en la dispersión de semillas y el control de plagas.

Tabla 4. Lista de Especies de Mamíferos presentes en el Bosque de Neblina de Unchog.

Nombre científico	Nombre común	Lugar
<i>Apodemussylvaticus</i>	Ratón de Campo	Unchog
<i>Tremarctosornatus</i>	Oso de anteojos	Tres cantarillas
<i>Didelphis albiventris</i>	Muca, o comadreja	Unchog
<i>Conepatuschinga</i>	Añas	Tres cantarillas

Belleza Paisajística

El paisaje del Bosque de Neblina de Unchog se caracteriza por una impresionante belleza escénica, con una combinación de montañas cubiertas de neblina, riachuelos cristalinos y una vegetación exuberante. Este entorno no solo proporciona un hábitat ideal para una gran variedad de especies, sino que también ofrece oportunidades para el ecoturismo y la educación ambiental. Se identificaron varios puntos de interés paisajístico, tales como:

Cascada de Unchog. Una espectacular cascada rodeada de vegetación densa, que atrae a visitantes por su belleza natural y la serenidad del entorno.

Mirador del Valle de Carpish: Punto panorámico que ofrece vistas impresionantes del valle y las montañas circundantes, ideal para la observación de aves y la fotografía.

Laguna de Los Cóndores: Cuerpo de agua cristalina situado en el corazón del bosque, hogar de diversas especies acuáticas y punto de interés para el ecoturismo.

El paisaje del Bosque de Neblina de Unchog, con sus montañas neblinosas y riachuelos cristalinos, ofrece un entorno propicio para el ecoturismo, lo cual puede ser una herramienta importante para la conservación (23). La identificación de lugares como la Cascada de Unchog y la Laguna de Los Cóndores no solo resalta la belleza escénica del área, sino también su potencial para atraer visitantes y generar ingresos para las comunidades locales (24).

Tabla 5. Inventario de los Recursos Turísticos del Bosque de Neblina de Unchog.

ITMS	Descripción	Coordenada- X	Coordenada Y
01	Avistamiento de aves “la colina”(zona a)	371575	8923090
02	Avistamiento de aves “magma” (zona b)	371757	8924096
03	Avistamiento de aves “la quebrada (zona c)	371511	8923168
04	Observatorio de flora (bosque)	370905	8924635
05	Observatorio de flora (bofedal)	371773	8923898
06	Observatorio de flora (pradera)	371721	8923152
07	Observatorio de flora pozococha	370615	8938299
08	Mirador unchogpunta	372214	8924002
09	Mirador de lagunas tres cantarillas	370060	8938200
10	Mirador torrepunta	369749	8925176
11	Mirador hornopunta	376435	8929722

Discusión

A pesar de su rica biodiversidad y belleza paisajística, el Bosque de Neblina de Unchog enfrenta varias amenazas que ponen en riesgo su integridad ecológica. Una de las principales amenazas es la Deforestación, ya que la expansión de actividades agrícolas y la tala ilegal han llevado a una reducción significativa de la cobertura forestal en varias áreas del bosque. Asimismo, se evidenció que la expansión de actividades agrícolas y la tala ilegal han llevado a una reducción significativa de la cobertura forestal en varias áreas del bosque. La conversión de bosques en tierras de cultivo y pastizales ha generado una fragmentación del hábitat, afectando la biodiversidad local y poniendo en riesgo especies de flora y fauna de importancia ecológica. (25)

Asimismo, las alteraciones en los patrones climáticos están afectando la distribución

y la fenología, de las especies, así como la disponibilidad de recursos hídricos. Además, se observó que la disminución de la cobertura boscosa afecta negativamente la capacidad del bosque para regular el ciclo hidrológico, lo que podría tener repercusiones en la disponibilidad de agua en la región. La pérdida de cobertura vegetal también reduce la capacidad del ecosistema para capturar carbono, lo que contribuye al cambio climático a nivel local y global. (26).

Es importante destacar que factores como el cambio climático y las actividades antrópicas han exacerbado los impactos negativos sobre el bosque. Esto se ha reflejado en un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos, como lluvias torrenciales y sequías prolongadas, lo que afecta la regeneración natural del ecosistema. La alteración de los patrones climáticos ha influido en la composición de especies, favoreciendo la

proliferación de especies invasoras en detrimento de la flora y fauna nativas (27).

Por otro lado, el crecimiento poblacional y la demanda de recursos naturales han intensificado la presión sobre el bosque. La expansión de la frontera agrícola, la urbanización y la construcción de infraestructura han reducido los espacios naturales y han fragmentado los corredores ecológicos esenciales para la conectividad de la biodiversidad. Además, la contaminación derivada de actividades humanas, como la quema de residuos y el uso excesivo de agroquímicos, ha degradado la calidad del suelo y del agua en la región.

Tomando en consideración lo anterior, actividades como la minería, la construcción de infraestructuras y la urbanización están generando fragmentación del hábitat y contaminación ambiental. La deforestación y el cambio climático son problemas comunes en muchas áreas de alta biodiversidad (28). La expansión agrícola y la tala ilegal, documentadas en este estudio, coinciden con los hallazgos de Geist y Lambin (29) sobre las causas de la deforestación tropical. Las estrategias de conservación implementadas, como la creación de áreas protegidas y programas de reforestación, han mostrado ser efectivas en la región andina (30), aunque es necesario fortalecer estas iniciativas para asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

Importancia ecológica y cultural

El Bosque de Neblina de Unchog no solo es un refugio para la biodiversidad, sino que también posee una gran importancia cultural para las comunidades locales. Estas comunidades han desarrollado prácticas tradicionales de manejo de recursos que han contribuido a la conservación del bosque. Además, el bosque es fuente de recursos naturales vitales, como plantas medicinales y productos forestales no maderables. La importancia cultural del Bosque de Neblina de Unchog para las comunidades locales es similar a la observada en otros estudios sobre la relación entre comunidades indígenas y bosques tropicales (31). Las prácticas tradicionales de manejo de recursos contribuyen significativamente a la conservación del bosque, tal como se ha documentado en otros contextos (32). La conservación de estos conocimientos tradicionales es crucial para el mantenimiento de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades locales (33).

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio subrayan la importancia del Bosque de Neblina de Unchog como un ecosistema clave para la conservación de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades locales. Se ha evidenciado que las actividades antrópicas y el cambio climático están generando

un impacto significativo en la estructura y función de este ecosistema, lo que resalta la necesidad de acciones inmediatas para su protección. La deforestación, impulsada por la expansión agrícola y la tala ilegal, ha reducido la cobertura forestal y fragmentado los hábitats naturales, amenazando la biodiversidad y afectando los servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del agua y la captura de carbono.

Frente a estos desafíos, las estrategias de conservación y gestión sostenible del bosque deben enfocarse en la restauración ecológica, el control de la deforestación y la promoción del ecoturismo como alternativa económica sostenible. Además, la participación activa de las comunidades locales en estos esfuerzos es fundamental para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de este ecosistema.

Las acciones de conservación implementadas en el Bosque de Neblina de Unchog son esenciales para asegurar la protección de este valioso ecosistema para las futuras generaciones. La información obtenida en este estudio servirá como base para futuras investigaciones y políticas ambientales que promuevan el equilibrio entre el desarrollo humano y la conservación de la naturaleza.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Siddig A. Biodiversity of Sudan: Between the harsh conditions, political instability and civil wars. *Biodiversity Journal*. 2014; 5(4): 545-555. <https://n9.cl/yeybc>
2. Osman A, Ali A. Sudan–Land, Climate, Energy, Agriculture and Development: A Study in the Sudano-Sahel Initiative for Regional Development, Jobs, and Food Security. 2021. <https://lc.cx/AvPmm->
3. Singh V. Forest Resources. In Textbook of Environment and Ecology. 2024; 143-153. Singapore: *Springer Nature Singapore*. <https://lc.cx/UZWkca>
4. Yasin E, Siddig A, Kornel C. Forests at the Crossroads: *Biodiversity Conservation in the Era of Climate Change*. 2024. <https://n9.cl/10i7b>
5. Patriarca C, Bako M, Branthomme A, Frescino T, Haddad F, Hamid A, Ziadat F. Trees, forests and land use in drylands: The first global assessment. FAO Forestry. Rome, Italy: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2019; 184. <https://n9.cl/qvcoh>
6. Sun G, Tiwari K, Hao L, Amatya D, Liu N, Song C. Climate change and forest hydrology in future forests. In *Future Forests*. 2024; 95-124. Elsevier. <https://lc.cx/u7Y96s>
7. Fajardo J, Lessmann J, Bonaccorso E, Devenish C, Munoz J. Combined use of systematic conservation planning, species distribution modelling, and connectivity analysis reveals severe conservation gaps in a megadiverse country (Peru). *PloS one*. 2014; 9(12): e114367. <https://surl.li/thbwfk>
8. Dangles O, Rabatel A, Kraemer M, Zeballos G, Soruco A, Jacobsen D, Anthelme F. Ecosystem sentinels for climate change. Evidence of wetland cover changes over the last 30 years in the tropical Andes. *PloS one*. 2017; 12(5): e0175814. <https://surl.li/rptibz>

9. Leal W, Balogun A, Olayide O, Azeiteiro U, Ayal D, Muñoz P, Li C. Assessing the impacts of climate change in cities and their adaptive capacity: Towards transformative approaches to climate change adaptation and poverty reduction in urban areas in a set of developing countries. *Science of the Total Environment*. 2019; 692: 1175-1190. <https://lc.cx/wQiBUu>
10. Velásquez D, Trillo C, Cruz A, Bueno S. Intercambio tradicional de semillas de tuberosas nativas andinas y su influencia sobre la diversidad de variedades campesinas en la sierra central del Perú (Huánuco). *Zonas Áridas*. 2013; 15(1): 110-127. <https://n9.cl/1zuoe>
11. Pacheco V, Noblecilla M. Diversidad de mamíferos en el bosque montano de Carpish, Huánuco, Perú. *Revista peruana de biología*. 2019; 26(2): 217-226. https://lc.cx/Gf_B7g
12. Finer M, Jenkins C, Sky M, Pine J. Logging concessions enable illegal logging crisis in the Peruvian Amazon. *Scientific reports*. 2014; 4(1): 4719. <https://surl.lu/ewntln>
13. Anzualdo V, Esenarro D, Guillen R, Reyna S, Segovia E, Martinez R. Deforestation in Peru and Strategic Plan for its Reduce Amazonian Forests. *Nveo-natural volatiles & essential oils journal/nveo*. 2021; 5149-5156. <https://n9.cl/anymuc>
14. Valdivia L, Gonzalez T, Julca-Otiniano A. Sustentabilidad ambiental de las concesiones forestales en el departamento Huánuco, Perú. *Madera y bosques*. 2020; 26(3). <https://n9.cl/zlgo6z>
15. Pérez E, Yangjosé E. Diversidad y abundancia de mamíferos pequeños no voladores en el bosque Unchog–Huánuco, Perú (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). 2023. <https://n9.cl/yjwzxn>
16. Noblecilla M. Efectos de la pérdida de bosque sobre los roedores cricétidos en Carpish, Huánuco, Perú. *Revista peruana de biología*. 2020; 27(4): 499-508. <https://lc.cx/CqZ3QI>
17. Aquino R, Pezo E, Arévalo I. Diversidad y amenazas de los mamíferos mayores en los bosques montanos de Huánuco, Perú. *Revista peruana de biología*. 2022; 29(3). <https://n9.cl/bh79ex>
18. Smith P, De Cáceres M, Kindt R. Diversity and composition of forest trees in the Andean and Amazonian lowlands of Peru. *Journal of Tropical Ecology*. 2017; 33(4): 271-283. <https://n9.cl/fjmb2>
19. Hoch G, Körner C, Havranek W. Climate change impacts on the vegetation of the high Andes. *Mountain Research and Development*. 2012; 32(3): 237-245.
20. Balvanera P, Pfisterer A, Buchmann N, He J, Nakashizuka T, Raffaelli D, Schmid B. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*. 2006; 9(10): 1146-1156. <https://n9.cl/2dhz5>
21. BirdLife International. Bird species distribution maps of the world. BirdLife International. 2020. <https://n9.cl/2wmgd>
22. Howe H, Smallwood J. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1982; 13(1): 201-228. <https://lc.cx/Nvdcir>
23. Honey M. Ecotourism and sustainable development: Who owns paradise Island Press. 2008. <https://lc.cx/Z95Sw8>
24. Buckley R. Evaluating the net effects of ecotourism on the environment: a framework, first assessment and future research. *Journal of Sustainable Tourism*. 2009; 17(6): 643-672. <https://n9.cl/lczv2>
25. Castillo M, Solarte J. Diversidad de avifauna en un fragmento de bosque de niebla de San Antonio y km-18, Cali, Colombia. *Revista Novedades Colombianas*. 2024. <https://n9.cl/d4bhi>
26. Villanueva H. Influencia de la cobertura forestal en las ocurrencias anuales de deslizamiento de masas en la intercuenca del Alto Huallaga durante el periodo 2003–2023”. 2024. <https://n9.cl/m8kg3>
27. Castro B, Chaluisa B. “Evaluación participativa del impacto socioambiental de las actividades humanas en el páramo de la comunidad Apagua, parroquia Pilaló, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. 2024. <https://n9.cl/j8altt>
28. Laurance W, Sayer J, Cassman K. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology & Evolution*. 2014; 29(2), 107-116. <https://n9.cl/3q4dei>

- 29.** Geist H, Lambin E. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *Bioscience*. 2002; 52(2): 143-150. <https://surl.li/bycbjs>
- 30.** Armenteras D, Rodríguez N, Retana J, Morales M. Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*. 2019; 19(3), 1-14. <https://n9.cl/2jdp03>
- 31.** Posey D. Cultural and spiritual values of biodiversity. A complementary contribution to the global biodiversity assessment. United Nations Environment Programme. 1999. <https://lc.cx/Wv3fgF>
- 32.** Berkes F, Colding J, Folke C. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*. 2000; 10(5): 1251-1262. <https://n9.cl/pd8p1>
- 33.** Gadgil M, Berkes F, Folke C. *Indigenous knowledge for biodiversity conservation*. *Ambio*. 1993; 22(2/3): 151-156. <https://surl.li/cexjgv>

ACERCA DE LOS AUTORES

Hector Aguirre Espinoza. Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Docente a tiempo completo, Departamento académico en Conservación de suelos y agua, Perú.

Santos Jacobo Salinas. Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Docente nombrado principal, adscrito a la Facultad de Ciencias Agrarias, Perú.

Manuel Vega Ronquillo. Ingeniero Agrónomo con títulos obtenidos en Perú y España. Bachiller en Ciencias Agrarias por la UNHEVAL-Huánuco. Master Oficial en Tecnología Agroambiental para una agricultura Sostenible, Universidad Politécnica de Madrid-España. Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible obtenido por la UNHEVAL-Huánuco, Perú.

Agustina Valverde Rodríguez. Doctorado en Medio ambiente y desarrollo sostenible. Magister en Ciencias Agropecuarias con mención en Sanidad Vegetal. Ingeniero Agrónomo. Doctorando en protección vegetal. Pasantías en el área de Virología, Nematología-Universidad de Chile. Docente en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco, Facultad de Ciencias Agrarias. Docente en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco, Facultad de Ciencias Agrarias, Perú.

Manuel Jorge Castillo Nole. Maestría en entomología. Maestrante en sanidad vegetal en la UNDAC; Magister en educación ambiental y desarrollo sostenible. Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible, catedrático de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), Perú.



Comportamiento de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin en cultivo de cacao (*Theobromacacao* L.) en Sivia-Huanta

BEHAVIOR OF *Carmenta foraseminis* (Busck) eichlin in cocoa crop (*Theobroma cacao* L.) in Sivia-Huanta

Comportamento de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin na cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.) na Sivia-Huanta

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.347>

Rayda Sánchez Gala¹
rasaga2017@gmail.com

Benito Filemón Buendía Quispe²
bbuendiaq@undac.edu.pe

Joel Bustillos Bonilla²
jbustillosbo@undac.edu.pe

Josué Zevallos García³
jzevallosg@unheval.edu.pe

Guillermo Gomer Cotrina Cabello⁴
gcotrina@undc.edu.pe

¹Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú

²Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco, Perú

³Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Huánuco, Perú

⁴Universidad Nacional de Cañete. Cañete, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

El trabajo de investigación se desarrolló en Sivia –Huanta, el objetivo fue evaluar el comportamiento de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin en cacao Criollo en Sivia- Huanta. La metodología fueron la descripción de hábitos alimenticios de *Carmenta* Sp, la población estuvo constituida por frutos de cacao (*Theobroma cacao* L.) *Carmenta Foraseminis* (Busck) Eichlin, conformado por 8 frutos 8 especímenes de *Carmenta* sp. su distribución fueron 4 tratamiento 4 repeticiones. La cuantificación de daños por picaduras de *Carmenta* sp. en frutos de cacao, fueron 10 frutos y 10 especímenes de *Carmenta* sp, distribuidos en 2 tratamientos y 4 repeticiones, la muestra fue definida por frutos de cacao aislando. En una celda, 4 frutos con 4 especímenes de *Carmentas* sp, haciendo un total de 4 muestras. Las técnicas fueron de observación experimental y no experimental. Se empleó el Diseño Completamente al Azar, con 2 Tratamientos 4 repeticiones con muestras de frutos con *Carmenta* sp, frutos sin *Carmenta* sp; las evaluaciones fueron: longitud, diámetro del fruto, peso, del fruto mazorca, almendras en húmedo, almendras secas, números de fruto. Los resultados obtenidos fueron El cacao criollo fue susceptible a presencia de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin, afectando; longitud, peso del fruto, peso de almendras húmeda y seca. El número de picaduras de cada insecto en 12 horas fueron de 3.5, con duración promedio de 6,75 por minutos. Conclusiones El daño ocasionado por *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin. Fueron el T2 ha superado al T1 (fruto con *Carmenta* sp.) en forma positiva en los diferentes parámetros evaluados.

Palabras clave: Almendras; Hongo;insectos; Mazorcas; Patógenos

ABSTRACT

The research work was developed in Sivia - Huanta, the objective was to evaluate the behavior of *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin in Criollo cocoa in Sivia - Huanta. The methodology was the description of feeding habits of *Carmenta* Sp, the population consisted of cocoa fruits (*Theobroma cacao* L.) *Carmenta Foraseminis* (Busck) Eichlin, consisting of 8 fruits 8 specimens of *Carmenta* sp, its distribution was 4 treatment 4 replicates. The quantification of damage by bites of *Carmenta* sp. on cocoa fruits, were 10 fruits and 10 specimens of *Carmenta* sp, distributed in 2 treatments and 4 replicates, the sample was defined by isolating cocoa fruits. In one cell, 4 fruits with 4 specimens of *Carmenta* sp, making a total of 4 samples. The techniques were experimental and non-experimental observation. A completely randomized design was used, with 2 treatments 4 replications with samples of fruits with *Carmenta* sp, fruits without *Carmenta* sp; the evaluations were: length, fruit diameter, fruit weight, fruit cob, wet kernels, dry kernels, fruit numbers. The results obtained were The Criollo cocoa was susceptible to the presence of *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin, affecting; length, fruit weight, weight of wet and dry kernels. The number of bites of each insect in 12 hours were 3.5, with an average duration of 6.75 per minute. Conclusions The damage caused by *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin. were T2 has positively outperformed T1 (fruit with *Carmenta* sp.) in the different parameters evaluated.

Key words: Almonds; Fungi; Insects; Cobs; Pathogens; Pathogens

RESUMO

O trabalho de pesquisa foi realizado em Sivia - Huanta, com o objetivo de avaliar o comportamento de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin no cacao Criollo em Sivia - Huanta. A metodologia foi a descrição dos hábitos alimentares de *Carmenta* Sp, a população foi constituída por frutos de cacau (*Theobroma cacao* L.) *Carmenta Foraseminis* (Busck) Eichlin, conformada por 8 frutos 8 espécimes de *Carmenta* sp, sua distribuição foi de 4 tratamentos 4 repetições. A quantificação de danos por picadas de *Carmenta* sp. em frutos de cacau, foram 10 frutos e 10 espécimes de *Carmenta* sp, distribuídos em 2 tratamentos e 4 repetições, a amostra foi definida por frutos de cacau isolados. Em uma célula, 4 frutos com 4 espécimes de *Carmenta* sp, perfazendo um total de 4 amostras. As técnicas foram a observação experimental e não experimental. Foi utilizado o delineamento completamente aleatório, com 2 tratamentos 4 repetições com amostras de frutos com *Carmenta* sp, frutos sem *Carmenta* sp; as avaliações foram: comprimento, diâmetro do fruto, peso do fruto, espiga do fruto, amêndoas úmidas, amêndoas secas, número de frutos. Os resultados obtidos foram O cacao crioulo foi suscetível à presença de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin, afetando o comprimento, o peso do fruto, o peso das amêndoas úmidas e secas. O número de picadas de cada inseto em 12 horas foi de 3,5, com uma duração média de 6,75 por minuto. Conclusões O dano causado por *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin. foi maior em T2 do que em T1 (fruto com *Carmenta* sp.) de forma positiva nos diferentes parâmetros avaliados.

Palavras-chave: Amêndoas; Fungos; Insetos; Espigas; Patógenos

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es una actividad de gran importancia económica y social en diversas regiones tropicales del mundo, incluyendo el Perú. Sin embargo, su producción se ve afectada por diversas plagas, entre las cuales destaca ***Carmenta foraseminis*** (Busck) Eichlin, (1) insecto perforador de frutos que ocasiona pérdidas significativas en la cosecha. ***Carmenta foraseminis*** pertenece a la familia Sesiidae y se caracteriza por su capacidad de perforar y dañar los frutos de cacao, reduciendo el rendimiento y la calidad del producto final (2).

Este insecto ha sido reportado en varias zonas cacaoteras del Perú, incluyendo Sivia, en la provincia de Huanta, región Ayacucho, donde los agricultores han identificado su presencia como un factor limitante para la productividad del cultivo el estudio del comportamiento de ***C. foraseminis*** en plantaciones de cacao resulta fundamental para el diseño de estrategias de manejo integrado de plagas (3).

Comprender sus patrones de oviposición, desarrollo larval, daños causados y factores ambientales que favorecen su proliferación permitirá implementar medidas de control más eficientes y sostenibles. El trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar el comportamiento de ***Carmenta foraseminis*** en cultivos de cacao en Sivia - Huanta, contribuyendo al conocimiento de

su biología y ecología para desarrollar estrategias de mitigación que beneficien a los productores locales y fomenten la producción sostenible de cacao en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo investigación se realizó la ciudad de Sivia, a 209 km de la ciudad de Ayacucho El tipo de investigación fue aplicada, con el enfoque de investigación fue exploratorio y descriptivo. Se empleó el método no experimental para poder evaluar a cuantificación de daños por picaduras de la *Carmenta* en frutos de cacao. Se empleó diseño no experimental para descripción de hábitos alimenticios de la *Carmenta* con diseño experimental para cuantificación de daños por picaduras de la *Carmenta* en frutos de cacao. Las técnicas empleadas fueron de observación experimental y no experimental, empleando como instrumento fichas de registro y una guía de observación respectivamente

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se evaluaron la descripción de hábitos alimenticios de la *Carmenta*

Número de picadas considerado como frecuencia de alimentación. La *Carmenta* se alimentó durante 12 horas con frecuencia de 2, 5, 4 y 3 picaduras en el pedúnculo de cada fruto, de los 4 frutos de cacao CRIOLLO de 4cm.de longitud.

Tabla 1. Descripción de hábitos alimenticios de la *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin en frutos de Cacao criollo.

Fruto de cacao	N° de frutos picadas
Fruto 1	2
Fruto 2	5
Fruto 3	4
Fruto 4	3
Promedio	3.5

Tabla 1, se evaluaron cuatro unidades de frutos, para evaluar las picaduras a cada uno del fruto considerada como frecuencia de alimentación de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin en frutos de cacao CRIOLLO donde se identificó al Fruto Uno

dos picaduras, seguido del Fruto Dos con cinco picaduras, el fruto tres con cuatro picaduras donde el promedio de picaduras por día fueron 3.5 frutos por días 4cm. longitud).

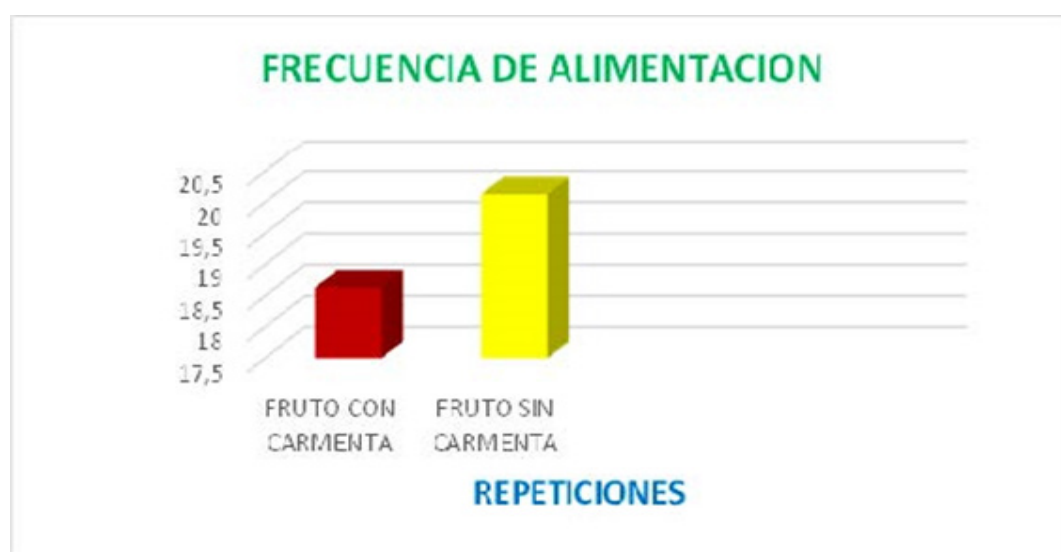


Figura 1. Número de picadas: frecuencia de alimentación de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin en frutos de cacao.

Figura 1, el número de picadas fueron las frecuencias de alimentación de *Carmenta foraseminis*. El tiempo promedio de cada picada

fue ascendente, se empleó. Desviación estándar con los promedios de cada picada (Picada 1: 0,950; Picada 2: 0,877; Picada 3: 0.3093 y 0.6820).

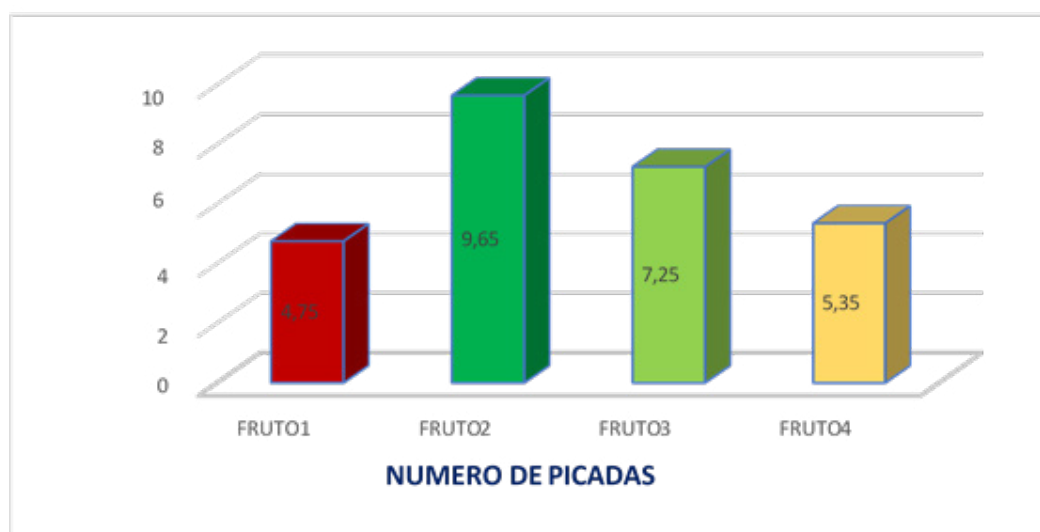


Figura 2. Tiempo promedio de alimentación de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin (ascendente): Desviación estándar.

Figura 2, el promedio de alimentación de *Carmenta foraseminis* las picadas mayores fueron para las evaluaciones de dos frutos y los promedios fueron de 9.65 fueron seguido fueron evaluados el fruto tres donde se encontraron el promedio de picaduras de 7.25 según se muestra en la figura, seguido fueron evaluadas el fruto cuatro con el promedio de 5,35, y encontrándose el mas de todos los tratamientos en el fruto con promedio de 4,75.

Discusión

La prueba de Duncan para las medias del número almendras por fruto, muestra que el T2 (fruto sin Carmenta) con 42,00 almendras, obtuvo mayor número de almendras, superando estadísticamente al T1 (fruto con Carmenta) con 39.22 almendras. Resultados que 33 se asemejan

a los promedios establecidos con datos de 45.25 y 42.00 granos respectivamente (4), determinando que la presencia de la Carmenta en el fruto de cacao influye en la reducción de 3.22 almendras del número almendras promedio por fruto del T2 (fruto sin Carmenta) (5), comparaciones al número promedio de almendras por fruto del T2 (fruto sin Carmenta). Los resultados determinan que el T2 (fruto sin Carmenta) ha superado al T1 (fruto con Carmenta) en forma positiva en los diferentes parámetros evaluados, estableciendo que la presencia de Carmenta en los frutos del cacao tiene un efecto negativo reduciendo los índices de rendimiento (6), ello tuvo existencia con relación directa de la Carmenta porque a través de su pieza bucales picadora – chupadora succionan la savia del pedúnculo del fruto del cacao, posiblemente transmitiendo microorganismos patógenos

causando deficiencias y anomalías en el desarrollo del fruto reduciendo el rendimiento del fruto del cacao, corroborado por FIDA (7), afirma que existe que el daño de *Antiteuchus sp* causaron el 22,24% de pérdida en el rendimiento del peso de almendras secas del fruto de cacao CCN – 51, equivalente a 211,27 kg/ha/año del rendimiento promedio de la Región San Martín.

CONCLUSIONES

El cacao criollo es susceptible a la presencia de la *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin succionan la sabia del pedúnculo de los frutos de cacao Criollo, afectando la longitud, peso del fruto, peso de almendras, húmeda seca. El tiempo de alimentación posee relación al número de picaduras de cada insecto en 12 horas fue de 3.5, con una duración promedio de 6,75 minutos cada una. El daño ocasionado por la *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin el T2 (fruto sin carmenta) ha superado al T1 (fruto con Carmenta) en forma positiva en los diferentes parámetros evaluados, estableciendo que la presencia de las carmentas en los frutos del cacao tiene un efecto negativo reduciendo los índices de rendimiento. El mayor daño causado por *Carmenta spp*, para número de perforación por fruto y diámetro de perforaciones, se presenta en la época seca y menor daño en época lluviosa, porque la lluvia se comportaría como elemento de control natural para la plaga.

CONFLICTO DE INTERES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Batista L. Guía técnica: el cultivo de cacao. Santo Domingo, RD. CEDAF. 2009; 5(18): 34-40
2. Ccente F. Preferencia y daño del *Carmenta spp*, relacionado al crecimiento del fruto de *Theobroma cacao* L. CCN-51 en dos épocas de producción, Pichari, Cusco. 2019; 10(17): 56-58. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/0db1605f-06d6-46d4-ac4a-9a9284960e33>
3. Quispe L. Afectación de los Mazorqueros *Carmenta teobroma* e Busck y *Carmenta foraseminis* Eichlin. en Plantaciones de cacao en el Perú. Trabajo de investigación. Universidad Católica Sedes Sapientiae Facultad de Ingeniería Agraria. Huacho–Perú. 2019; 31(16):58. <https://repositorio.uccs.edu.pe/handle/20.500.14095/650>
4. Torres L. El chocolate en las crónicas de Hernán Cortez y otros (en línea) consultado. 2008; 3 (10): 55-54. <http://geografiasdesiringa.blogspot.com/2008/10/iv-el-chocolate-en-las-crnicasde-hernn.html>
5. Mezones I. Evaluación de *carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin, y Algunas Enfermedades de Frutos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres Localidades de Leoncio Prado, Huánuco. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Agraria de la Selva. Tingo María – Perú. 2019; 18(25):12-34. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/6bd11e2a-ac18-43ca-80be-eeddb527170c>
6. Quintos R. Evaluación del daño de *Antiteuchus sp* en frutos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el valle del Bajo Mayo, región San Martín. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto- Perú. 2018; 47(56): 60-67. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/1dd5f328-b6c8-4685-9359-5d4b6da9745f>

7. FIDA (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola); RUTA (Unidad Regional de Asistencia Técnica); CATIE (*Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*); FAO (*Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*). Memoria del taller agricultura orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción en la pobreza. Turrialba, CR. Multiprint.2003; 96(99),111. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/336202/>

ACERCA DEL AUTOR

Rayda Sánchez Gala. Ingeniero agrónomo, Universidad Nacional de Huancavelica. Responsable de proyectos de inversión pública, experiencia en trabajos de investigación, Perú.



Contaminación Agrícola por producto Fitosanitario en los cultivos en Cañete, Perú

Agricultural contamination by Phytosanitary product in crops in Cañete, Peru

Contaminação agrícola por produto fitossanitário em plantações em Cañete, Peru

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i25.348>

Juan Saldivar Villarroel

jsaldivar@undc.edu.pe

Raymunda Verónica Cruz Martinez

veronicacruz050178@gmail.com

Universidad Nacional de Cañete. Lima, Perú

Artículo recibido: 20 de noviembre 2024 / Arbitrado: 30 de diciembre 2024 / Publicado: 27 de enero 2025

RESUMEN

Los productos fitosanitarios químicos fueron empleados en la agricultura para incrementar la producción y controlar plagas; sin embargo, su uso intensivo provocó una contaminación considerable que afectó tanto a la población como al entorno. **Objetivo.** Analizar la relación entre la contaminación agrícola por producto fitosanitarios en los cultivos de Cañete y su impacto en el medioambiente, el suelo, el agua y las plantas. **Materiales y método.** Se utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo, correlacional y no experimental, aplicando un cuestionario con preguntas cerradas a 100 agricultores para recopilar información sobre el uso de estos productos y sus posibles efectos en los cultivos. Asimismo, se evaluó el impacto ambiental asociado. **Resultados.** Se reveló que el 44% de los agricultores percibió una alta toxicidad por fitosanitarios, mientras que el 13% la vinculó exclusivamente con las áreas de cultivo. Los hallazgos del estudio resaltan la necesidad de implementar estrategias de manejo adecuado de fitosanitarios y promover prácticas agrícolas sostenibles, con el fin de mitigar los riesgos ambientales y sanitarios asociados a su uso. Estos resultados pueden servir como base para la creación de políticas públicas y capacitaciones dirigidas a los agricultores sobre el uso responsable de estos productos. **Conclusiones.** Se destacó que existieron diferentes percepciones sobre el impacto de estos productos, lo que resaltó la importancia de mejorar su manejo y fomentar prácticas agrícolas sostenibles para reducir los riesgos ambientales y sanitarios.

Palabras clave: Agricultores; Contaminación agrícola; Plantas; Producto fitosanitario; Medioambiente

ABSTRACT

Chemical phytosanitary products were used in agriculture to increase production and control pests; however, their intensive use caused considerable contamination that affected both the population and the environment. **Objective.** To analyze the relationship between agricultural contamination by phytosanitary products in the crops of Cañete and their impact on the environment, soil, water and plants. **Materials and method.** A quantitative approach with a descriptive, correlational and non-experimental design was used, applying a questionnaire with closed questions to 100 farmers to collect information on the use of these products and their possible effects on crops. The associated environmental impact was also evaluated. **Results.** It was revealed that 44% of the farmers perceived high toxicity due to phytosanitary products, while 13% linked it exclusively to crop areas. The findings of the study highlight the need to implement appropriate phytosanitary management strategies and promote sustainable agricultural practices in order to mitigate the environmental and health risks associated with their use. These results can serve as a basis for the creation of public policies and training for farmers on the responsible use of these products. **Conclusions.** It was noted that there were different perceptions about the impact of these products, which highlighted the importance of improving their management and promoting sustainable agricultural practices to reduce environmental and health risks.

Key words: Farmers; Agricultural contamination; Plants; Phytosanitary product; Environment

RESUMO

Produtos químicos para proteção de plantas foram usados na agricultura para aumentar a produção e controlar pragas; no entanto, seu uso intensivo levou a uma poluição considerável que afetou a população e o meio ambiente. **Objetivo.** Analisar a relação entre a contaminação agrícola por produtos fitossanitários nas lavouras de Cañete e seu impacto no meio ambiente, no solo, na água e nas plantas. **Materiais e método.** Foi utilizada uma abordagem quantitativa com desenho descritivo, correlacional e não experimental, aplicando um questionário com perguntas fechadas a 100 agricultores para coletar informações sobre o uso desses produtos e seus possíveis efeitos sobre as culturas. O impacto ambiental associado também foi avaliado. **Resultados.** Foi revelado que 44% dos agricultores perceberam a alta toxicidade dos produtos de proteção de culturas, enquanto 13% associaram-na exclusivamente às áreas de cultivo. Os resultados do estudo destacam a necessidade de implementar estratégias adequadas de gerenciamento de pesticidas e promover práticas agrícolas sustentáveis para mitigar os riscos ambientais e à saúde associados ao seu uso. Esses resultados podem servir de base para a criação de políticas públicas e treinamento para os agricultores sobre o uso responsável desses produtos. **Conclusões.** Destacou-se a existência de diferentes percepções sobre o impacto desses produtos, o que evidenciou a importância de melhorar seu manejo e promover práticas agrícolas sustentáveis para reduzir os riscos ambientais e à saúde.

Palavras-chave: Agricultores; Contaminação agrícola; Plantas; Produto fitossanitário; Meio ambiente

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la actividad Agrícola generó preocupación debido al uso inadecuado de productos químicos sin supervisión profesional, lo que ocasionó alteraciones significativas en los ecosistemas, especialmente en zonas con escaso asesoramiento técnico (1). Los productos fitosanitarios fueron compuestos químicos y biológicos empleados para prevenir y controlar plagas, insectos, hongos y malezas, cuya eficacia dependió del conocimiento y la responsabilidad en su aplicación. Sin embargo, su uso inadecuado aumentó el riesgo de intoxicación en seres vivos y contribuyó al deterioro ambiental (2).

Por otro lado, los plaguicidas fueron sustancias químicas utilizadas para erradicar organismos perjudiciales para la producción agrícola y otras actividades humanas, estando al alcance de la población (3). La contaminación del agua y el suelo representó un desafío en la agricultura moderna, agravado por la expansión de los cultivos y el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes. Estos residuos permanecieron en el ambiente, afectando los ecosistemas mediante su bioacumulación en especies vegetales y animales (4).

El deterioro ambiental a nivel global generó una creciente preocupación, impulsando investigaciones para identificar sus causas y evaluar los modelos de desarrollo adoptados por diversas naciones (5). La presencia de compuestos químicos altamente tóxicos incrementó su

peligrosidad, causando impactos negativos en la salud humana y alteraciones ambientales perjudiciales (6). En el ámbito de la producción de plantas ornamentales, el manejo fitosanitario basado en productos sintéticos generó efectos adversos sobre el entorno (7).

Si bien los pesticidas fueron esenciales en la protección de cultivos, su uso inadecuado representó un riesgo para la salud humana y ambiental. La exposición prolongada sin protección afectó principalmente a los trabajadores encargados de su aplicación, aumentando las probabilidades de intoxicaciones y daños a largo plazo (8). Los residuos de plaguicidas sintéticos, independientemente de su composición, constituyeron una amenaza constante para el medio ambiente y la salud pública (9). En particular, los plaguicidas organofosforados y organoclorados, debido a su persistencia en el ecosistema, causaron efectos negativos en las cadenas tróficas y en la salud humana (10). Asimismo, la presencia de metales pesados, plaguicidas y fertilizantes contaminó los suelos y cultivos, representando un riesgo para la seguridad alimentaria debido a su toxicidad (11).

En este contexto, la investigación tuvo como objetivo analizar la relación entre la contaminación agrícola por productos fitosanitarios y su impacto en distintos componentes del entorno, como el suelo, el agua y las plantas en el valle de Cañete. Además, buscó proporcionar una base científica

que sirviera de guía para la gestión de producto fitosanitario agronómica en la región y contribuyera a la mejora de la producción agrícola local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El análisis de la investigación abarcó toda la provincia de Cañete, situada en la costa sur del

Perú, con coordenadas geográficas de 13°04'42" S y 76°23'02" W, a una altitud de 4 msnm. Dicha provincia presentó una superficie agrícola de 41,838.60 hectáreas, lo que representó el 9.26 % de su extensión total Figura 1.



Figura 1. Mapa de la ubicación geográfica del Valle de Cañete (Google Earth, 2024).

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

Variable	Variable 1 Contaminación por producto fitosanitario	Variable 2 Cultivos agrícolas
Dimensiones	Muy peligroso	Medioambiente
	Moderadamente peligroso	Suelo
	Poco peligroso	Agua
	Sin peligro	Planta

La investigación desarrollada tuvo un enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo, correlacional y no experimental, cuyo propósito fue diagnosticar detalladamente la problemática

a partir de los resultados obtenidos. El estudio se orientó a analizar la relación significativa entre la contaminación agrícola por productos fitosanitarios en los cultivos de Cañete. La muestra

estuvo conformada por 100 agricultores que utilizaban con frecuencia productos fitosanitarios en sus cultivos.

Para la recolección de datos, se aplicó un cuestionario adaptado por el autor, el cual incluyó cuatro dimensiones: muy peligroso, moderadamente peligroso, poco peligroso y sin peligro, denominado Cuestionario A. Contaminación por producto fitosanitario. Este instrumento constó de 21 ítems, valorados en una escala de 1 a 4. Asimismo, se empleó otro cuestionario adaptado por el autor, orientado a evaluar cultivos agrícolas, el cual consideró cuatro dimensiones: medioambiente, suelo, agua y planta, denominado Cuestionario B. Este segundo instrumento incluyó 20 ítems y fue estructurado con una escala tipo Likert de cinco opciones de respuesta: nunca, casi nunca, regular, casi siempre y siempre. Tras la aplicación de los instrumentos, los datos fueron codificados y organizados en una matriz para su posterior análisis.

El procesamiento de los datos se realizó mediante la elaboración de tablas y cálculos estadísticos, utilizando los programas EXCEL 2013 y SPSS versión 23.0. Para evaluar la normalidad de los datos, se aplicó la prueba de Kolmogórov-Smirnov, dado que la muestra superaba los 50

participantes, lo que permitió tomar decisiones estadísticas adecuadas. En los casos donde los datos presentaron una distribución normal, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, mientras que, en caso contrario, se aplicó el coeficiente Rho de Spearman.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados sobre el nivel de contaminación por productos fitosanitarios evidenciaron que el 44% de los agricultores percibió un nivel extremadamente alto, mientras que el 25% lo calificó como muy alto y el 14% como alto. En contraste, el 13% de los encuestados indicó que el nivel de contaminación era moderado, y solo el 4% lo consideró bajo, según lo presentado en la Tabla 2.

Asimismo, la gestión de residuos agrícolas reflejó una deficiencia en el conocimiento y aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas, lo que condujo al uso de productos fitosanitarios y fertilizantes sin supervisión técnica, basado únicamente en la experiencia de los productores (12). Esta situación pudo haber contribuido al incremento de los niveles de contaminación registrados.

Tabla 2. Distribución de frecuencia de la contaminación por productos fitosanitarios.

Niveles	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Bajo	4	4
Moderado	13	13
Alto	14	14
Muy Alto	25	25
Extremadamente Alto	44	44
Total	100	100

En términos absolutos, 44 agricultores señalaron que la contaminación por productos fitosanitarios alcanzó un nivel extremadamente alto, 25 la consideraron muy alta, 14 la calificaron

como alta, 13 la percibieron como moderada y solo 4 la identificaron como baja, como se muestra en la Figura 2.

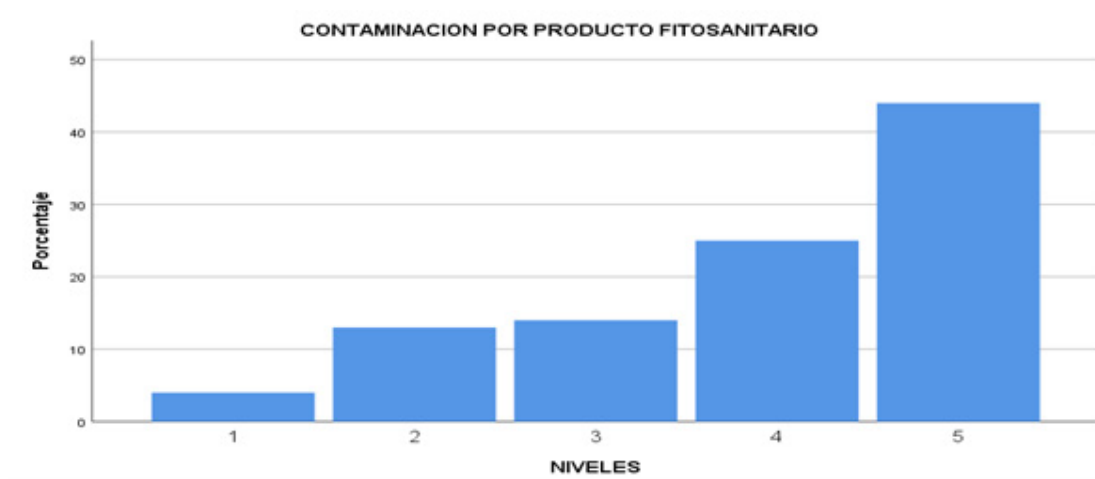


Figura 2. Contaminación por producto fitosanitario.

El uso de estos productos respondió a la necesidad de controlar plagas, enfermedades y malezas para optimizar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la intensificación agrícola, considerada un pilar fundamental de la producción alimentaria mundial, también generó impactos ambientales negativos. En este contexto, se documentaron múltiples casos de contaminación

por residuos tóxicos en distintos ecosistemas, lo que refuerza la importancia de implementar estrategias de manejo sostenible para mitigar estos efectos adversos (13).

Los resultados sobre el nivel de contaminación en los cultivos agrícolas mostraron que el 13% de los agricultores percibió un nivel extremadamente alto, mientras que el 43% lo consideró muy alto y

el 35% lo calificó como alto. En contraste, el 6% señaló que el nivel era moderado y solo el 3% lo identificó como bajo, según lo presentado en la Tabla 3.

La presencia de concentraciones elevadas de metales pesados y plaguicidas en cultivos como el

cacao afectó su exportación, debido a las normativas alimentarias de la Comunidad Europea, las cuales establecieron límites máximos permitidos para estos compuestos en los productos agrícolas (14).

Tabla 3. Distribución de frecuencia de los cultivos agrícolas.

Niveles	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Bajo	3	3
Moderado	6	6
Alto	35	35
Muy Alto	43	43
Extremadamente Alto	13	13
Total	100	100

En términos absolutos, 13 agricultores indicaron que la contaminación en sus cultivos alcanzó un nivel extremadamente alto, 43 la percibieron como muy alta, 35 la consideraron alta, 6 la calificaron como moderada y solo 3 señalaron un nivel bajo, como se muestra en la Figura 3.

La producción de banano generó residuos peligrosos que representaron un riesgo significativo

de contaminación tanto para el suelo como para los recursos hídricos, además de afectar la salud de los trabajadores. En este contexto, se identificaron los principales residuos de plaguicidas asociados con su proceso productivo, los cuales se acumularon en el ambiente y pudieron afectar la calidad de los cultivos y su comercialización (15).

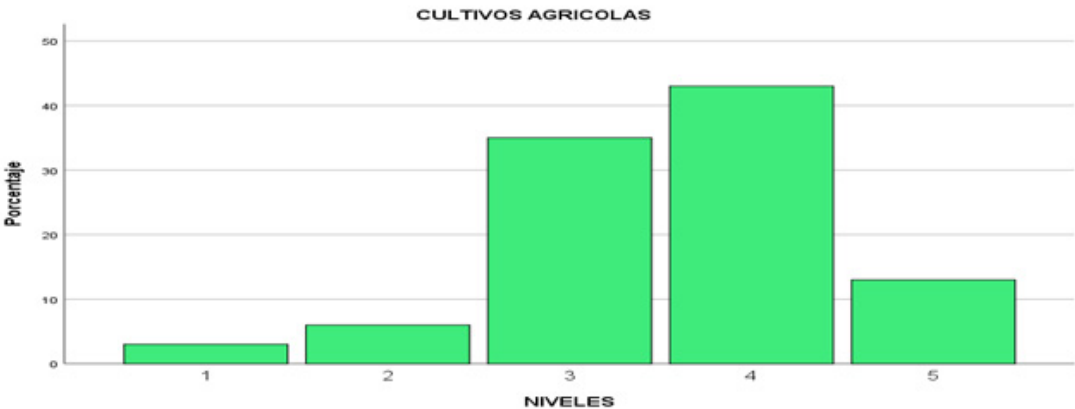


Figura 3. Contaminación en los cultivos agrícolas.

Asimismo, se evaluó la existencia de una relación entre la contaminación agrícola por productos fitosanitarios y los cultivos en Cañete, evidenciando que la aplicación inadecuada de estos productos contribuyó al deterioro ambiental y a posibles restricciones en los mercados internacionales.

En la Tabla 4, se presentan los resultados del análisis de correlación, en el que se obtuvo un

coeficiente de Pearson ($R = 0,586^*$), evidenciando una correlación moderada y significativa entre la contaminación por productos fitosanitarios y los cultivos agrícolas ($p = 0,018$; $p < 0,05$). Este hallazgo sugiere que el uso de estos productos tuvo un impacto directo en la calidad de los cultivos, lo que pudo haber afectado su productividad y viabilidad comercial.

Tabla 4. Correlación y significación entre la contaminación por productos fitosanitarios y los cultivos agrícolas.

	Contaminación por productos fitosanitarios	Cultivos agrícolas
Contaminación por productos fitosanitarios	Correlación de Pearson = 1 Sig. (bilateral) = —	0,586* 0,018
Cultivos agrícolas	Correlación de Pearson = 0,586* Sig. (bilateral) = 0,018	1 —
N	100	100

El análisis de contaminantes específicos reveló la presencia de plaguicidas triazínicos, fenoxiclorados y organoclorados, incluyendo seis contaminantes orgánicos persistentes (COP). Estos compuestos fueron identificados como factores clave en la degradación de la calidad del agua y en la contaminación de los cultivos agrícolas en las zonas evaluadas (16).

Además, se observó que el cultivo de maíz choclero se desarrolló con el uso intensivo de agroquímicos, lo que generó contaminación tanto en las cosechas como en el entorno natural (17). La aplicación indiscriminada de estos productos

no solo afectó la productividad agrícola, sino que también representó un riesgo ambiental, dado que estos residuos pudieron acumularse en el suelo y en cuerpos de agua cercanos.

Estos resultados resaltan la necesidad de promover prácticas agrícolas sostenibles y una gestión eficiente de los productos fitosanitarios, con el fin de reducir su impacto negativo en el ecosistema y garantizar la seguridad alimentaria.

En la Tabla 5, se presentan los resultados del análisis de correlación, en el que se obtuvo un coeficiente de Pearson ($R = 0,446^*$), evidenciando una correlación moderada y significativa entre

la contaminación por productos fitosanitarios y el medio ambiente ($p = 0,019$; $p < 0,05$). Este resultado sugiere que el uso de estos productos no solo afectó la calidad de los cultivos, sino que también tuvo un impacto ambiental considerable, contribuyendo a la degradación de los ecosistemas agrícolas.

Tabla 5. Correlación y significación entre la contaminación por productos fitosanitarios y el medio ambiente.

	Contaminación por productos fitosanitarios	Medioambiente
Contaminación por productos fitosanitarios	Correlación de Pearson = 1 Sig. (bilateral) = —	0,446* 0,019
Medioambiente	Correlación de Pearson = 0,446* Sig. (bilateral) = 0,019	1 —
N	100	100

A nivel global, los plaguicidas han sido ampliamente utilizados en la agricultura para el control de plagas y vectores de enfermedades que afectan tanto a los seres humanos como a los animales, lo que ha generado una exposición constante de la población a estas sustancias. En este sentido, diversos estudios han demostrado los efectos citotóxicos y genotóxicos del glifosato, evidenciando un riesgo potencial para la salud humana y el equilibrio ecológico (18).

Históricamente, desde las primeras civilizaciones, el ser humano recurrió al uso de sustancias con propiedades insecticidas para proteger sus cultivos. Sin embargo, a lo largo del tiempo, la acumulación de evidencia científica ha permitido comprender los riesgos asociados al uso excesivo e indiscriminado de plaguicidas,

tanto para la salud humana como para el medio ambiente (19).

En este contexto, los agroquímicos, compuestos principalmente por plaguicidas y fertilizantes, han sido empleados para garantizar la estabilidad en la producción agrícola. No obstante, su uso descontrolado ha generado un impacto negativo en la biodiversidad, afectando organismos no objetivo y alterando las condiciones del suelo y del agua (20). La persistencia de estos compuestos en el ambiente ha llevado a restricciones más estrictas en su aplicación y a la promoción de estrategias de manejo integrado de plagas como alternativa sostenible.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de adoptar políticas de regulación más rigurosas y promover el uso responsable de los productos

fitosanitarios, con el fin de minimizar sus efectos adversos en los ecosistemas y en la salud de las comunidades agrícolas.

En la Tabla 6, se presentan los resultados del análisis de correlación, en el cual se obtuvo un coeficiente de Pearson ($R = 0,440^*$), evidenciando

una correlación positiva de magnitud moderada ($p = 0,018$; $p < 0,05$). Este resultado indicó que la contaminación por productos fitosanitarios tuvo una relación significativa con el suelo, lo que sugiere que su uso influyó directamente en la calidad y composición del sustrato agrícola.

Tabla 6. Correlación y significación entre la contaminación por productos fitosanitarios y el suelo.

	Contaminación por productos fitosanitarios	Suelo
Contaminación por productos fitosanitarios	Correlación de Pearson = 1	0,440*
	Sig. (bilateral) = —	0,018
Suelo	Correlación de Pearson = 0,440*	1
	Sig. (bilateral) = 0,018	—
N	100	100

El uso de plaguicidas ha sido un factor determinante en el incremento de la producción agrícola, al reducir las pérdidas ocasionadas por plagas y enfermedades. Sin embargo, su aplicación indiscriminada generó efectos adversos en los ecosistemas, contaminando el suelo, el agua y el aire, además de representar un riesgo para la salud humana debido a su toxicidad y persistencia en el ambiente (21).

El suelo, como recurso esencial para la agricultura, ha sido particularmente vulnerable a los procesos de degradación, erosión y contaminación química cuando no ha recibido un manejo adecuado. La acumulación de residuos de agroquímicos alteró su estructura y composición microbiológica, afectando su fertilidad y capacidad

de regeneración. Por ello, la realización de análisis edáficos resultó crucial para detectar la presencia de contaminantes y mitigar su impacto, evitando así posibles afectaciones a la salud de la población (22).

Adicionalmente, se ha evidenciado que el uso de herbicidas interfirió en la micorrización de hongos arbusculares, esenciales para la simbiosis con las raíces de las plantas y la absorción de nutrientes. Asimismo, estos compuestos modificaron la expresión de genes relacionados con el metabolismo de aminoácidos y procesos de detoxificación, lo que afectó el crecimiento y desarrollo de cultivos. También se observó una reducción en la biodiversidad del suelo, afectando organismos como las lombrices, cuya función en el

reciclaje de materia orgánica es fundamental para mantener la estructura y fertilidad del sustrato agrícola (23).

Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar prácticas agrícolas sostenibles que minimicen la dependencia de agroquímicos altamente tóxicos y persistentes. La adopción de estrategias de manejo integrado de plagas, el uso de bioinsumos y la rotación de cultivos podrían contribuir a reducir la contaminación del suelo, garantizando su productividad a largo plazo sin comprometer el equilibrio ecológico.

En la Tabla 7, se presentan los resultados del análisis de correlación, donde se obtuvo un coeficiente de Pearson ($R = 0,281^*$), indicando una relación positiva y significativa ($p = 0,018$; $p < 0,05$), aunque de baja intensidad. Estos resultados sugieren que la contaminación por productos fitosanitarios tuvo un impacto en la calidad del agua, aunque en menor medida que en otras variables como el suelo o el medio ambiente.

Tabla 7. Correlación y significación entre la contaminación por productos fitosanitarios y el agua.

	Contaminación por productos fitosanitarios	Agua
Contaminación por productos fitosanitarios	Correlación de Pearson = 1	0,281*
	Sig. (bilateral) = —	0,018
Agua	Correlación de Pearson = 0,281*	1
	Sig. (bilateral) = 0,018	—
N	100	100

El agua destinada al consumo humano puede provenir de diversas fuentes, siempre que no represente un peligro para la salud de la población. No obstante, la presencia de residuos de plaguicidas en cuerpos de agua subterráneos y superficiales ha sido una preocupación creciente. La infiltración de agroquímicos en los mantos acuíferos y su arrastre por escorrentía superficial representan riesgos ambientales y sanitarios significativos (24).

El problema radica en que, en la práctica, la aplicación y el manejo de plaguicidas se han realizado sin las medidas de precaución necesarias para evitar la contaminación del agua. Se ha documentado que los agroquímicos pueden ingresar a los sistemas hídricos por lixiviación o escorrentía, comprometiendo su calidad y generando efectos adversos en la fauna acuática y en los ecosistemas circundantes (25).

Históricamente, el modelo agrícola predominante se ha basado en el uso intensivo de plaguicidas para controlar plagas y enfermedades en los cultivos. Si bien estas sustancias fueron diseñadas para afectar organismos específicos, su impacto no se ha limitado a la especie objetivo. En muchos casos, se han registrado efectos negativos en organismos no blanco, alterando la biodiversidad local y desestabilizando los ecosistemas acuáticos y terrestres (26).

El hallazgo de una correlación positiva, aunque de baja intensidad, sugiere que otros factores pueden estar influyendo en la contaminación del agua, como la deforestación, el uso de fertilizantes

y la actividad industrial. En este contexto, se recomienda la adopción de estrategias de manejo sostenible, como el uso de bioinsumos, la rotación de cultivos y la implementación de barreras vegetales para reducir la escorrentía de plaguicidas hacia fuentes de agua.

En la Tabla 8, se presentan los resultados del análisis de correlación, donde se obtuvo un coeficiente de Pearson de $R=0,253^*$, con un nivel de significancia de $p = 0,025$ ($p < 0,05$). Este resultado indicó una correlación positiva y significativa entre la contaminación por productos fitosanitarios y las plantas, aunque de baja magnitud.

Tabla 8. Correlación y significación entre la contaminación por productos fitosanitarios y las plantas.

	Contaminación por productos fitosanitarios	Plantas
Contaminación por productos fitosanitarios	Correlación de Pearson = 1 Sig. (bilateral) = —	0,253* 0,025
Plantas	Correlación de Pearson = 0,253* Sig. (bilateral) = 0,025	1 —
N	100	100

A pesar de que la correlación obtenida fue de baja intensidad, se evidenció una asociación significativa entre la contaminación por plaguicidas y el impacto en la flora. Investigaciones previas han señalado que el uso recurrente de agroquímicos en cultivos como el maíz (*Zea mays* L.) no solo afecta la productividad y calidad del producto final, sino

que también compromete la biodiversidad vegetal en las zonas agrícolas (27).

Uno de los principales problemas asociados al uso de plaguicidas es la presencia de residuos químicos en las biomásas vegetales, lo que representa un riesgo para la salud humana, ya que estos compuestos pueden ingresar a la cadena

alimentaria a través del consumo de alimentos contaminados (28). Además, se ha documentado que algunos fitosanitarios alteran la fisiología de las plantas, afectando procesos clave como la germinación, la fotosíntesis y el metabolismo secundario, lo que a su vez puede reducir la resistencia de los cultivos a plagas y enfermedades.

El impacto de los plaguicidas en la flora no se limita únicamente a los cultivos agrícolas, sino que también puede afectar a las plantas silvestres presentes en los ecosistemas aledaños. La deriva de agroquímicos por viento o escorrentía puede provocar daños en especies vegetales no objetivo, alterando la dinámica ecológica y reduciendo la diversidad vegetal.

En este contexto, es fundamental promover estrategias de manejo integrado de plagas (MIP) que reduzcan la dependencia de los productos fitosanitarios y fomenten el uso de alternativas más sostenibles, como los bioinsumos y el control biológico. La implementación de buenas prácticas agrícolas, como la rotación de cultivos y el uso de barreras vegetales, también puede contribuir a mitigar los efectos adversos de los plaguicidas en la flora.

Discusión

Los resultados obtenidos evidenciaron una relación significativa entre la contaminación por productos fitosanitarios y diversas variables ambientales y agrícolas, lo que confirma el impacto

negativo de estos insumos en los ecosistemas. A partir del análisis de correlación, se identificó que la contaminación por plaguicidas se asoció de manera moderada con los cultivos agrícolas ($R = 0,586$, $p = 0,018$), el medio ambiente ($R = 0,446$, $p = 0,019$) y el suelo ($R = 0,440$, $p = 0,018$). Asimismo, se hallaron correlaciones significativas, aunque de menor magnitud, con el agua ($R = 0,281$, $p = 0,018$) y las plantas ($R = 0,253$, $p = 0,025$), lo que indica que, si bien la afectación es generalizada, su intensidad varía según el componente evaluado.

El hallazgo de una correlación moderada entre la contaminación por productos fitosanitarios y los cultivos agrícolas concuerda con estudios previos que advierten sobre la acumulación de residuos de plaguicidas en los productos destinados al consumo humano (16). En particular, se ha documentado la presencia de compuestos organoclorados y fenoxiclorados en cultivos como el maíz choclero, lo que no solo compromete la seguridad alimentaria, sino que también puede generar efectos adversos en la salud de los consumidores (17).

En cuanto al impacto ambiental, los resultados refuerzan la preocupación global sobre el uso intensivo de plaguicidas en la agricultura. Se ha señalado que su aplicación indiscriminada afecta la biodiversidad, el equilibrio ecológico y la calidad del aire, suelo y agua (18). La correlación moderada entre la contaminación por plaguicidas y el medio ambiente respalda investigaciones previas que advierten sobre la persistencia de estos

compuestos y su capacidad de bioacumulación en los ecosistemas (19). Asimismo, la evidencia de un impacto significativo en el suelo sugiere la necesidad de realizar análisis edáficos periódicos para monitorear la acumulación de residuos químicos y prevenir su degradación (21,22).

Respecto a la calidad del agua, la correlación obtenida, aunque de menor magnitud, es consistente con investigaciones que destacan la contaminación de fuentes hídricas por escorrentía de plaguicidas aplicados en cultivos (24). El uso inadecuado de agroquímicos representa un riesgo para la salud humana, especialmente en comunidades que dependen de fuentes de agua no tratadas para el consumo diario (25). Además, se ha documentado que la contaminación por plaguicidas no solo afecta a los seres humanos, sino que también impacta a organismos acuáticos y puede alterar la biodiversidad en cuerpos de agua dulce (26).

En el caso de las plantas, aunque la correlación encontrada fue baja, su significancia estadística indica que los plaguicidas influyen en la fisiología vegetal. Se ha reportado que estos compuestos pueden afectar la germinación, la fotosíntesis y la expresión de genes relacionados con la detoxificación y el metabolismo de aminoácidos (23). Además, la presencia de residuos de plaguicidas en biomasa representa un riesgo tanto ecológico como para la salud humana, dado que estos contaminantes pueden ingresar a la cadena alimentaria (28).

En este contexto, es fundamental considerar estrategias de manejo sostenible que reduzcan la dependencia de los productos fitosanitarios y minimicen sus efectos adversos. El manejo integrado de plagas (MIP) se presenta como una alternativa viable, promoviendo el uso de bioinsumos, la diversificación de cultivos y prácticas agroecológicas que preserven la fertilidad del suelo y la calidad del agua. Asimismo, se recomienda fortalecer la capacitación de los agricultores sobre el uso seguro y racional de agroquímicos, así como fomentar la investigación en alternativas de producción más sostenibles.

Los resultados de este estudio aportan evidencia relevante sobre el impacto de los productos fitosanitarios en distintos componentes del entorno agrícola y ambiental. No obstante, futuras investigaciones deberían profundizar en el análisis de la toxicidad crónica de estos compuestos y su interacción con otros factores ambientales, a fin de diseñar estrategias de mitigación más eficaces.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitieron evidenciar la relación significativa entre la contaminación agrícola por productos fitosanitarios y los cultivos en Cañete. Se encontró que el 44% de los agricultores percibió un nivel de contaminación extremadamente alto, mientras que el 25% lo calificó como muy alto, el 14% como alto, el 13% como moderado y el 4% como bajo.

En cuanto a la contaminación específica de los cultivos, el 13% de los agricultores la consideró extremadamente alta, el 43% muy alta, el 35% alta, el 6% moderada y el 3% baja. Estos resultados sugieren una percepción generalizada de altos niveles de contaminación en el sector agrícola, lo que podría estar asociado con la aplicación indiscriminada de plaguicidas.

Respecto al impacto ambiental, se evidenció una afectación significativa, con una alta incidencia de contaminación agrícola por plaguicidas. En el suelo, la contaminación alcanzó niveles moderados, generando daños ecológicos, reducción de la biodiversidad y riesgos para la salud debido al consumo de productos con residuos químicos. Esto resalta la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible y monitoreo edáfico para minimizar los efectos adversos.

En relación con el recurso hídrico, la contaminación por productos fitosanitarios se consideró baja, aunque se identificaron prácticas inadecuadas, como el almacenamiento de envases de agroquímicos cerca de los canales de riego. Si bien el impacto en la concentración de oxígeno y el equilibrio ecológico fue leve, el riesgo potencial para la calidad del agua sigue siendo una preocupación.

Finalmente, la contaminación en las plantas también fue clasificada como baja, aunque se identificaron efectos negativos en la inocuidad y calidad de los cultivos. La presencia de residuos de

plaguicidas en las biomásas sugiere la necesidad de fortalecer prácticas agrícolas que reduzcan el uso de estos insumos y fomenten alternativas agroecológicas.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses que pueda influir en los resultados de este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Castillo B, Ruiz J, Manrique M, Pozo C. Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete. *Rev Espac.* 2020; 41(10). <https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/20411011.html>
2. Cotrina D, Nolberto D, Huachos I, Chávez M, Ávila Y. "Uso de Plaguicidas Químicos en el cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L), su relación con Medio Ambiente y la Salud": «Use of Chemical Pesticides in Potato (*Solanum tuberosum* L) cultivation, its relationship with Environment and Health». *CPAH Sci J Health.* 2022; 5(1):49-70. <https://cpahjournal.com/cpah/article/view/55>
3. Anchía-Jiménez G, Chaverri-Vásquez S, Cordero-Solís JJ, Mora-López I, Anchía-Jiménez G, Chaverri-Vásquez S, et al. Intoxicaciones agudas con pesticidas para fines suicidas en Costa Rica durante la década de 2010-2020. *Med Leg Costa Rica.* 2021;38(1):131-45. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1409-00152021000100131&lng=en&nrm=iso&tlng=es
4. Velázquez-Chávez L de J, Ortiz-Sánchez IA, Chávez-Simental JA, Pámanes-Carrasco GA, Carrillo-Parra A, Pereda-Solís ME, et al. Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP Rev Espec En Cienc Quím-Biológicas.* 2022;25. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-888X2022000100312&lng=es&nrm=iso&tlng=es
5. Freire-Vinueza C, Meneses K, Cuesta G, Freire-Vinueza C, Meneses K, Cuesta G. América Latina: ¿Un paraíso de la contaminación ambiental? *Rev Cienc*

- Ambient [Internet]. diciembre de 2021;55(2):1-18. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2215-38962021000400001&lng=en&nrm=iso&tlng=es
6. Menéndez J, Muñoz S. Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. Paid XXI. 2021;11(1):141-54. <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/3622>
7. Fernández M, López S, Fernández M, López S. Impacto ambiental de las aplicaciones de fitosanitarios en producciones ornamentales intensivas en el partido de Moreno, provincia de Buenos Aires. Agriscientia. 2024 ;41(1):2-2. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1668-298X2024000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
8. Lorenzo H, Leines Medina D, Gutiérrez Reyes AA, Morales Vázquez I. Evaluación de la exposición dermal a pesticidas en cañeros de Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. TECTZAPIC Rev Académico-Científica. 2021;7(1):47-58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8507631>
9. Estremadoyro E, Fernando D. Impacto de la toxicidad de los residuos sólidos generados por plaguicidas. Rev Kawsaypacha Soc Medio Ambiente. 2022;(9):124-39. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2709-36892022000100124&lng=es&nrm=iso&tlng=es
10. Hernández J, Cuervo R, Montañez J, Hernández N, Pérez M, Cruz A, et al. Biodegradación de plaguicidas organofosforados y organoclorados por *Candida tropicalis* Y *Stenotrophomonas maltophilia* en microcosmos del suelo. Rev Int Contam Ambient. 2021;37. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992021000100130&lng=es&nrm=iso&tlng=es
11. Ramírez R. Contaminación de suelos y cultivos con metales pesados y nutrientes en Venezuela. Rev Fac Agron. 2023;48(1):1. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/27422
12. Vargas A, López J, Alvarado Á. Sostenibilidad ambiental y manejo de residuos en sistemas de producción de cacao en el suroccidente de Boyacá-Colombia. Rev Cienc Agric. 2021;18(3):47-62. <https://n9.cl/3ycyb>
13. Campos M. El uso de pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. Rev Enfermería Vanguard. 2018;6(2):40-7. <https://revistas.unica.edu.pe/index.php/vanguardia/article/view/210>
14. Rosales-Huamaní J, Centeno-Rojas L, Cajacuri-Perez J, Luis-Breña J, Chávez-Chapana C. Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de cacao ubicados en la zona de Satipo - Junín. Tecnia. 2021;31(2):83-9. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2309-04132021000200083&lng=es&nrm=iso&tlng=es
15. Caicedo Y, Bernal F, Pineda E. Residuos de plaguicidas en cultivos del municipio zona bananera, departamento del Magdalena, Colombia. Rev Int Contam Ambient. 2021;37:145-53. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.53725>
16. Hernández-Antonio A, Hansen A. Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. Rev Int Contam Ambient. 2011;27(2):115-27. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992011000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
17. Barreto-Carbajal J, Bustinza-Saldivar D, Alvarez-Arias C, Kari-Ferro A, Huaraca-Aparco R, Flores-Pacheco N, et al. Contaminantes Agrícolas en la Producción de Maíz Zea mays L. variedad choclara en Curahuasi Apurímac, Perú. CT Riqchary Rev Investig En Cienc Tecnol. 2022;4(1):20-5. <https://revistas.unamba.edu.pe/index.php/riqchary/article/view/36>
18. Lepori C, Mitre G, Nassetta M. Situación actual de la contaminación por plaguicidas en argentina. Rev Int Contam Ambient. 2013; 29:25-43. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/41476>
19. Puerto A, Suárez S, Palacio D. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Rev Cuba Hig Epidemiol. 2014;52(3):372-87. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es

20. Dávila E, Castro Y, Romero O. Características y consecuencias adversas a la salud humana de agroquímicos usados en la agricultura cubana. *Rev Cuba Salud Pública*. 2022;48. <https://revsaludpublica.sld.cu/index.php/spu/article/view/2810>
21. Martínez C. Aplicación de solarización y ozonización para la eliminación de residuos de plaguicidas en suelos agrícolas [Internet] [<http://purl.org/dc/dcmitype/Text>]. Universidad de Murcia; 2022. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=315692>
22. Peralta I, Alarcón J, Viveros A, Criollo A, Vázquez Y. Contaminación en el suelo por uso irracional de agroquímicos y sus repercusiones en la salud. *Actas Congr Investig Desarro E Innov*. 2022;213-9. <https://revistas.unicyt.org/index.php/actasidi-unicyt/article/view/54>
23. González E, Fuentes M, González E, Fuentes M. Dinámica Del Glifosato En El Suelo Y Sus Efectos En La Microbiota. *Rev Int Contam Ambient*. 2022;38. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992022000100113&lng=es&nrm=iso&tlng=es
24. Hernández L. Contaminación por plaguicidas de uso agrario en el agua de consumo humano. *Rev Aranzadi Derecho Ambient*. 2023;(55):71-88. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9199207>
25. Range E, Landa-Cansigno O, Páramo-Vargas J, Camarena-Pozos D, Rangel-Ortiz E, Landa-Cansigno O, et al. Prácticas de manejo de plaguicidas y percepciones de impactos a la salud y al medio ambiente entre usuarios de la cuenca del Río Turbio, Guanajuato, México. *Acta Univ*. 2023;33. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-62662023000100123&lng=es&nrm=iso&tlng=es
26. Pena P, Fernández-San Juan R, Somoza A, Vázquez P, Cortelezzi A, Pena-Gómez P, et al. Cuenca del Arroyo Chapaleofú: agriculturización y efecto del insecticida clorpirifos sobre una especie no blanco. *Ecosistemas Recur Agropecu*. 2022;9(2). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-90282022000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
27. Choez C, Bacusoy R. Impacto ambiental de los plaguicidas utilizados en el cultivo de maíz (zea mays L.) en la comuna Sancán. *Dominio Las Cienc*. 2023;9(2):675-87. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3306>
28. Jiménez L, Bastidas P de J. Determinación del cociente de peligrosidad de plaguicidas presentes en biomasa de chiles (capsicum annum). *Aliment Cienc Los Aliment*. 2023;25-32. <https://alimentacionycienciadelosalimentos.cucba.udg.mx/index.php/RAYCA/article/view/26>

ACERCA DE LOS AUTORES

Juan Saldivar Villarroel. Maestro en Educación con mención en Docencia Universitaria, Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Experiencia como docente en la Universidad Nacional de cañete. Autor de investigación, Perú.

Raymunda Verónica Cruz Martinez. Maestro en Educación con mención en Docencia Universitaria, Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle. Ingeniero Químico, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Experiencia como docente en la Universidad Nacional de cañete. Autor de investigación, Perú.

ALFA

Revista de Investigación
en Ciencias Agronómicas y Veterinarias

VOLUMEN 9 NUMERO 25 ISSN: 2664 - 0902
ENERO - ABRIL 2025 ISSN: 2664 - 0902



CET-BOLIVIA®